



GUSTAVO DUARTE NEVES

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE DOIS
TIPOS DE LÂMPADAS DE BAIXA PRESSÃO:
FLUORESCENTE E CATODO FRIO**

**CAMPINAS
2013**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

GUSTAVO DUARTE NEVES

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE DOIS
TIPOS DE LÂMPADAS DE BAIXA PRESSÃO:
FLUORESCENTE E CATODO FRIO**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Scarazzato

Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestre em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, na área de Arquitetura, Tecnologia e Cidade.

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO GUSTAVO DUARTE
NEVES E ORIENTADO PELO PROF. DR. PAULO SERGIO
SCARAZZATO.**

PROF. DR. PAULO SERGIO SCARAZZATO

**CAMPINAS
2013**

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

N414e Neves, Gustavo Duarte, 1975-
Estudo da viabilidade econômica entre dois tipos de lâmpadas de baixa pressão : fluorescente e catodo frio / Gustavo Duarte Neves. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Paulo Sergio Scarazzato.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Lâmpadas fluorescentes. 2. Catodo. 3. Viabilidade econômica. 4. Eficiência energética. I. Scarazzato, Paulo Sergio, 1954-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Economic feasibility study between two types of low-pressure lamps : fluorescent and cold cathode

Palavras-chave em inglês:

Fluorescent lamps

Cathode

Economic feasibility

Energetic efficiency

Área de concentração: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Titulação: Mestre em Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Banca examinadora:

Paulo Sergio Scarazzato [Orientador]

Marco Antonio Saidel

Claudia Cotrim Pezzuto

Data de defesa: 23-08-2013

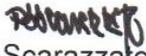
Programa de Pós-Graduação: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

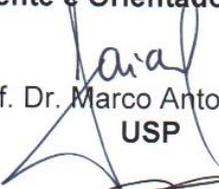
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE DOIS TIPOS DE
LÂMPADAS DE BAIXA PRESSÃO: FLUORESCENTE E CATODO
FRIO

Gustavo Duarte Neves

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:


Prof. Dr. Paulo Sergio Scarazato
Presidente e Orientador / UNICAMP


Prof. Dr. Marco Antonio Saidel
USP


Profa. Dra. Claudia Cotrim Pezzuto
PUC-Campinas

Campinas, 23 de agosto de 2013.

RESUMO

A constante procura por eficiência em projetos de iluminação nas edificações tem envolvido os profissionais da construção civil, engenharias e arquitetura em buscar por informações confiáveis que melhor adéquem às inúmeras fontes de iluminação artificial disponíveis. Este estudo, de maneira cronológica, ilustra a evolução da iluminação nas edificações, considerando seus avanços em diferentes períodos da história. Também apresenta dados analíticos sobre a luz e como a fisiologia do olho humano percebe tais fatores. Devido a sua eficiência luminosa, as lâmpadas fluorescentes têm sido constantemente utilizadas em ambientes que necessitam de grande quantidade de fluxo luminoso e baixo consumo de energia elétrica. Desta forma, este estudo explica o princípio de funcionamento das lâmpadas de descarga de baixa pressão, tanto as fluorescentes tubulares quanto as lâmpadas de catodo frio. Embora pertencentes ao mesmo grupo de lâmpadas, há diferenças entre suas características técnicas – o que, por ventura, pode indicar maior ou menor eficiência em sua aplicação. Tais diferenças são fundamentais para que se possa descrevê-las e compará-las quanto a viabilidade econômica de sua aplicação. Assim, o objetivo deste estudo é apresentar o comparativo de dois tipos de lâmpadas de descarga de baixa pressão – as lâmpadas fluorescentes tubulares e as lâmpadas de catodo frio – quanto a sua eficiência e os benefícios da eventual substituição (*retrofit*), sem que seja prejudicada a qualidade da iluminação para a realização das tarefas pelos usuários das edificações. Com base nos comparativos técnico (das características peculiares destas lâmpadas) e financeiro (investimento, custos de operação e de manutenção dos sistemas de iluminação), foi possível calcular os índices econômicos como *Payback*, *VPL (Valor Presente Líquido)* e *TIR (Taxa Interna de Retorno)*, e dessa forma, oferecer argumentos para tomada de decisão do investidor. E, devido ao seu maior tempo de vida útil e baixo consumo de energia elétrica, como resultado, verifica-se a viabilidade econômica para o catodo frio, com emissão do fluxo luminoso equivalente, indicando o retorno sobre o investimento inicial em 3,5 anos, com taxas de retorno de 34,30%, se considerado o período de vida útil da lâmpada.

Palavras-chave: Lâmpadas fluorescentes, Catodo, Viabilidade econômica, Eficiência energética.

ABSTRACT

The constant search for efficiency in lighting projects on buildings has involved professionals in the construction, engineering and architecture to look for reliable information that best suit the numerous artificial light sources available. This study, chronologically, illustrates the evolution of lighting in buildings, considering its advances in different periods of history. It also presents analytical data on the light and how the physiology of the human eye perceives these factors. Because of its luminous efficiency, fluorescent lamps have been constantly used in environments that require large amount of luminous flux and low power consumption. Thus, this study explains the operation's principle of low pressure discharge lamps, both as tubular fluorescent lamps and cold cathode. Although belonging to the same lamps' group, there are differences between its technical characteristics - which, perchance, may indicate a greater or lesser efficiency in your application. Such differences are fundamental so that you can describe and compare them as economic feasibility of its application. The objective of this study is to present a comparison of two types of low pressure discharge lamps - fluorescent lamps and cold cathode lamps - as its efficiency and benefits of possible replacement (retrofit), without hampering lighting quality for the building users' tasks. Based on technical (the peculiar characteristics of these lamps) and financial comparative (investment, operating costs and lighting systems maintenance), it was possible to calculate economic index as Payback, NPV (Net Present Value) and IRR (Internal Rate of Return), and thus, provide arguments for investor's decision making. And, due to their longer life span and low power consumption, as a result, there is economic feasibility for the cold cathode, with equivalent lumen emission, indicating the return on the initial investment in 3.5 years with rates of return of 34.30%, considered the lamp life span.

Keywords: Fluorescents lamps, Cathode, Economic feasibility, Energetic efficiency.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
LISTA DE FIGURAS	xxi
LISTA DE TABELAS	xxv
1. INTRODUÇÃO	01
1.1. OBJETIVO	03
1.2. JUSTIFICATIVA	03
1.3. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	03
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	04
2. REVISÃO DA LITERATURA	05
2.1. A EVOLUÇÃO DO USO DA LUZ ILUMINAÇÃO NAS EDIFICAÇÕES	05
2.1.1. A iluminação nas edificações no período Pré-Industrial	06
2.1.2. A necessidade de luz nas edificações na Revolução Industrial	09
2.1.3. A demanda por iluminação na era pós-fluorescente	11
2.2. A PERCEPÇÃO DA LUZ	13
2.2.1. Fotometria da luz – radiação eletromagnética visível	13
2.2.2. A sensibilidade do olho humano ao espectro	14
2.2.3. Adaptação	15
2.2.4. Temperatura de cor	16
2.3. GRANDEZAS FOTOMÉTRICAS	17
2.3.1. Fluxo luminoso	17
2.3.2. Iluminância	18
2.3.3. Eficiência luminosa	18
2.3.4. Índice de reprodução de cor	19

2.4. NORMA PARA ILUMINÂNCIA	19
2.5. A LUZ ARTIFICIAL	21
2.5.1. Breve histórico da iluminação artificial – as primeiras lâmpadas elétricas	21
2.5.2. Lâmpadas de descarga de baixa pressão	22
2.5.3. Lâmpadas fluorescentes tubulares	25
2.5.4. Lâmpadas de catodo frio	33
2.6. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA	46
2.6.1. A eficiência energética	46
2.6.2. A viabilidade técnico-econômica de projetos	47
2.6.3. Eficiência energética, viabilidade técnica e a qualidade na iluminação na comparação das lâmpadas fluorescentes e o catodo frio	49
3. MATERIAIS E MÉTODOS	59
3.1. ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO	59
3.2. A ESCOLHA DO MÉTODO	62
3.3. O MÉTODO DA PESQUISA	64
4. RESULTADOS	75
4.1. COMPARATIVO 1 – Lâmpada T5, 28W, 3000K	75
4.2. COMPARATIVO 2 – Lâmpada T5, 54W, 3000K	84
4.3. COMPARATIVO 3 – Lâmpada T5, 80W, 3000K	92
4.4. COMPARATIVO 4 – Lâmpada T8, 36W, 3000K	100
4.5. COMPARATIVO 5 – Lâmpada T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K	108
4.6. COMPARATIVO 6 – Lâmpada T8, 58W, 3000K	116
4.7. COMPARATIVO 7 – Lâmpada T5, 28W, 4000K	124
4.8. COMPARATIVO 8 – Lâmpada T5, 54W, 4000K	132

4.9. COMPARATIVO 9 – Lâmpada T5, 80W, 4000K	140
4.10. COMPARATIVO 10 – Lâmpada T8, 36W, 4000K	148
4.11. COMPARATIVO 11 – Lâmpada T8, 58W, 4000K	156
4.12. COMPARATIVO 12 – Lâmpada T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K	164
4.13. COMPARATIVO 13 – Lâmpada T5, 28W, 6500K	172
4.14. COMPARATIVO 14 – Lâmpada T5, 54W, 6500K	180
4.15. COMPARATIVO 15 – Lâmpada T8, 36W, 6500K	188
4.16. COMPARATIVO 16 – Lâmpada T8, 58W, 6500K	196
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	205
6. CONCLUSÕES	215
7. REFERÊNCIAS	219
ANEXOS	223

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, meu irmão, minha esposa
e todos que –de certa forma– me incentivaram
e contribuíram para a elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTO

A UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas e a
FEC – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo
por terem possibilitado o desenvolvimento desta pesquisa. E, em especial,
ao Prof. Dr. Paulo Sergio Scarazzato pela dedicação e confiança na orientação deste trabalho.

*Podemos facilmente perdoar uma criança que tem medo do escuro;
a real tragédia é quando os homens têm medo da luz.*

PLATÃO (428-348 a.C.)

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Weald and Downland Open Air Museum	07
Figura 2-2. Sacada com janela, Queen's College	08
Figura 2-3. Corpus Christi College Library	09
Figura 2-4. A invenção da lâmpada elétrica	11
Figura 2-5. Grandes escritórios nos anos 1970	12
Figura 2-6. Espectro eletromagnético	13
Figura 2-7. Espectro eletromagnético visível	14
Figura 2-8. Curvas do padrão de eficiência visual do espectro	15
Figura 2-9. Localização dos pontos da radiação Planckian	17
Figura 2-10. Fluxo luminoso emitido pela fonte de luz	18
Figura 2-11. Projeção do fluxo luminoso sobre uma superfície	18
Figura 2-12. Índices de reprodução de cor	19
Figura 2-13. Lâmpada fluorescente tubular	26
Figura 2-14. Estrutura interna e princípio de funcionamento lâmpada fluorescente tubular	26
Figura 2-15. Variação do fluxo luminoso em lâmpadas fluorescentes 18W, 36W e 58W	28
Figura 2-16. Tipos de partida (acendimento) nas lâmpadas fluorescentes	31
Figura 2-17. Lâmpada de catodo frio	33
Figura 2-18. Estrutura interna e princípio de funcionamento lâmpada de catodo frio	34
Figura 2-19. Diferentes formatos obtidos com a lâmpada de catodo frio	35
Figura 2-20. Diferentes posições dos eletrodos na lâmpada de catodo frio	36
Figura 2-21. Espaçamento entre as lâmpadas de catodo frio	36
Figura 2-22. Descarga em tubo cristal, sem revestimento, com neônio puro	38
Figura 2-23. Descarga em tubo cristal, sem revestimento, com argônio puro	39
Figura 2-24. Descarga em tubo cristal, revestimento com fósforo de terra-rara, com argônio puro e mercúrio	40
Figura 2-25. Distribuição do espectro de energia e as curvas comparativas para a relação corrente elétrica (mA) X fluxo luminoso (Lumen)	41
Figura 2-26. Gráfico da avaliação da carga máxima (em metros lineares) em relação à tensão no secundário dos transformadores eletromagnéticos	44
Figura 2-27. Aumento da eficácia luminosa das lâmpadas fluorescentes (40W)	51
Figura 2-28. Vida útil das fontes de iluminação comparadas	53
Figura 2-29. Iluminação indireta com fluorescente e catodo frio	54
Figura 2-30. Iluminação com fluorescente e catodo frio	55
Figura 2-31. Falhas na iluminação com fluorescente tubular	56
Figura 2-32. Formas e detalhes da arquitetura iluminados com catodo frio	56
Figura 3-1. Posicionamento dos produtos de iluminação do fabricante Philips quanto ao desempenho	67
Figura 4-1. Distribuição espectral de energia Master TL5 High Efficiency Eco 25=28W/830	76
Figura 4-2. Distribuição espectral de energia #7 – 3000K – Triphosphor	76
Figura 4-3. Payback entre lâmpada T5, 28W, 3000K e catodo frio	80
Figura 4-4. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 28W, 3000K e catodo frio	81

Figura 4-5. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T5, 28W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados	82
Figura 4-6. Distribuição espectral de energia Master TL5 High Efficiency Eco 50=54W/830	84
Figura 4-7. Distribuição espectral de energia #7 – 3000K – Triphosphor	84
Figura 4-8. Payback entre lâmpada T5, 54W, 3000K e catodo frio	88
Figura 4-9. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 54W, 3000K e catodo frio	89
Figura 4-10. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T5, 54W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados	90
Figura 4-11. Distribuição espectral de energia Master TL5 High Output Eco 73=80W/830	92
Figura 4-12. Distribuição espectral de energia #7 – 3000K – Triphosphor	92
Figura 4-13. Payback entre lâmpada T5, 80W, 3000K e catodo frio	96
Figura 4-14. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 80W, 3000K e catodo frio	97
Figura 4-15. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T5, 80W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados	98
Figura 4-16. Distribuição espectral de energia Master TL-D 90 De Luxe 36W/930	100
Figura 4-17. Distribuição espectral de energia #7 – 3000K – Triphosphor	100
Figura 4-18. Payback entre lâmpada T8, 36W, 3000K e catodo frio	104
Figura 4-19. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 36W, 3000K e catodo frio	105
Figura 4-20. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T8, 36W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados	106
Figura 4-21. Distribuição espectral de energia Master TL-D 36W/830	108
Figura 4-22. Distribuição espectral de energia #7 – 3000K – Triphosphor	108
Figura 4-23. Payback entre lâmpada entre T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio	112
Figura 4-24. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre entre T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio	113
Figura 4-25. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada entre T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados	114
Figura 4-26. Distribuição espectral de energia Master TL-D 90 De Luxe 58W/930	116
Figura 4-27. Distribuição espectral de energia #7 – 3000K – Triphosphor	116
Figura 4-28. Payback entre lâmpada T8, 58W, 3000K e catodo frio	120
Figura 4-29. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 58W, 3000K e catodo frio	121
Figura 4-30. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T8, 58W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados	122
Figura 4-31. Distribuição espectral de energia Master TL5 High Efficiency Eco 25=28W/840	124
Figura 4-32. Distribuição espectral de energia #25 B – 4500K – Triphosphor	124
Figura 4-33. Payback entre lâmpada T5, 28W, 4000K e catodo frio	128
Figura 4-34. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 28W, 4000K e catodo frio	129

Figura 4-35. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T5, 28W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados	130
Figura 4-36. Distribuição espectral de energia Master TL5 High Output 50=54W/840	132
Figura 4-37. Distribuição espectral de energia #25 B – 4500K – Triphosphor	132
Figura 4-38. Payback entre lâmpada T5, 54W, 4000K e catodo frio	136
Figura 4-39. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 54W, 4000K e catodo frio	137
Figura 4-40. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T5, 54W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados	138
Figura 4-41. Distribuição espectral de energia Master TL5 High Output Eco 73=80W/840	140
Figura 4-42. Distribuição espectral de energia #25 B – 4500K – Triphosphor	140
Figura 4-43. Payback entre lâmpada T5, 80W, 4000K e catodo frio	144
Figura 4-44. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 80W, 4000K e catodo frio	145
Figura 4-45. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T5, 80W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados	146
Figura 4-46. Distribuição espectral de energia Master TL-D 90 De Luxe 36W/940	148
Figura 4-47. Distribuição espectral de energia #25 B – 4500K – Triphosphor	148
Figura 4-48. Payback entre lâmpada T8, 36W, 4000K e catodo frio	152
Figura 4-49. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 36W, 4000K e catodo frio	153
Figura 4-50. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T8, 36W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados	154
Figura 4-51. Distribuição espectral de energia Master TL-D 90 De Luxe 58W/940	156
Figura 4-52. Distribuição espectral de energia #25 B – 4500K – Triphosphor	156
Figura 4-53. Payback entre lâmpada T8, 58W, 4000K e catodo frio	160
Figura 4-54. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 58W, 4000K e catodo frio	161
Figura 4-55. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T8, 58W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados	162
Figura 4-56. Distribuição espectral de energia Master TL-D 58W/840	164
Figura 4-57. Distribuição espectral de energia #25 B – 4500K – Triphosphor	164
Figura 4-58. Payback entre lâmpada T8, 58W(maior fluxo luminoso),4000K e catodo frio	168
Figura 4-59. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio	169
Figura 4-60. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados	170
Figura 4-61. Distribuição espectral de energia Master TL5 High Efficiency Eco 25=28W/865	172
Figura 4-62. Distribuição espectral de energia #66 – 6000K – Triphosphor	172
Figura 4-63. Payback entre lâmpada T5, 28W, 6500K e catodo frio	176
Figura 4-64. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 28W, 6500K e catodo frio	177
Figura 4-65. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T5, 28W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados	178

Figura 4-66. Distribuição espectral de energia TL5 High Output Eco 50=54W/865	180
Figura 4-67. Distribuição espectral de energia #66 – 6000K – Triphosphor	180
Figura 4-68. Payback entre lâmpada T5, 54W, 6500K e catodo frio	184
Figura 4-69. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 54W, 6500K e catodo frio	185
Figura 4-70. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T5, 54W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados	186
Figura 4-71. Distribuição espectral de energia Master TL-D 90 De Luxe 36W/965	188
Figura 4-72. Distribuição espectral de energia #66 – 6000K – Triphosphor	188
Figura 4-73. Payback entre lâmpada T8, 36W, 6500K e catodo frio	192
Figura 4-74. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 36W, 6500K e catodo frio	193
Figura 4-75. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T8, 36W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados	194
Figura 4-76. Distribuição espectral de energia Master TL-D 90 De Luxe 58W/965	196
Figura 4-77. Distribuição espectral de energia #66 – 6000K – Triphosphor	196
Figura 4-78. Payback entre lâmpada T8, 58W, 6500K e catodo frio	200
Figura 4-79. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 58W, 6500K e catodo frio	201
Figura 4-80. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpada T8, 58W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados	202

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1. Relação das fontes de luz e suas temperaturas de cor correspondente	16
Tabela 2-2. Fator de depreciação ao longo do tempo de uso das lâmpadas	21
Tabela 2-3. Características das lâmpadas fluorescentes tubulares	27
Tabela 2-4. Código de temperatura de cor das lâmpadas fluorescentes tubulares Philips	28
Tabela 2-5. Cores típicas a partir da descarga de vários gases nobres	37
Tabela 2-6. Indicativo de carga máxima (em metros lineares) para transformadores eletromagnéticos	43
Tabela 2-7. Características das fontes de iluminação comparadas	52
Tabela 4-1. Comparativo 1: lâmpadas T5, 28W, 3000K e catodo frio	75
Tabela 4-2. Dados para o comparativo entre T5, 28W, 3000K e catodo frio, com redução de 690 Lm/m	77
Tabela 4-3. Resultado para o comparativo entre T5, 28W, 3000K e catodo frio, com redução de 690 Lm/m	78
Tabela 4-4. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T5, 28W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados	79
Tabela 4-5. Resultados dos comparativos entre lâmpada T5, 28W, 3000K e catodo frio	83
Tabela 4-6. Comparativo 2: lâmpadas T5, 54W, 3000K e catodo frio	84
Tabela 4-7. Dados para o comparativo entre T5, 54W, 3000K e catodo frio, com redução de 1100 Lm/m	85
Tabela 4-8. Resultado para o comparativo entre T5, 54W, 3000K e catodo frio, com redução de 1100 Lm/m	86
Tabela 4-9. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T5, 54W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados	87
Tabela 4-10. Resultados dos comparativos entre lâmpada T5, 54W, 3000K e catodo frio	91
Tabela 4-11. Comparativo 3: lâmpadas T5, 80W, 3000K e catodo frio	92
Tabela 4-12. Dados para o comparativo entre T5, 80W, 3000K e catodo frio, com redução de 900 Lm/m	93
Tabela 4-13. Resultado para o comparativo entre T5, 80W, 3000K e catodo frio, com redução de 900 Lm/m	94
Tabela 4-14. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T5, 80W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados	95
Tabela 4-15. Resultados dos comparativos entre lâmpada T5, 80W, 3000K e catodo frio	99
Tabela 4-16. Comparativo 4: lâmpadas T8, 36W, 3000K e catodo frio	100
Tabela 4-17. Dados para o comparativo entre T8, 36W, 3000K e catodo frio, com mesmo fluxo luminoso	101
Tabela 4-18. Resultado para o comparativo entre T8, 36W, 3000K e catodo frio, com mesmo fluxo luminoso	102
Tabela 4-19. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T8, 36W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados	103
Tabela 4-20. Resultados dos comparativos entre lâmpada T8, 36W, 3000K e catodo frio	107
Tabela 4-21. Comparativo 5: lâmpadas T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio	108
Tabela 4-22. Dados para o comparativo entre lâmpadas T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio, com redução de 900 Lm/m	109

Tabela 4-23. Resultado para o comparativo entre lâmpadas T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio	110
Tabela 4-24. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados	111
Tabela 4-25. Resultados dos comparativos entre lâmpada T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio	115
Tabela 4-26. Comparativo 6: lâmpadas T8, 58W, 3000K e catodo frio	116
Tabela 4-27. Dados para o comparativo entre T8, 58W, 3000K e catodo frio, com redução de 170 Lm/m	117
Tabela 4-28. Resultado para o comparativo entre T8, 58W, 3000K e catodo frio, com redução de 170 Lm/m	118
Tabela 4-29. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T8, 58W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados	119
Tabela 4-30. Resultados dos comparativos entre lâmpada T8, 58W, 3000K e catodo frio	123
Tabela 4-31. Comparativo 7: lâmpadas T5, 28W, 4000K e catodo frio	124
Tabela 4-32. Dados para o comparativo entre T5, 28W, 4000K e catodo frio, com redução de 490 Lm/m	125
Tabela 4-33. Resultado para o comparativo entre T5, 28W, 4000K e catodo frio, com redução de 490 Lm/m	126
Tabela 4-34. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T5, 28W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados	127
Tabela 4-35. Resultados dos comparativos entre lâmpada T5, 28W, 4000K e catodo frio	131
Tabela 4-36. Comparativo 8: lâmpadas T5, 54W, 4000K e catodo frio	132
Tabela 4-37. Dados para o comparativo entre T5, 54W, 4000K e catodo frio, com redução de 1200 Lm/m	133
Tabela 4-38. Resultado para o comparativo entre T5, 54W, 4000K e catodo frio, com redução de 1200 Lm/m	134
Tabela 4-39. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T5, 54W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados	135
Tabela 4-40. Resultados dos comparativos entre lâmpada T5, 54W, 4000K e catodo frio	139
Tabela 4-41. Comparativo 9: lâmpadas T5, 80W, 4000K e catodo frio	140
Tabela 4-42. Dados para o comparativo entre T5, 80W, 4000K e catodo frio, com redução de 2450 Lm/m	141
Tabela 4-43. Resultado para o comparativo entre T5, 80W, 4000K e catodo frio, com redução de 2450 Lm/m	142
Tabela 4-44. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T5, 80W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados	143
Tabela 4-45. Resultados dos comparativos entre lâmpada T5, 80W, 4000K e catodo frio	147
Tabela 4-46. Comparativo 10: lâmpadas T8, 36W, 4000K e catodo frio	148
Tabela 4-47. Dados para o comparativo entre T8, 36W, 4000K e catodo frio, com redução de 200 Lm/m	149
Tabela 4-48. Resultado para o comparativo entre T8, 36W, 4000K e catodo frio, com redução de 200 Lm/m	150
Tabela 4-49. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T8, 36W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados	151

Tabela 4-50. Resultados dos comparativos entre lâmpada T8, 36W, 4000K e catodo frio	155
Tabela 4-51. Comparativo 11: lâmpadas T8, 58W, 4000K e catodo frio	156
Tabela 4-52. Dados para o comparativo entre T8, 58W, 4000K e catodo frio, com redução de 710 Lm/m	157
Tabela 4-53. Resultado para o comparativo entre T8, 58W, 4000K e catodo frio, com redução de 710 Lm/m	158
Tabela 4-54. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T8, 58W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados	159
Tabela 4-55. Resultados dos comparativos entre lâmpada T8, 58W, 4000K e catodo frio	163
Tabela 4-56. Comparativo 12: lâmpadas T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio	164
Tabela 4-57. Dados para o comparativo entre T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio, com redução de 1130 Lm/m	165
Tabela 4-58. Resultado para o comparativo entre T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio, com redução de 1130 Lm/m	166
Tabela 4-59. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados	167
Tabela 4-60. Resultados dos comparativos entre lâmpada T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio	171
Tabela 4-61. Comparativo 13: lâmpadas T5, 28W, 6500K e catodo frio	172
Tabela 4-62. Dados para o comparativo entre T5, 28W, 6500K e catodo frio, com redução de 520 Lm/m	173
Tabela 4-63. Resultado para o comparativo entre T5, 28W, 6500K e catodo frio, com redução de 520 Lm/m	174
Tabela 4-64. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T5, 28W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados	175
Tabela 4-65. Resultados dos comparativos entre lâmpada T5, 28W, 6500K e catodo frio	179
Tabela 4-66. Comparativo 14: lâmpadas T5, 54W, 6500K e catodo frio	180
Tabela 4-67. Dados para o comparativo entre T5, 54W, 6500K e catodo frio, com redução de 1300 Lm/m	181
Tabela 4-68. Resultado para o comparativo entre T5, 54W, 6500K e catodo frio, com redução de 1300 Lm/m	182
Tabela 4-69. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T5, 54W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados	183
Tabela 4-70. Resultados dos comparativos entre lâmpada T5, 54W, 6500K e catodo frio	187
Tabela 4-71. Comparativo 15: lâmpadas T8, 36W, 6500K e catodo frio	188
Tabela 4-72. Dados para o comparativo entre T8, 36W, 6500K e catodo frio, com redução de 100 Lm/m	189
Tabela 4-73. Resultado para o comparativo entre T8, 36W, 6500K e catodo frio, com redução de 100 Lm/m	190
Tabela 4-74. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T8, 36W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados	191
Tabela 4-75. Resultados dos comparativos entre lâmpada T8, 36W, 6500K e catodo frio	195
Tabela 4-76. Comparativo 16: lâmpadas T8, 58W, 6500K e catodo frio	196

Tabela 4-77. Dados para o comparativo entre T8, 58W, 6500K e catodo frio, com redução de 300 Lm/m	197
Tabela 4-78. Resultado para o comparativo entre T8, 58W, 6500K e catodo frio, com redução de 300 Lm/m	198
Tabela 4-79. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpada T8, 58W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados	199
Tabela 4-80. Resultados dos comparativos entre lâmpada T8, 58W, 6500K e catodo frio	203
Tabela 5-1. Arranjos dos conversores eletrônicos para compensar a menor emissão do fluxo luminoso no comparativo entre as lâmpadas fluorescentes e o catodo frio	211
Tabela 5-2. Variação da emissão luminosa conforme a potência, nas diferentes temperaturas de cor nas lâmpadas fluorescentes (3000K, 4000K e 6500K)	211
Tabela 5-3. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T5, T8 e catodo frio	212
Tabela 6-1. Relação inversamente proporcional no comparativo entre as lâmpadas fluorescentes e o catodo frio	215
Tabela 6-2. Relação da emissão luminosa e a viabilidade econômica no comparativo entre as lâmpadas fluorescentes e o catodo frio	216
Tabela 6-3. Relação do retorno sobre o investimento para o retrofit dos sistemas de iluminação, quanto à sua utilização	217

1. INTRODUÇÃO

A luz sempre teve papel dominante na arquitetura, tanto para revelar o desenho arquitetônico das edificações e criar uma atmosfera particular, como para proporcionar aos ocupantes das edificações o conforto visual e funcional da iluminação. O uso idealizado da luz natural, em tempos de energia barata, foi frequentemente entendido como um ajuste supérfluo ao projeto (BAKER et al, 2002). As deficiências de iluminação destas construções foram, invariavelmente, corrigidas por meio da luz artificial. A crise do petróleo, o consequente aumento nos custos da energia elétrica e, mais recentemente, a consciência do impacto da produção de energia para o meio ambiente, acarretaram em novas necessidades e, portanto, suas adequações deram novos arrojados aos projetos.

Com o crescente interesse em projetos com conscientização do uso de energia, em geral, novas práticas tem se estabelecido no uso da iluminação artificial, com baixo consumo de energia elétrica nas edificações. Estima-se que metade da energia utilizada em edificações não-domésticas são consumidas pela iluminação artificial (BAKER et al, 2002). Assim, entende-se o motivo do aumento significativo do uso, principalmente, de fontes de iluminação artificial que não comprometam o consumo de energia e, portanto, que apresentem melhor eficiência. Por isso, a partir da década de 1970, deu-se então, em ampla escala, o uso das lâmpadas fluorescente de descarga de baixa pressão, em grande parte, aplicadas pelas edificações não-domésticas, devido aos avanços quanto à sua eficácia luminosa e melhoria do índice de reprodução de cor (YEN et al, 2006).

Mediante a essa riqueza temática, e de forma cronológica, este estudo apresenta a evolução do uso da iluminação nas edificações, principalmente, a partir da mudança de comportamento da sociedade que, após a Revolução Industrial, originou novas demandas, devido a migração da população rural para a realização de trabalhos em ambientes fechados, nas cidades.

Este período, principalmente a segunda etapa da Revolução Industrial (entre 1860 e 1900), historicamente, é considerado um dos mais férteis para o desenvolvimento das tecnologias de manufatura e coincide com o desenvolvimento das primeiras lâmpadas elétricas.

E por se tratar de uma tecnologia ainda recente, desde o advento da lâmpada elétrica de Edson em 1879, e ao longo de quase todo o século XX, houve prevalência dos aspectos quantitativos nas recomendações e normas para os projetos de iluminação (BAKER; STEEMERS, 2002).

Evoluindo mais no tempo, este trabalho analisa também o período posterior à invenção das lâmpadas fluorescentes e as consequentes alterações nos projetos, agora, a partir do uso irrestrito da iluminação artificial. Como por exemplo, na década de 1970, áreas amplas de escritórios que atingiam níveis absurdos de iluminamento da ordem de 1200 lux, e eram adotadas sem restrição ao consumo de energia elétrica (BAKER et al,1993) – a chamada produtividade em função da iluminância.

O estudo abrange também os principais fatores e grandezas fotométricas da luz, e dessa maneira, explica como ela é percebida pelo olho humano. A importância em entender a fisiologia do olho humano quando sensibilizado pela luz ocorre exatamente para demonstrar que as melhorias relacionadas aos póis de revestimento das lâmpadas fluorescentes (responsáveis por tornar a radiação ultravioleta em emissão luminosa dentro do espectro de energia visível), de certa forma, também responsáveis pela eficiência das lâmpadas de descarga de baixa pressão, só ocorreram quando se entendeu como a luz era percebida pelo olho humano (YEN et al, 2006).

E, a partir da revisão da literatura, e do conhecimento adquirido com o desenvolvimento dos assuntos supracitados, este trabalho apresenta o princípio de funcionamento das lâmpadas de descarga de baixa pressão, mais especificamente as fluorescentes tubulares e as lâmpadas de catodo frio, para então compará-las.

Então, como objetivo principal, este trabalho descreve e compara as características técnicas (fluxo luminoso, temperatura de cor e índice de reprodução de cor) e financeiras (investimento inicial, custos de operação e manutenção do sistema de iluminação) de dois tipos de lâmpadas (as fluorescentes tubulares e o catodo frio), fornecendo argumentos econômico-financeiros para a tomada de decisão do investidor quanto a viabilidade da substituição (*retrofit*) pela tecnologia economizadora, sem perda do conforto visual para os usuários das edificações.

A relevância do assunto abordado deve-se ao fato de que, comercialmente, algumas das soluções dos sistemas de iluminação aplicadas se dão de maneira bastante prática e simples. Porém, na maioria das vezes, assume-se como solução de iluminação a “prática de mercado”, simplista, sem acesso às informações pertinentes ao uso adequado das tecnologias disponíveis, tornando os consumidores reféns de táticas mercantilistas, apenas em prol de ações de marketing dos grandes fabricantes. Portanto, este estudo visa contribuir tanto para a tomada de decisão, sob o ponto de vista do investidor, como também de forma acadêmica, por meio de inferências teóricas.

1.1. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é estudar as aplicações das lâmpadas de descarga de baixa pressão em edificações, mais especificamente as lâmpadas de catodo frio, para compreender, quando comparadas com as lâmpadas fluorescentes tubulares, se há viabilidade econômica de seu uso, consideradas as suas características como, por exemplo, longo tempo de vida útil e baixo consumo de energia elétrica. A partir de cálculos financeiros, também apresenta subsídios para a tomada de decisão do investidor para a eventual substituição (*retrofit*) dos sistemas de iluminação nas edificações, sem perda do conforto visual aos seus usuários.

1.2. JUSTIFICATIVA

A justificativa para a realização deste estudo é a de trazer à luz do conhecimento informações relevantes para a eficiência energética em sistemas de iluminação, sem que sejam prejudicadas as características do conforto visual para a realização das tarefas pelos usuários das edificações, apresentando uma possível alternativa ao uso das lâmpadas fluorescentes tubulares, por meio da aplicação das lâmpadas de catodo frio, quando comprovada sua viabilidade técnico-econômica.

1.3. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Devido a gama de lâmpadas disponíveis e comercializadas no mercado, este estudo ficou limitado às lâmpadas de descarga de baixa pressão – entre elas as lâmpadas fluorescentes tubulares (tipos T8 e T5), e as lâmpadas de catodo frio. Para adequação do comparativo luminotécnico entre as lâmpadas analisadas, foram estabelecidas três temperaturas de cor: 3000K, 4000K e 6500K. E em todas as oportunidades, considerou-se o Índice de Reprodução de Cor (IRC) equivalente nas lâmpadas comparadas.

Para a análise de viabilidade econômica da eventual substituição (*retrofit*) pela tecnologia economizadora, este trabalho estabeleceu índices econômicos para auxiliar a tomada de decisão por parte do investidor. Em diferentes períodos – 10 anos a partir do investimento inicial e durante todo o tempo de vida útil do sistema de iluminação mais duradouro – e, assumida uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA), os cálculos se limitaram em apresentar os índices da Taxa Interna de Retorno (TIR) e Retorno sobre o Investimento (Payback Simples). Ainda assim, com base nos fluxos de caixa financeiros, foi possível calcular também o dispêndio

financeiro durante os mesmos dois períodos já informados. A partir do consumo de energia elétrica anual de cada aplicação (seja nas fluorescentes tubulares ou no catodo frio), foi possível estabelecer a economia do consumo (em kWh e na moeda corrente), apresentados na condição de Poupança de Energia.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Para a realização deste estudo, foi necessário estruturá-lo com rigor acadêmico, na forma de Dissertação de Mestrado. Para tanto, o trabalho foi concebido como projeto. Único e dividido em fases, este projeto foi estabelecido de acordo com referências do Prof. Dr. Paulo Sergio Scarazzato, que orientou e conduziu as diferentes etapas do estudo, durante o desenvolvimento da Dissertação: estabelecidos os objetivos e a justificativa do trabalho, iniciaram-se os procedimentos para delimitação dos sistemas de iluminação a serem analisados. Obviamente, o caráter técnico também se instituiu, a partir do momento em que as fontes de luz comparadas foram definidas. A base do conhecimento aqui descrito está toda ela compreendida pela Revisão da Literatura e pela experiência pessoal dos autores, no trato com a iluminação – seja ela natural ou artificial.

O método utilizado para realização deste estudo compreendeu as táticas do sistema comparativo descritivo – que identificou as variáveis luminotécnicas das lâmpadas analisadas (fluorescentes tubulares e catodo frio), para posteriormente inter-relacioná-las com os custos de investimento e operação dos sistemas de iluminação que utilizam tais lâmpadas.

Assim, como produto final, e por meio dos cálculos dos índices de viabilidade econômica, este trabalho busca entregar dados relevantes sobre o diagnóstico da fonte de iluminação com melhor desempenho econômico, enquanto apresenta a visão de longo prazo para a tomada de decisão do investidor, justificando custos e argumentando os investimentos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. A EVOLUÇÃO DO USO DA ILUMINAÇÃO NAS EDIFICAÇÕES

A visão é o mais desenvolvido e mais complexo de todos os nossos sentidos e da mesma forma, certamente, em todo o nosso desenvolvimento cultural a luz tem sido o principal pré-requisito para detectarmos nosso próprio mundo, através das artes, pinturas, esculturas e literatura.

Também a construção de edificações em suas mais variadas funções, desde os mais simples abrigos, tem sido a mais significativa de todas as atividades humanas e expressão de suas diferentes culturas. Portanto, não surpreende o fato que a iluminação deva ser uma das principais preocupações dos arquitetos, designers e construtores – tão fundamental quanto à capacidade da construção em modificar o clima interno para seus usuários ou, ainda, a estabilidade estrutural da construção.

Embora a iluminação natural seja vista como a principal fonte de luz, é interessante notar que a iluminação artificial se tornou cada vez mais presente, inicialmente ainda por meio do fogo nos primitivos abrigos (BAKER et al, 1993). Entretanto, em tempos mais recentes, a iluminação artificial – produzida pelo homem – foi considerada como uma alternativa para escuridão dos períodos noturnos. Agora, muito rapidamente desde a metade do último século, a maioria dos habitantes do mundo desenvolvido passa a maior parte do dia realizando suas mais diversas atividades sob a luz artificial, sejam elas atividades profissionais ou mesmo durante o período de lazer.

Recentemente, duas questões foram consideradas preocupantes: primeiro a percepção da enorme quantidade de energia elétrica necessária para prover a iluminação artificial nos mais diferentes ambientes, o que contribui significativamente para a poluição ambiental global, e segundo, que a privação da iluminação natural, cada vez mais frequente devido aos novos hábitos da população, principalmente nos centros mais desenvolvidos, causa prejuízos fisiológicos e psicológicos aos usuários de edificações compostas, basicamente, por iluminação artificial. Portanto, estes fatos em conjunto com as questões da arquitetura e da estética, deveriam sempre levar em consideração a iluminação natural (BAKER et al, 1993).

2.1.1. A iluminação das edificações no período Pré-Industrial

O trabalho realizado pelo indivíduo pré-industrial tinha muitos diferentes atributos comparados aos realizados atualmente – grande parte do seu tempo era dedicado, ao ar livre, cuidando das plantações e dos animais. Os primeiros abrigos eram muito primitivos para admissão de qualquer luz, tendo como prioridade à proteção dos elementos de risco à vida. Internamente, as atividades eram bastante simples e, portanto, não demandavam de boa iluminação. São apenas nas edificações voltadas às cerimônias e aos cultos religiosos que são vistas as primeiras manifestações de consciência e preocupação com a utilização da luz natural (BAKER et al, 1993).

A invenção do vidro foi a influência fundamental para a evolução das janelas (BAKER; STEEMERS, 2002). O vidro permitiu a entrada da luz natural, a partir do clima externo, mantendo a função do isolamento interno. Isto teve enorme significado principalmente em regiões de clima mais frio, como o norte da Europa, quando comparadas com regiões do sul da Europa, por exemplo, onde a presença de luz natural coincide com temperaturas externas mais confortáveis. No entanto, como muitas outras realizações técnicas, foram os romanos que primeiramente exploraram os benefícios da térmica envidraçando suas janelas (BAKER; STEEMERS, 2002).

Na arquitetura doméstica medieval, as janelas pré-datam o uso de vidro, mas foram igualmente importantes como elementos de ventilação que permitiam a saída da fumaça provocada pelo aquecimento interno por meio do fogo. Na verdade a palavra “window”, (janela, em língua inglesa) provem de “wind eye”, (olho do vento, em tradução livre) e demonstra como é interessante que algumas das primeiras regras de orientação das edificações correspondem à fatores da saúde quanto a má ventilação, com preocupação particular à praga e não ao sol. Estas aberturas, em geral, eram fechadas internamente com painéis de madeira articulados ou surpreendentemente por sofisticados painéis deslizantes. As aberturas das janelas eram formadas por montantes verticais que forneciam suporte estrutural e limitava o tamanho da abertura por questões de segurança, (BAKER et al, 1993). Conforme demonstrado na figura 2-1, as edificações da época pré-industrial exibiam pequenas janelas (sem vidro), apenas para ventilação, já que as tarefas internas exigiam pouca iluminação natural.



Figura 2-1. Weald and Downland Open Air Museum.

Casa de fazenda do final do século XVI, em Midhurst, West Sussex, Inglaterra.

Fonte <http://www.wealddown.co.uk/Buildings/Pendean-Farmhouse-from-Midhurst-Sussex> (acesso, maio/2012)

As janelas sem vidro e, em geral, a pobre montagem das aberturas e portas induzia a altos índices de infiltração. Muito provavelmente, esta disposição era favorável, pois ainda não haviam surgido as lareiras e com elas a manutenção de níveis de poluição suportáveis. As temperaturas internas, invariavelmente, seguiam as temperaturas externas e o conforto era alcançado, principalmente, pelo ambiente ao redor do fogo. De certa forma, este foi o incentivo para que fosse, então, incorporado o isolamento térmico – a utilização do vidro se fazia necessária para garantir a manutenção e contenção do ar interno nas edificações (BAKER et al, 1993).

E então, gradualmente a produção do vidro se estabeleceu e seus custos obviamente reduziram. Os proprietários de terras foram os primeiros a adotá-los, já que a violência e o conflito haviam diminuído, a fortificação de suas edificações se tornara de menor prioridade (BAKER et al, 1993). As janelas se tornaram maiores e, a partir do século XVI, ocorre a celebração do uso das janelas nos projetos – como tipificado pela sacada com janela em

Cambridge, conforme figura 2-2, onde o posicionamento permitiu que fosse possível realizar as refeições próximas a janelas (BAKER et al, 1993).



Figura 2-2. Sacada com janela, Queens' College, Cambridge, Inglaterra, século XVI.
Fonte <http://www.cambridge2000.com/cambridge2000/html/0006/P6151285.html> (acesso, maio/2012)

Mesmo antes da industrialização, havia certas atividades realizadas internamente que necessitavam de demandas técnicas sobre o uso da luz natural (BAKER; STEEMERS, 2002). Escrever e pintar, por exemplo, exigiam boa iluminação e, consideradas apenas as fontes primitivas disponíveis de iluminação artificial, demandavam enorme confiança e dependência da luz natural. O projeto da biblioteca da Corpus Christi College, por exemplo, de 1604, em Oxford, Inglaterra, já previa o uso de janelas com vidros para utilização da iluminação natural para auxiliar a realização das tarefas internas a edificação – tanto para iluminação das prateleiras como para leitura, figura 2-3.



Figura 2-3. Corpus Christi College Library (1604), Oxford, Inglaterra.

Fonte http://www.tripadvisor.com.br/Attraction_Review-g186361-d212322-Reviews-Corpus_Christi_College-Oxford_Oxfordshire_England.html (acesso, julho/2012)

Foi na tecelagem e na produção de fios que se verificou o maior impacto na alteração do desenho das edificações. A necessidade da iluminação mostrou que a produção era crucialmente dependente da disponibilidade de luz natural, ao seu máximo. Isto pode ser percebido, já que no século XV o custo real da iluminação artificial (em relação ao custo de vida médio) era cerca de 6000 vezes (por lúmen) maior do que é hoje (BAKER, et al, 1993).

2.1.2. A necessidade de luz nas edificações na Revolução Industrial

A Revolução Industrial trouxe grande impacto no comportamento das pessoas: com a vinda da população rural para as cidades para trabalhar em moinhos, fábricas e oficinas, uma demanda muito maior da iluminação natural se fez necessária, já que grande parte da população passava a exercer suas atividades dentro das edificações (BAKER; STEEMERS, 2002). Avanços consideráveis foram feitos na iluminação artificial, sendo o mais notável o invento da manta

incandescente a gás por Welsbach¹, em 1885. Mas, apesar do avanço na iluminação artificial, ainda era muito caro para ser utilizado em substituição à luz natural. A disponibilidade de luz elétrica no final do século XIX reduziu a poluição do ambiente interno das edificações, reduzindo consideravelmente o risco de incêndio, mas fez muito pouco para reduzir os custos, (BAKER, et al, 1993).

É então, com a invenção da lâmpada elétrica de Thomas Edson (1879), que ocorre um enorme avanço, já que o novo dispositivo fornecia luz instantânea sem gerar poluição ao ambiente interno, reduzindo o perigo, pois gases e óleos já não eram mais necessários para a geração da luminosidade, o que também alterou o comportamento da época, conforme descrito pela figura 2-4: “Esta sala está equipada com a Lâmpada Elétrica de Edison. Não tente acender com fósforo. Basta girar a chave na parede, ao lado da porta. O uso da Eletricidade para iluminação não é prejudicial à saúde, nem afeta a estabilidade do sono”, em tradução livre.

O desenvolvimento da iluminação fluorescente marcou o final de uma época onde a iluminação natural ainda era considerada, pelo menos, uma intenção de projeto, mesmo que não obtida na prática (BAKER; STEEMERS, 2002). As lâmpadas fluorescentes trouxeram, pelo menos, um ganho quatro vezes maior na eficiência da iluminação, assim reduziram os custos de operação e a radiação de calor, suficientemente para que os arquitetos abandonassem os preceitos da iluminação natural nos projetos (BAKER et al, 1993). Tão logo estas decisões foram possíveis, as áreas envidraçadas podiam ser drasticamente reduzidas; o vidro transparente podia se tornar espelhado ou refletivo, fato muito predominante nos edifícios da década de 1970. Enormes áreas que empregavam vidro transparente, utilizado por razões que recaem entre a busca de um estilo e o fornecimento de luz natural, já tinham sido identificadas como o vilão, causando altos ganhos solares com perdas de calor. Alguns profissionais facilmente reconsideraram na cobertura a necessidade de atuar como um filtro seletivo do ambiente (BAKER et al, 1993). A função da cobertura passou a ser a de excluir o ambiente externo, e em conter o ambiente interno artificial, previsto pelos projetistas.

¹ Carl Auer Freiherr von Welsbach (1858-1929), cientista e inventor austríaco que tinha talento para descobrir não só avanços, mas transformá-los em produtos comercialmente bem sucedidos. Ele é particularmente conhecido por seu trabalho sobre elementos de terras- raras, o que levou ao desenvolvimento do sílex usado nos isqueiros modernos, o manto de gás que trouxe luz para as ruas da Europa no final do século 19, e o desenvolvimento do filamento metálico para uso em lâmpadas.

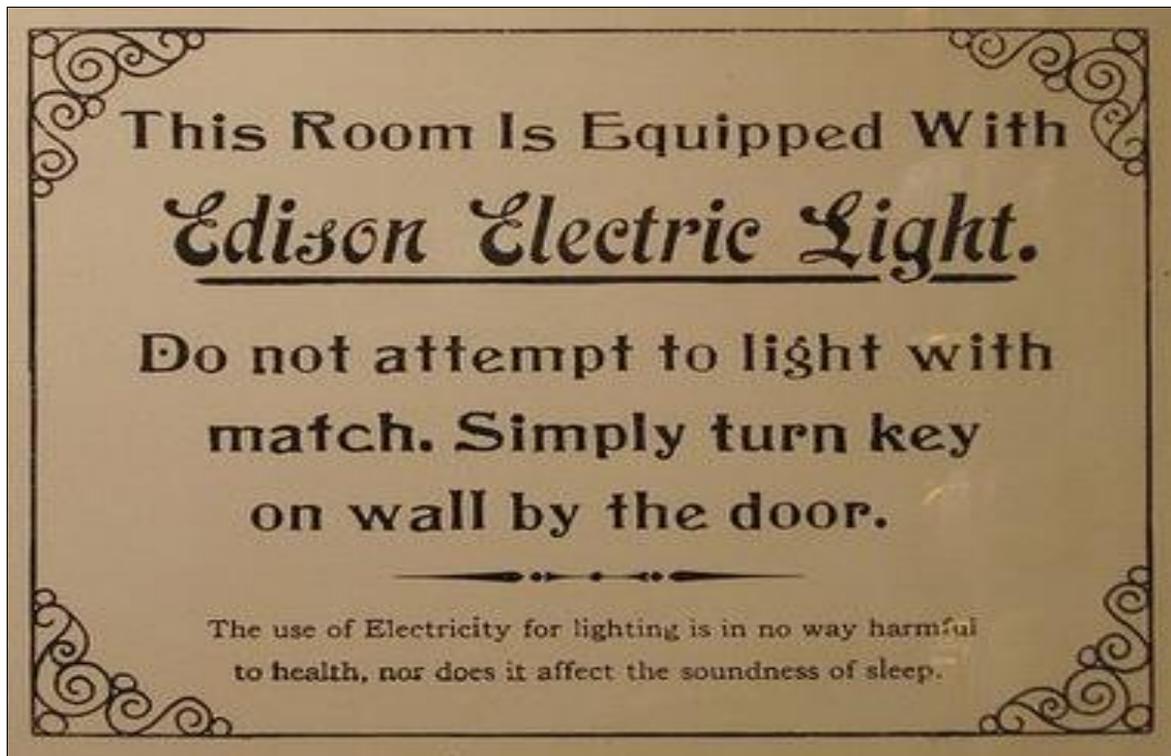


Figura 2-4. A invenção da lâmpada elétrica.

Fonte http://www.gracesguide.co.uk/Edison_and_Swan_United_Electric_Light_Co (acesso, agosto/2012)

2.1.3. A demanda por iluminação na era pós-fluorescente

Onde a luz natural foi abandonada, a quantidade de iluminação artificial – tão distinta quanto à sua qualidade passou a ser obsessão. Estudos realizados nos Estados Unidos da América indicavam que a produtividade em escritórios aumentava em função da iluminância, e os níveis de iluminamento da ordem de 1200 lux foram adotados sem restrição ao consumo de energia. Isto, em conjunto com a mudança para planos abertos, levou a grandes ambientes de trabalho com ar condicionado, monótonos e desumanos (BAKER et al,1993).

Conforme demonstrado na figura 2-5, os projetos dos grandes escritórios dos anos 1970 abandonam o conceito de forro provedor de luz natural e ventilação, tornando o ambiente interno totalmente artificial (BAKER et al, 1993).



Figura 2-5. Grandes escritórios nos anos 1970.

Fonte [http://www. http://serendipityproject.wordpress.com/2011/12/11/dec-11-2011-twenty-four-images-from-integrated-environmental-design-brochure-electricity-council-1970s/offices-of-south-western-electricity-board-plymouth](http://www.serendipityproject.wordpress.com/2011/12/11/dec-11-2011-twenty-four-images-from-integrated-environmental-design-brochure-electricity-council-1970s/offices-of-south-western-electricity-board-plymouth) (acesso abril/2012)

Apesar do grande avanço da eficiência luminosa das fontes de luz, estima-se que a iluminação artificial permaneça como a maior, ou a segunda maior fonte de consumo de energia elétrica em edifícios não-domésticos (BAKER et al, 1993). Entretanto, mesmo o fornecimento de espaços com boa qualidade de luz do dia não são suficientes para garantir a economia de energia, já que as lâmpadas ficam acessas mesmo quando não são necessárias. Um progresso considerável foi feito no desenvolvimento de sistemas de controle que asseguram o uso de iluminação natural para substituir a luz artificial, mas – infelizmente – estes sistemas são ainda bastante onerosos e pouco difundidos.

Segundo CADDET (1995), a iluminação, de forma geral, é responsável por aproximadamente 30% do total de eletricidade para operar os edifícios comerciais, sendo que 2/3 aproximadamente poderiam ser economizados com a utilização de sistemas eficientes de iluminação. Isto representaria uma economia total de cerca de 20% no consumo de eletricidade do edifício. No Brasil, de acordo com a Avaliação do Mercado de Eficiência Energética (ELETROBRÁS, 2007), a iluminação representa 22% do total de energia elétrica consumida pelo setor comercial, seguida pelas demais cargas (31%) e pelo ar condicionado (47%).

2.2. A PERCEPÇÃO DA LUZ PELO OLHO HUMANO

2.2.1. Fotometria da luz – radiação eletromagnética visível

A resposta humana à luz é subjetiva e muitos dos termos utilizados para descrever as sensações humanas relacionadas à luz não podem ser medidas em termos absolutos ou objetivos. (ROBBINS, 1986) Entender a distinção entre o objetivo – quantidades mensuráveis que definem a luz – e os aspectos subjetivos da resposta humana à luz, é essencial para o desenvolvimento da apreciação da iluminação (ROBBINS, 1986).

A luz, como o som, pode ser definida em termos de velocidade e frequência. Seja ela natural ou artificial, a luz é uma manifestação visual de energia e, qualquer entendimento destas manifestações deve ser relacionado com as sensações humanas, principalmente a visão (ROBBINS, 1986).

Historicamente, a terminologia da iluminação evoluiu da necessidade de medir a luminosidade emitida de pequenas fontes de luz, como as velas ou das lâmpadas elétricas, que são caracterizadas pela emissão difusa dos raios de luz. Já o sol é uma fonte de luz muito grande, e nos termos de iluminação é chamado de *Extensa Fonte de Luz*, (ROBBINS, 1986). Os raios de luz provenientes do sol, recebidos pela Terra, não são divergentes, mas paralelos. A luz emitida por tamanha fonte requer uma diferente variedade da Física para descrever seus fenômenos, comparada a outras pequenas fontes de iluminação (ROBBINS, 1986).

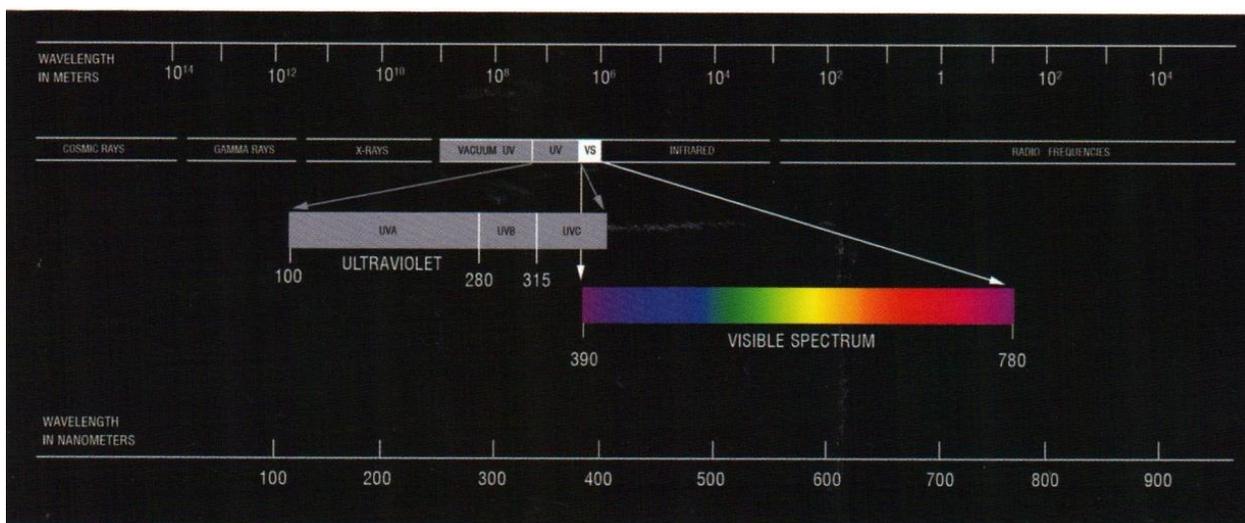


Figura 2-6. Espectro eletromagnético
Fonte DESCOTTES (2010)

A luz visível para o olho humano é uma banda estreita de radiação que tem comprimento de ondas entre 380nm (violeta escuro) e 760nm (vermelho escuro). A figura 2-6 identifica esta pequena faixa do espectro de energia visível dentro da radiação eletromagnética total, que engloba desde raios cósmicos, até a rádio frequência (DESCOTTES, 2010).

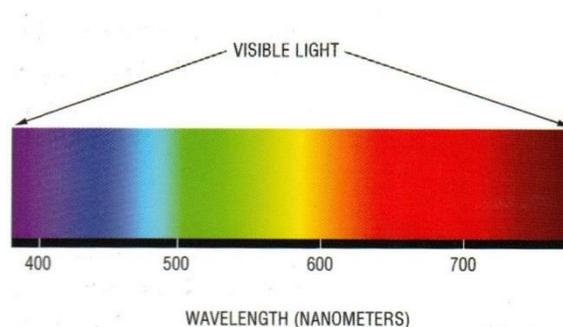


Figura 2-7. Espectro eletromagnético visível
Fonte DESCOTTES (2010)

A Figura 2-7, acima, apresenta a distribuição das cores dentro do espectro de energia visível. O olho humano tem melhor percepção para o comprimento de onda de 555nm (amarelos próximos às cores do sol) (DESCOTTES, 2010).

2.2.2. A Sensibilidade do olho humano ao espectro

A sensibilidade do olho humano ao espectro de energia é exclusivamente determinada pela retina. As características de transmissão espectrais dos componentes ópticos do olho (ie, a córnea, cristalino, etc.) também desempenham certo papel. Como um todo, o olho é sensível à radiação óptica para os comprimentos de onda entre 380 e 760 nm quando é incidente sobre o globo ocular através da córnea. A sensibilidade ao longo desta gama de comprimento de onda, no entanto, não é constante e tem específicas características espectrais. Esta dependência espectral é chamada de função da eficiência espectral luminosa do olho (SCHIMID, 2005).

O olho tem duas diferentes funções de eficiência espectral luminosa. Estas duas curvas de sensibilidade são mostrados na Figura 2-8, em função do comprimento de onda, que são semelhantes na forma, mas têm diferentes picos de comprimento de onda. Estritamente falando, o olho de cada indivíduo tem uma resposta diferente à eficiência espectral luminosa, dependendo de fatores como idade, por exemplo, (SCHIMID, 2005).

Para lidar quantitativamente com a luz, no entanto, a norma internacional para as curvas de eficiência espectral visíveis foram estabelecidas pela CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) e pela ISO (*International Organization for Standardization*) e são usados para visão fotópica $V(\lambda)$ e visão escotópica $V'(\lambda)$, respectivamente, como mostrado na Figura 2-8.

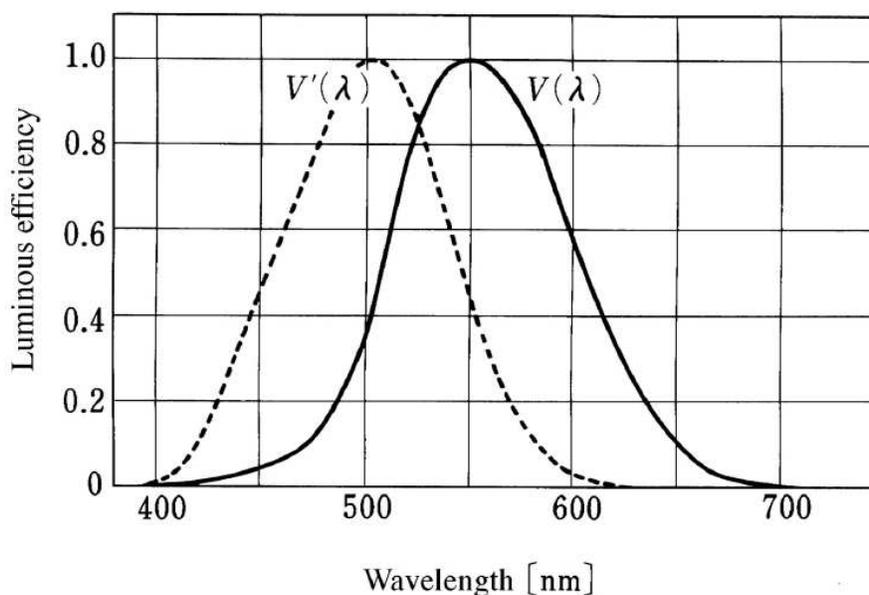


Figura 2-8. Curvas do padrão de eficiência visual do espectro: Visão fotópica $V(\lambda)$, e visão escotópica $V'(\lambda)$.
Fonte CIE (1983)

As duas curvas na figura são dadas em relação ao valor máximo de 1, no pico de sensibilidade do comprimento de onda. O valor máximo absoluto da eficiência luminosa no comprimento de onda de 555nm é 683 lumen W, para visão fotópica $V(\lambda)$ e 1700 lumen W, a 507nm, para visão escotópica $V'(\lambda)$. Para características intermediárias de sensibilidade espectral, dá-se o nome de visão mesópica. Atualmente, nenhum padrão definido foi estabelecido para a visão mesópica, uma vez que, como mencionado anteriormente, ela varia gradualmente à medida que as luminâncias se alteram (CIE, 1983).

2.2.3. Adaptação

Uma das características mais marcantes do olho é a sua capacidade de adequação de acordo com a iluminação em determinados ambientes ou objetos. Essa adaptação está relacionada à capacidade de ver contrastes e a má adequação do olho à luz, dependendo da quantidade de luz

e de como se apresentam as cores e do estado dos olhos no momento da visualização, (SCHIMID, 2005). Os olhos são capazes de se adequar a situações extremas de luz – como a luz do sol – até quantidades mínimas – como em noite de luz cheia.

2.2.4. Temperatura de cor

Pelas razões mencionadas anteriormente, é necessário definir a cor da luz de uma maneira objetiva ou por meio de medições físicas. Para definir a cor da luz, o conceito de temperatura de cor foi introduzido. A temperatura de cor é definida pela temperatura absoluta de radiação de Planck (corpo negro)² que tem a mesma cor ou as mesmas coordenadas colorimétricas como a da fonte de luz (YEN et al, 2006). As cores das fontes de luz se alteram de avermelhadas para azuladas, na medida em que aumenta a temperatura de cor, conforme os exemplos correlacionados de fontes de luz natural e artificial mostrados na tabela 2-1, a seguir.

Light source	Color temperature (K)
Blue sky	15000–20000
Cloudy sky	6500
Fluorescent lamps	
Daylight color	6500
Cool white color	4200
Halogen incandescent lamps	3000
Ordinary incandescent lamps	2800
High-pressure sodium lamps	2000
Candle flame	2000

Tabela 2-1. Relação das fontes de luz e suas temperaturas de cor correspondentes
Fonte YEN; SHIONOYA; YAMAMOTO (2006).

A figura 2-9 mostra a localização das coordenadas colorimétricas das cores da radiação Planckian no diagrama de cromaticidade CIE, para uma ampla gama de temperaturas de cor. Quando as coordenadas de cromaticidade de uma fonte de luz não estão exatamente sobre a curva de radiação Planckian, é considerada a temperatura absoluta do radiador Planckian mais próxima, e essa temperatura passa a ser chamada de temperatura de cor correlata. Algumas linhas

² Define-se como corpo negro o meio ou substância que absorve toda a radiação incidente sobre ele, independentemente do comprimento de onda, direção de incidência ou estado de polarização. Nenhuma parte da radiação incidente é refletida ou transmitida. A *Lei de Planck* para radiação de corpo negro exprime a radiância espectral em função do comprimento de onda e da temperatura do corpo negro.

retas, com temperaturas designadas, são mostradas na figura 2-9; cada linha traçada perpendicularmente à posição Planckian representa a linha mais próxima à temperatura relevante.

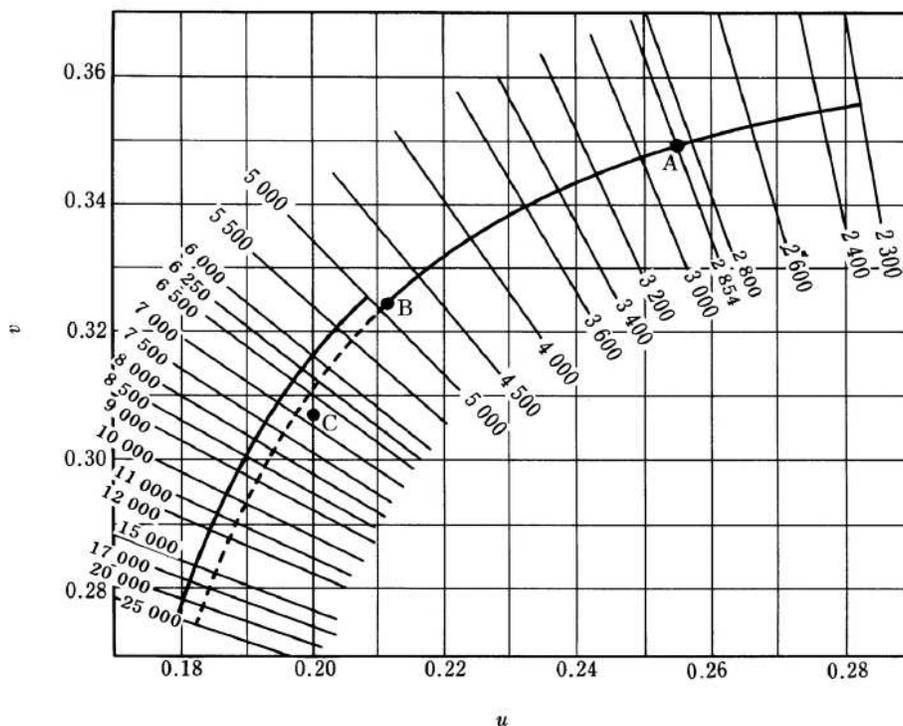


Figura 2-9. Localização dos pontos da radiação Planckian, conforme diagrama de cromaticidade CIE (1964).
Fonte YEN; SHIONOYA; YAMAMOTO (2006).

2.3. GRANDEZAS FOTOMÉTRICAS

2.3.1. Fluxo luminoso (φ)

Segundo o CONMETRO (1998), é a potência emitida por uma fonte puntiforme e variável de 1 candela, de mesmo valor em todas as direções, no interior de um ângulo sólido de 1 esterradiano. Mas, de acordo com SCHMID (2005), é a parte da potência que sensibiliza os olhos humanos. Sua unidade é o Lúmen (Lm).

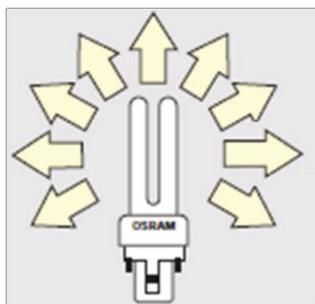


Figura 2-10. Fluxo luminoso emitido pela fonte de luz.
Fonte OSRAM (2007).

2.3.2. Iluminância (E)

É a quantidade do fluxo luminoso que é recebido por uma determinada superfície tornando visível tudo que fique próximo a ela, ou seja, é a densidade luminosa por metro quadrado, (SCHIMID, 2005). Sua unidade é o Lux ou Lm/m^2 .

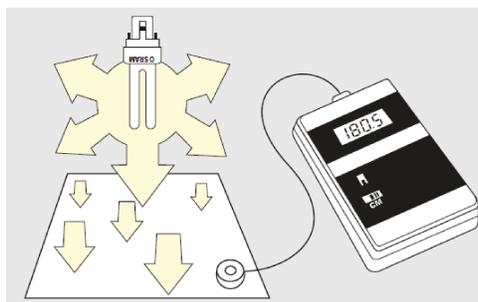


Figura 2-11 Projeção do fluxo luminoso sobre uma superfície.
Fonte OSRAM (2007)

2.3.3. Eficiência luminosa (η)

É a grandeza que resulta da relação existente entre os fluxos luminoso e energético (TREGUENZA, 1998), visando à medição da quantidade de lumens consumidos por 1 watt. Sua unidade é o Lúmen por Watt (Lm/W).

2.3.4. Índice de Reprodução de Cor (IRC)

É a grandeza de relação entre a cor real ou superfície de um determinado objeto e sua aparência diante de uma fonte de luz puntiforme. A luz artificial parte do princípio de que deve consentir ao olho humano a percepção correta das cores ou o mais próximo possível destas sob a luz natural. Quanto mais baixo for o IRC, menor será sua efetiva reprodução de cores. Os índices variam então de acordo com a natureza da luz e são utilizados baseados no uso específico de cada ambiente (TREGUENZA, 1998). Isso significa que uma boa reprodução de cores está diretamente ligada à qualidade da luz incidente, ou seja, à equilibrada distribuição das ondas constituintes do seu espectro. A figura 2-12 mostra uma escala de reprodução de cor de acordo com as atividades a serem desenvolvidas nos ambientes.

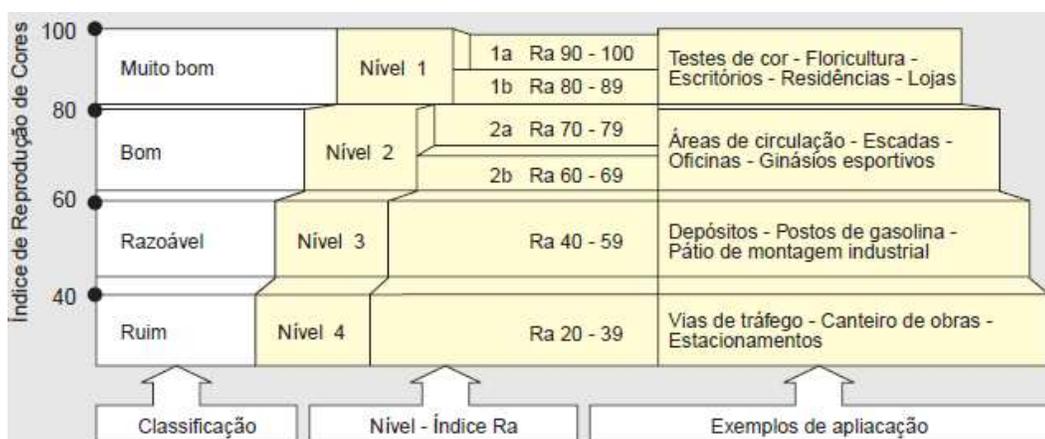


Figura 2-12 Índices de reprodução de cor.
Fonte OSRAM (2007)

2.4. NORMA PARA ILUMINÂNCIA.

As Normas Brasileiras (NBR) são desenvolvidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que é órgão responsável pela normatização técnica no país. Portanto, a ABNT dispõe de um vasto conjunto de normas que fornecem a base necessária para o desenvolvimento tecnológico brasileiro. A listagem destas normas técnicas está disponível no site da própria associação, no endereço eletrônico www.abnt.org.br, porém o acesso à cópia dessa documentação só é permitido mediante ao cadastro e ao pagamento pelos solicitantes.

Este estudo se referenciou na NBR 5413/1992 – Iluminância de Interiores (ABNT, 1992) por esta estabelecer os valores mínimos, médios e máximos para a iluminância dos ambientes. Segundo esta norma, as áreas com iluminação geral usada ininterruptamente ou com tarefas visuais simples, como em corredores, por exemplo, devem ter iluminâncias médias mínimas da ordem de 75 – 100 – 150 lux, conforme os fatores determinantes da iluminação adequada que levam em consideração as características da tarefa e do observador, como a idade, a velocidade e a precisão da tarefa, e a refletância do fundo da tarefa (ABNT, 1992). Este estudo, portanto, considera a iluminação indireta proporcionada pelas lâmpadas de descarga de baixa pressão, fora de luminárias, posicionadas em sancas, nichos ou rasgos do detalhamento arquitetônico, em grandes áreas de passagem e/ou corredores – uma aplicação bastante utilizada em edifícios comerciais, átrios e corredores de hotéis, museus, aeroportos e shopping centers, por exemplo.

Estes dados (valores mínimos, médios e máximos para a iluminância) ajudam tanto no cálculo luminotécnico quanto na demarcação de estratégias de iluminação e mapeamento setorizado de iluminâncias.

Dada a importância da aplicação da norma NBR-5413/1992 para definição da iluminância média pretendida, deve-se considerar também que, com o tempo de uso, se reduz o fluxo luminoso da lâmpada devido tanto ao desgaste, quanto ao acúmulo de poeira nas lâmpadas, resultando em uma diminuição da iluminância. Por isso, quando do cálculo do fluxo luminoso necessário estabelecido pela norma, estabelece-se um *Fator de Depreciação*, evitando que este desgaste faça com que o nível de iluminância atinja valores abaixo do mínimo recomendado. Na prática, para amenizar o efeito desses fatores, admite-se a prática de manutenção periódica, como a limpeza das lâmpadas, por exemplo. A comprovada necessidade desta manutenção se daria independente do tipo de lâmpada utilizada (fluorescente ou catodo frio) – mantendo a condição de igualdade entre as fontes de iluminação artificial comparadas.

A tabela 2-2, a seguir, apresenta os fatores de depreciação ao longo do tempo de uso das lâmpadas, sugeridos pelo fabricante Philips.

Ambiente	Período de Manutenção		
	2.500 h	5.000 h	7.500 h
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Tabela 2-2. Tabela do Fator de Depreciação ao longo do tempo de uso das lâmpadas.
Fonte: PHILIPS (2005).

Há diversas leis que tratam do tema iluminação como um todo, dentre as quais se têm as normas regulamentadoras brasileiras e os códigos de obra de cada cidade. Ambas deveriam trazer cláusulas específicas sobre as providências que devem ser tomadas quando da estimativa e execução de um projeto que envolva a iluminação das edificações.

2.5. A LUZ ARTIFICIAL

2.5.1. Breve histórico da iluminação artificial – as primeiras lâmpadas elétricas

As primeiras lâmpadas de filamento de carbono, de uso prático, datam de 1879. Mas no período entre 1902 e 1913, vários outros tipos de lâmpadas com filamento metálico surgiram no mercado, e a partir de 1933 as lâmpadas de filamento de tungstênio foram desenvolvidas, da forma como apresentadas ainda hoje. Desde então, nenhuma melhoria significativa foi incluída na tecnologia padrão das lâmpadas incandescentes (BAKER et al, 1993).

Dos vários tipos de lâmpadas elétricas disponíveis, somente dois grupos principais encontraram uso universal para uso interno nas edificações:

- a) As lâmpadas incandescentes
- b) As lâmpadas de descarga fluorescentes de baixa pressão.

Em ambos os casos, lâmpadas incandescentes e fluorescentes podem ser subdivididas em seus grupos, dependendo do uso e da aplicação (BAKER et al, 1993).

Um terceiro grupo, as lâmpadas de descarga de alta pressão, devido a sua capacidade de produzir luz extremamente brilhante, tem aplicação bastante específica, utilizadas

principalmente em vitrines e interiores de grandes lojas, em fábricas, e sistemas de iluminação externos.

A partir dos anos 2000, o uso do LED (diodo emissor de luz) tem se intensificado para as mais diversas aplicações, promovido pelo maior tempo de vida útil, com baixo consumo de energia elétrica. Por se tratar, ainda, de uma nova fonte de luz recente e utilizada quase que de maneira indiscriminada, pouco se sabe sobre seus efeitos e consequências para a saúde, ao longo do tempo.

2.5.2. Lâmpadas de descarga de baixa pressão

O conceito científico por detrás das lâmpadas de descarga foi primeiramente identificado em 1675, quando o astrônomo francês Jean Picard³ observou um fraco brilho num barômetro de mercúrio, utilizado para medir a pressão atmosférica. Quando o tubo era agitado ocorria o chamado *brilho de luz barométrica*, mas a causa desta emissão luminosa – a eletricidade estática – ainda não era entendida nesta época (IAEL, 2006).

Assim, o invento do tubo de descarga elétrica se confunde com o início da “indústria da eletricidade” (CHENEY, 2001). Em 1884, o engenheiro, físico e inventor sérvio, posteriormente naturalizado cidadão norte-americano, Nikola Tesla⁴ (1856-1943) inicia seus trabalhos com Thomas Edison⁵ (1847-1931). George Westinghouse⁶ (1846-1914) interessou-se pelos avanços obtidos por Tesla na melhoria da eficiência dos dínamos da *Companhia Continental Edison*, em Paris e, em 1886, dá início à *Westinghouse Electric & Manufacturing*

³ Jean-Felix Picard (1620-1682), padre e astrônomo francês, foi o primeiro a medir com precisão o comprimento de um grau de meridiano (linha das longitudes) para cálculo do tamanho da Terra.

⁴ Nikola Tesla (1856-1943). Entre as suas 700 invenções se inclui o desenvolvimento básico do motor eletromagnético, a turbina, a transmissão sem fio e o controle remoto. Sua descoberta do campo magnético rotatório no final dos anos 1800 é a base da corrente alternada, fonte principal da capacidade elétrica em todo o mundo. Foi Tesla quem projetou a primeira usina elétrica nas Cataratas do Niágara (o seu sistema foi escolhido em detrimento do sistema de corrente direta de Edison, e por isso, foi bastante contestado). Conhecido como visionário futurista, suas anotações são ainda hoje estudadas pelos cientistas e engenheiros, visto que inúmeras das suas ideias e princípios ainda estão à frente da tecnologia atual.

⁵ Thomas Alva Edison (1847-1931) inventor e empresário americano, desenvolveu muitos dispositivos que influenciaram a vida de todo o mundo, incluindo o fonógrafo, a câmera de cinema e a lâmpada elétrica.

⁶ George Westinghouse, Jr (1846-1914) engenheiro e empresário americano, que entre muitas outras invenções, criou o freio a ar comprimido para locomotivas e foi um dos pioneiros da indústria da eletricidade. O seu nome é especialmente conhecido devido à marca de acessórios e equipamentos elétricos que ostenta o seu nome.

Company, renomeada posteriormente para *Westinghouse Electric Company*, em 1889. Isto gerou uma enorme rivalidade com Edison, que defendia o uso de corrente contínua, em contraste com a corrente alternada de alta tensão, defendida por Westinghouse e Tesla. Em 1893, a empresa de Westinghouse obteve uma significativa vitória, ao ganhar o contrato para a instalação da rede de fornecimento de energia elétrica para a *World's Columbian Exposition*⁷, em Chicago, nos Estados Unidos. Nesta exposição, uma área foi totalmente dedicada aos avanços da eletricidade. Foi o evento chave, na história, para a demonstração ao público americano da segurança e confiabilidade do uso da corrente alternada idealizada por Westinghouse e Tesla (CHENEY, 2001). A Exposição Universal foi a oportunidade para Tesla demonstrar, em uma palestra, uma série de efeitos elétricos por ele realizado: o uso da alta tensão e alta frequência de corrente alternada para acender, sem a necessidade de fios ou cabos elétricos, o que se supõe ser a primeira lâmpada de descarga contendo gás sob pressão (CHENEY, 2001).

Comentário de um observador da época:

Dentro da sala foram suspensas duas placas duras de borracha e cobertas com finas folhas metálicas. Tinham cerca de quinze metros de distância, e serviam como terminais dos fios que conduziam aos transformadores. Quando a corrente foi ligada, as lâmpadas ou tubos, que não tinham fios conectados entre eles, e estavam sobre a mesa - posicionada entre as placas suspensas - ou ainda nas mãos, em quase qualquer parte da sala, se iluminaram!

Estes foram os mesmos experimentos e mesmos aparelhos mostrados por Tesla, em Londres, cerca de dois anos antes, "onde produziram muita admiração e espanto". (BARRET, 2007, p. 169).

Em Paris, França, em 1902, o engenheiro, químico e inventor francês Georges Claude (1870-1960), inspirado nos experimentos do contemporâneo engenheiro e inventor norte-americano Daniel McFarlan Moore (1869-1933) e do físico e inventor alemão Heinrich Geissler (1814-1879), produziu a primeira descarga elétrica em tubo selado contendo gás neônio (Ne) com a intenção de criar uma lâmpada (IAEL, 2006).

⁷ Conhecida também como Exposição Mundial, foi realizada em 1893 para celebrar os 400 anos da chegada de Cristóvão Colombo ao Novo Mundo, 1492.

Georges Claude obteve sua descoberta, por acaso, enquanto pesquisava maneiras mais econômicas e de alta qualidade para a produção de oxigênio puro, visando atender à demanda dos hospitais e das oficinas de soldagem. Claude buscava uma maneira de utilizar a grande quantidade de gases remanescentes como o neônio e o argônio. O método empregado utilizou um tubo semelhante ao utilizado pelas experiências de Moore, preenchido com gases e então, bombardeá-lo (submetê-lo) à eletricidade. Este processo, ao invés de produzir oxigênio puro, produziu luz intensa nas cores vermelha (neônio) e azul (argônio) (IAEL, 2006).

A partir deste experimento, apresentado publicamente em dezembro de 1910 no *Grand Palais*⁸, em Paris, os tubos de descarga passaram então a ser popularmente denominados como “tubos de neon”. Em 1915, Claude patenteou seu experimento como sendo um *tubo de iluminação de neon* (IAEL, 2006).

Em 1923, Georges Claude, através de sua empresa francesa *Claude Neon*, introduziram os letreiros luminosos de gás néon para os Estados Unidos, tendo a concessionária de carros *Packard*, em Los Angeles, como seu primeiro cliente. Devido ao seu impacto visual, rapidamente, os letreiros iluminados se tornaram populares para o uso em publicidade exterior. Visível mesmo durante o dia, as pessoas admiravam os primeiros letreiros de néon, apelidando-os de "fogo líquido", devido à intensidade da luminosidade vermelha proveniente das lâmpadas acesas (IAEL, 2006).

Basicamente, em sua composição, a lâmpada de descarga é formada por um invólucro translúcido, também chamado de tubo de descarga, e por dois eletrodos posicionados em suas extremidades, que podem ser hastes metálicas ou filamentos, que assim que aquecidos serão responsáveis pela emissão dos elétrons no interior deste tubo que deve conter, a certa pressão, uma mistura de gás(es) inertes com vapor(es) metálicos. Em seu funcionamento, aplicada uma determinada diferença de potencial externa nos eletrodos, os elétrons provenientes do eletrodo negativo (catodo) são atraídos e acelerados para a outra extremidade, e o eletrodo positivo (anodo), excitando e colidindo com os átomos do(s) vapor(es) metálico(s) durante este percurso (IAEL, 2006).

⁸ O Grand Palais de Beaux-Arts, também chamado de Grand Palais des Champs-Élysées, e popularmente conhecido como Grand Palais, é um edifício histórico localizado em Paris, França, com salas de exposição e um complexo de museus. Sua construção teve início em 1897 como parte dos preparativos para a Exposição Universal de 1900.

Assim, com a aplicação da diferença de potencial entre os eletrodos do tubo de descarga, selado e preenchido com gás(es) nobre(s), as descargas elétricas que se originam, devido à sua difícil e complexa modelagem, podem ser classificadas de diferentes maneiras (descarga de Townsend, luminescente etc.). Nas lâmpadas comercialmente utilizadas o tipo de descarga que ocorre é sempre o mesmo: o plasma. Matéria eletricamente neutra, mas constituída exclusivamente por partículas portadoras de carga elétrica, as propriedades do plasma são definidas pela corrente elétrica aplicada e pela pressão e composição da mistura de gás(es) com vapor(es) metálico(s) para a formação dos íons necessários para a emissão da radiação (IAEL, 2006).

Sem a quebra da estabilidade do átomo, as chamadas colisões elásticas provocam o aumento da temperatura enquanto as colisões inelásticas provocam a sua ionização. Neste processo, quando ocorre o decaimento do átomo para seu estado de menor energia ocorre a emissão da radiação que, dependendo da sua distribuição espectral, poderá ser utilizada como fonte de luz visível para o ser humano – com comprimentos de onda entre 380 e 760nm – ou então, esta radiação será absorvida pelo revestimento interno deste tubo de descarga, um pó denominado “fósforo” e assim, convertida para uma distribuição espectral mais adequada (IAEL, 2006).

As lâmpadas de descarga de baixa pressão, em geral, apresentam pressão interna de cerca de 10^{-3} atmosferas onde inicialmente existe um meio gasoso não condutor, cujos átomos precisam da aplicação da diferença de potencial externa nos eletrodos para iniciar o processo de excitação e/ou ionização e, portanto, para que seja possível a circulação da corrente elétrica. Quando aplicada a fontes de baixa tensão, praticamente não existe a formação de corrente elétrica entre os eletrodos, porém, quando aplicadas a altas tensões elétricas, acima de um determinado limiar que podem ser de algumas centenas de Volts, ocorre a descarga e a corrente elétrica se eleva bruscamente (IAEL, 2006).

2.5.3. Lâmpadas Fluorescentes Tubulares

A lâmpada fluorescente tubular, figura 2-13, é uma lâmpada de descarga de baixa pressão. Aplicada com frequência em projetos de iluminação, foi desenvolvida no final da década de 1930 e segue o princípio descrito anteriormente. O revestimento interno em pó de “fósforo(s)”

é o responsável por absorver e converter as radiações com comprimento de ondas ultravioleta (184nm e 254nm) – não visível para o ser humano – em emissão de luz visível (BAKER, 1993).



Figura 2-13. Lâmpada fluorescente tubular (tipo TLD36W/965, Philips).
Fonte: PHILIPS (2012).

A estrutura interna da lâmpada fluorescente é demonstrada, a seguir, na figura 2-14.

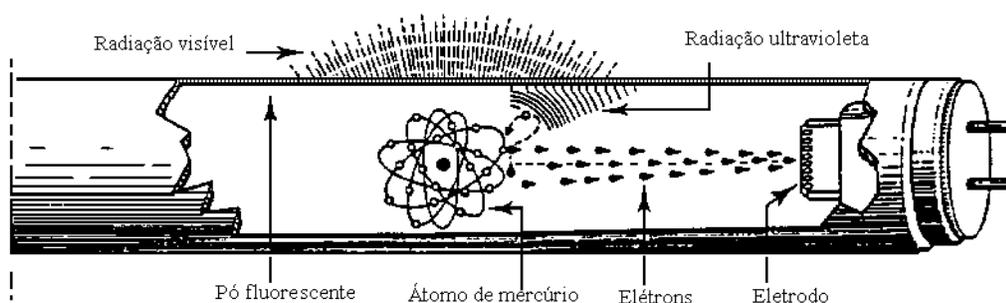


Figura 2-14. Estrutura interna e princípio de funcionamento de uma lâmpada fluorescente tubular.
Fonte: Baker; Fanchiotti; Steemers (1993).

A composição dos fósforos, principalmente, determina as características de cor (aparência de cor e reprodução de cor), a eficácia luminosa e também o preço das lâmpadas fluorescentes (BAKER et al, 1993).

A avaliação dos diferentes tipos e características das lâmpadas fluorescentes disponíveis no mercado no final de década de 1990, demonstrada na tabela a seguir (tabela 2-3), tem referência na classificação utilizada pela Philips e, de certa forma, seguida com desempenho aproximado pela maioria dos fabricantes (BAKER et al, 1993).

<i>Código da Cor</i>	<i>Aparência da Cor^a</i>	<i>Temperatura de Cor (K)</i>	<i>IRC</i>	<i>Fluxo Luminoso (lm)^f</i>	<i>Eficácia Luminosa (lm/W)^g</i>	<i>Índice de Preço</i>
29	Warm-White ^b	2900	51	3000	83	1
82	Warm-White ^b	2700	81	3250	90	2
83	Warm-White ^b	2900	82	3450	96	2
92	Warm-White ^b	2700	94	2250	63	2.3
93	Warm-White ^b	3000	95	2300	64	2.3

<i>Código da Cor</i>	<i>Aparência da Cor^a</i>	<i>Temperatura de Cor (K)</i>	<i>IRC</i>	<i>Fluxo Luminoso (lm)^f</i>	<i>Eficácia Luminosa (lm/W)^g</i>	<i>Índice de Preço</i>
94	White ^c	3800	96	2350	65	2.3
33	Cool-White ^d	4100	63	3000	83	1
25	Cool-White ^d	4100	70	2500	62	1
84	Cool-White ^d	4000	80	3450	96	2
85	Cool-White ^d	5000	80	3300	92	2
95	Cool-White ^d	5000	98	2350	65	2.3
54	Daylight ^e	6200	72	2500	69	1
86	Daylight ^e	6300	77	3250	90	2
57	Daylight ^e	7300	94	1800	45	1.7

^a A Nomenclatura utilizada pelo mercado, de um modo geral, utiliza termos em língua inglesa.

^b Branco Quente, em tradução livre.

^c Branco, em tradução livre.

^d Branco Frio, em tradução livre.

^e Luz do Dia, em tradução livre.

^f Fluxo luminoso dado para as versões de 36W / 40W.

^g Não inclusas as perdas do reator

Tabela 2-3. Características das lâmpadas fluorescentes tubulares.

Fonte: Baker; Fanchiotti; Steemers (1993).

Neste período, havia ainda difundido no mercado um princípio generalizado que qualquer tentativa em obter um alto Índice de Reprodução de Cor (IRC), invariavelmente resultaria em uma baixa eficácia luminosa nas lâmpadas fluorescentes, e de maneira recíproca, que uma alta eficácia luminosa seria obtida apenas para valores de IRC próximos de 80, ainda assim, considerado aceitável para algumas aplicações (BAKER et al, 1993). Porém, o desenvolvimento de trifósforos para o revestimento interno dos tubos, produzidos a partir de compostos denominados fósforos de terras-raras aperfeiçoou as propriedades das cores e a avaliação da eficácia das lâmpadas fluorescentes (WINCHIP, 2008). A tabela 2-4, a seguir, demonstra as atuais características das lâmpadas fluorescentes, segundo o mesmo fabricante.

<i>Cor Código</i>	<i>Temperatura de cor (K)</i>	<i>IRC</i>
27	2650	93
33	4100	65
34	3800	87
37	4100	93
47	5000	93
54	6250	77
57	7250	93
64	4100	66
75	5000	70
82	2700	82
83 ou 830	3000	80
84 ou 840	4000	85
85 ou 850	5000	85
865	6500	85
930	3000	95
940	4000	95
965	5000	95

Tabela 2-4. Código de temperatura de cor das lâmpadas fluorescentes tubulares Philips.
Fonte: PHILIPS (2012)

Já o fluxo luminoso, e de certa forma, também a eficácia luminosa dependem da temperatura ambiente (OSRAM, 2007). Os valores citados na tabela anterior se referem à temperatura do ar do ambiente em 25°C. Com variações desta temperatura ambiente, para mais e para menos, o fluxo luminoso também se altera, conforme apresentado pela figura 2-15.

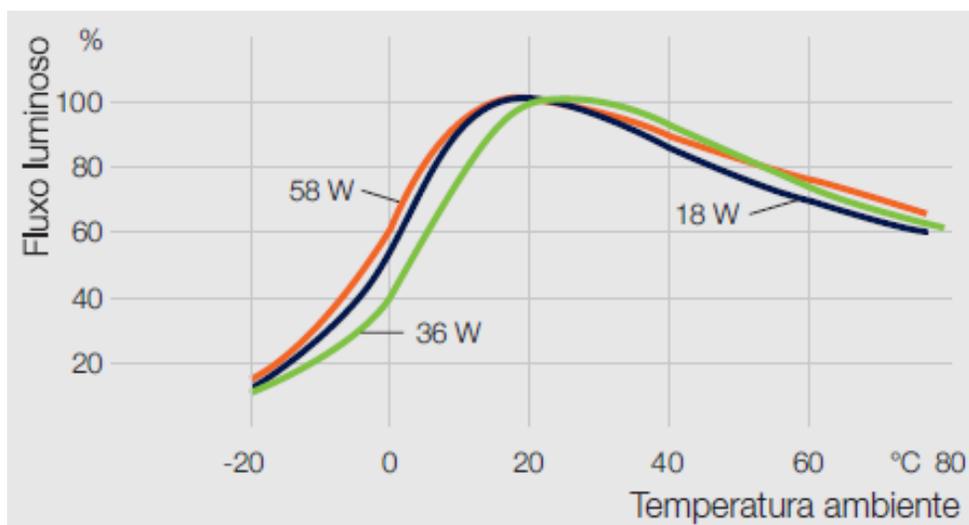


Figura 2-15. Variação do fluxo luminoso das lâmpadas fluorescentes de 18W, 36W e 58W em função da temperatura ambiente.
Fonte: OSRAM (2007)

Historicamente, as lâmpadas fluorescentes apareceram no mercado a partir de 1938, mas sua ampla introdução no mercado europeu teve que esperar até o final da Segunda Guerra Mundial. Embora outros tipos de lâmpada de descarga de baixa pressão já existissem há algum tempo, como as lâmpadas de catodo frio e os tubos de neon, o sucesso comercial da introdução das lâmpadas fluorescentes só se tornou possível após a descoberta de eficientes fósforos com boas características de cor e o desenvolvimento de eletrodos óxido-revestidos, que permitiram a operação da tensão de rede padrão (BAKER; STEEMERS, 2002).

Estes eletrodos utilizados nas fluorescentes tubulares também são denominados como catodo quente. Por serem constituídos por filamentos em tungstênio, aquecem-se facilmente não sendo necessária a aplicação de altas tensões elétricas para seu acionamento (BAKER; STEEMERS, 2002).

Tais filamentos são construtivamente semelhantes aos utilizados nas lâmpadas incandescentes, porém, operam em temperaturas mais baixas (800°C à 1100°C). Apresentam ainda um revestimento de material com baixa função de trabalho (por exemplo, óxido de bário) que emite elétrons por efeito termo-iônico. Durante a partida, ou seja, o acendimento, os filamentos são alimentados por uma fonte de tensão, sendo aquecidos pela circulação da corrente elétrica, até atingir a temperatura desejada, a qual é mantida pelo calor gerado na descarga com a lâmpada já em funcionamento. Chamado de pré-aquecimento dos filamentos, este procedimento influencia diretamente na vida útil da lâmpada, o que nas lâmpadas fluorescentes convencionais mais eficientes é por cerca de 20.000 horas (BAKER; STEEMERS, 2002).

Em comum em todas as lâmpadas de descarga, as fluorescentes tubulares precisam de um dispositivo limitador de corrente, chamado de reator (*ballast*, em língua inglesa). Na prática, pode ser tanto magnético, fazendo uso de uma bobina indutiva (*choke ballast*) ou um circuito eletrônico (*electronic ballast*). Além disso, alguns tipos de lâmpadas fluorescentes também necessitam de um *starter* (arranque, em tradução livre), ou um ignitor para iniciar a descarga elétrica. Basicamente, seria um dispositivo bimetalico automático que envia um pulso de alta tensão elétrica, neste caso gerado pela bobina indutiva do reator através da lâmpada (um ignitor de descarga luminescente), ou ainda um circuito eletrônico (ignitor eletrônico). Esta operação de descarga luminescente é facilmente identificada pois, com frequência, são necessárias várias tentativas para acender a lâmpada (BAKER et al, 1993).

Com tecnologia mais antiga, o funcionamento dos reatores indutivos provoca a alternância de fase entre tensão e corrente elétrica, resultando em baixo fator de potência⁹ e, portanto, menos eficiente para as aplicações atuais. No passado recente, em alguns casos, as grandes edificações não-domésticas que utilizavam este tipo de reatores indutivos poderiam compensar este tipo de efeito, inserindo uma série de capacitores paralelos em parte dos circuitos de iluminação (PHILIPS, 2005).

Os reatores eletrônicos são mais leves e mais sofisticados. São constituídos por capacitores e indutores para alta frequência, resistores, circuitos integrados e outros componentes eletrônicos. Silenciosos, estes circuitos eletrônicos convertem 50Hz - 60Hz da rede elétrica em uma corrente elétrica regulada, e são chamados reatores de alta frequência, pois operam entre 20 kHz e 50 kHz. Essa faixa de operação proporciona maior fluxo luminoso com menor potência de consumo, transformando assim os reatores eletrônicos em produtos mais eficientes do que os reatores eletromagnéticos. Esta solução se justifica por prover maior eficácia luminosa e maior tempo de vida útil à lâmpada (PHILIPS, 2005).

Para facilitar o processo, os eletrodos das lâmpadas fluorescentes podem ser pré-aquecidos por alguns segundos antes do acendimento e, durante este intervalo de tempo, esta corrente de pré-aquecimento se alterna entre ligada e desligada pelo ignitor. Assim que a lâmpada se acende, a descarga conduz o aquecimento dos eletrodos. Mais comum em aplicações de baixo consumo, é conhecido com sistema de pré-aquecimento.

O processo de acendimento instantâneo funciona sem a necessidade do ignitor, mas necessita de uma alta tensão elétrica de circuito aberto que, como consequência, reduz drasticamente o ciclo de vida da lâmpada fluorescente (WINCHIP, 2008).

O acendimento também pode ser facilitado em algumas lâmpadas que utilizam alguma forma de condutor externo ao longo do trajeto da descarga, por exemplo, um revestimento condutivo ou um fio condutor na parede do tubo. Estas lâmpadas são designadas comercialmente como lâmpadas de rápido acendimento. Como não há dispositivo para desligar a corrente de pré-aquecimento após o acendimento da lâmpada (o ignitor de descarga luminescente), a corrente é mantida durante a operação da lâmpada, mas a um nível bastante

⁹ O fator de potência indica o grau de defasagem entre a tensão e a corrente elétrica proporcionada pelo conjunto de iluminação (lâmpada+reator) no circuito elétrico. Esse valor é fornecido pelo fabricante do reator e deve constar em catálogos e na etiqueta do produto, pois revela com qual eficiência o conjunto (lâmpada+reator) está utilizando a energia elétrica.

baixo. A vantagem, nestes casos, onde as lâmpadas têm os eletrodos continuamente aquecidos eletricamente, é tornar o sistema o mais adequado para instalações com controle de automação, como por exemplo, dimerização. Podem-se iluminar lâmpadas com maiores potências e garantir maior ciclo de vida comparado aos dois processos citados anteriormente, de pré-aquecimento e acendimento instantâneo (WINCHIP, 2008).

Independente dos sistemas de partida, o reator deverá sempre fornecer as características necessárias para o funcionamento da lâmpada, não comprometendo sua vida útil.

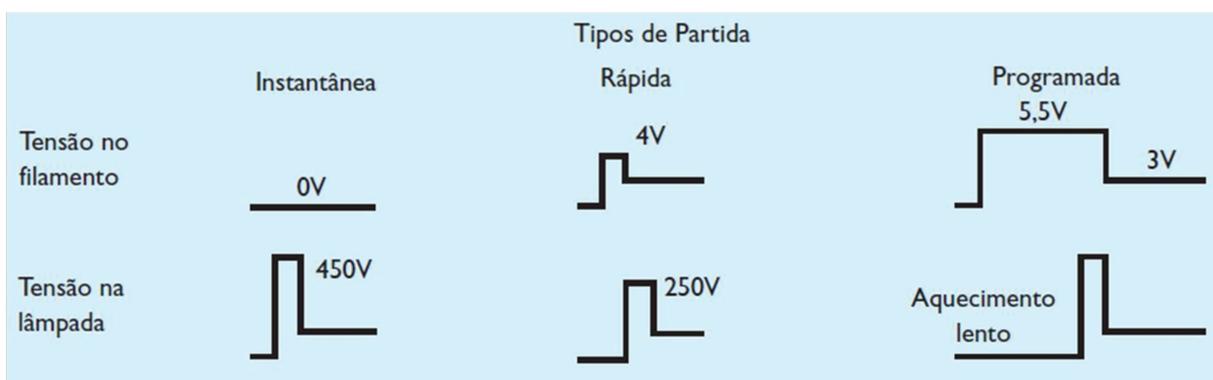


Figura 2-16. Tipos de partida (acendimento) nas lâmpadas fluorescentes.

Fonte: PHILIPS (2005).

Para a instalação dos reatores, principalmente eletrônicos, deve-se considerar o aterramento, que podem ser de proteção e de funcionamento. O aterramento para proteção tem como principal objetivo garantir a segurança da instalação e do usuário, em caso de fuga de corrente provocada por curto-circuito ou qualquer outro defeito no equipamento. No caso do aterramento para funcionamento tem como principal objetivo proporcionar o correto acendimento das lâmpadas. Este último só é necessário em reatores eletromagnéticos tipo partida rápida (PHILIPS, 2005).

É importante também considerar que equipamentos eletrônicos de alta frequência podem gerar distorções harmônicas na rede elétrica. Esta poluição ou interferência é gerada por harmônicas de correntes alternadas e vários equipamentos podem contribuir para isso, como por exemplo, inversores de frequência, máquinas de soldar, reatores eletrônicos de baixa especificação, entre outros.

Os principais efeitos observados em instalações e componentes submetidos à presença de harmônicas são: aquecimento excessivo em equipamentos elétricos, disparos de dispositivos de proteção (disjuntores residuais), ressonância (queima de banco de capacitores), redução no rendimento de motores elétricos, queda de tensão e redução do fator de potência da instalação, tensão elevada entre o neutro e terra, entre outros (PHILIPS, 2005).

Com o surgimento das harmônicas, há a necessidade de dimensionar condutores e dispositivos de proteção, levando-se em conta os componentes harmônicos dos diversos circuitos em uma instalação elétrica. As normas técnicas internacionais exigem que os reatores eletrônicos com filtro possuam distorção harmônica total $< 10\%$ (PHILIPS, 2005).

As perdas existentes nos reatores eletromagnéticos ocorrem devido aos efeitos Joule, Histerese e Foucalt que devem ser consideradas no cálculo de carga (10 à 15%). Essas perdas são fornecidas pelo fabricante e devem ser somadas à potência consumida pelas lâmpadas para calcular o consumo em Watts do conjunto. No caso de reatores eletrônicos, o valor informado pelo fabricante está relacionado ao máximo consumo que o conjunto (lâmpadas + reator) pode gerar, sendo incorreta a somatória da potência das lâmpadas com a do reator (PHILIPS, 2005).

Os fabricantes também indicam que a vida útil dos componentes que constituem os reatores eletrônicos está diretamente relacionada à condição de tensão e frequência nominais a que são submetidos pelo sistema elétrico de operação, em ambientes com temperaturas máximas de 40°C. Mantidas estas condições, a expectativa de funcionamento destes equipamentos é de pelo menos 10 anos em serviço (PHILIPS, 2005).

Tais avanços da tecnologia – que propiciaram as melhorias nos reatores – também tem sua caracterização no desenvolvimento das lâmpadas.

As lâmpadas fluorescentes são comercializadas em suas diversidades de tamanhos, formatos e potências, sendo as mais utilizadas atualmente as tubulares retas do tipo T8 e T5. Essas nomenclaturas derivam dos principais fabricantes do mercado, onde, invariavelmente T significa Tubular e os números 8 ou 5 expressam o diâmetro do tubo em oitavos de polegada.

Há algum tempo, por vários anos, as lâmpadas fluorescentes T12 ainda eram especificadas pelos arquitetos e profissionais da iluminação. Mas, com o desenvolvimento das lâmpadas T8 e T5, as T12 foram superadas. Devido ao consumo de energia, aperfeiçoou-se a eficiência, aprimorando a cor em uma lâmpada de menor tamanho (diâmetro), comparativamente, aumentando a eficácia luminosa (Lm/W) em 25%. Já as lâmpadas T5 são levemente mais

eficientes que as T8 e podem apresentar problemas na substituição (*retrofit*) devido às suas diferenças de tamanho e conexões (mini-bipin) e, em certos casos, podem ser instaladas apenas em luminárias específicas para seu uso (WINCHIP, 2008). Na prática, geralmente, as dimensões das luminárias são padronizadas, e são os fatores mais críticos em relação às dimensões da lâmpada (BAKER et al, 1993).

O tempo de vida útil de uma lâmpada fluorescente é, normalmente, determinado pelas condições de seus eletrodos. Se durante o tempo de sua operação houver perda parcial, ou total do material responsável pela emissão, a lâmpada não acenderá ou, eventualmente, iniciará o processo de tremulação, luz vacilante, cintilação (*flicker*¹⁰, da língua inglesa) (WINCHIP, 2008). Mas, o tempo de vida útil das lâmpadas fluorescentes também é influenciado por fatores externos como a alternância de frequência do sistema elétrico de alimentação, pelo tipo de reator utilizado e pelo tipo de ignitor de descarga luminescente presente no conjunto. Mas, independentemente do sistema adotado, ao final do tempo de vida útil, a emissão do fluxo luminoso é reduzida consideravelmente (WINCHIP, 2008).

2.5.4. Lâmpadas de Catodo Frio

Apesar de tecnicamente conhecidas, as lâmpadas de descarga de baixa pressão de catodo frio são pouco estudadas, sendo, portanto, escassa a literatura científica sobre seu desempenho quando comparado com outras fontes de iluminação. A imagem a seguir, figura 2-17, ilustra a lâmpada de catodo frio.

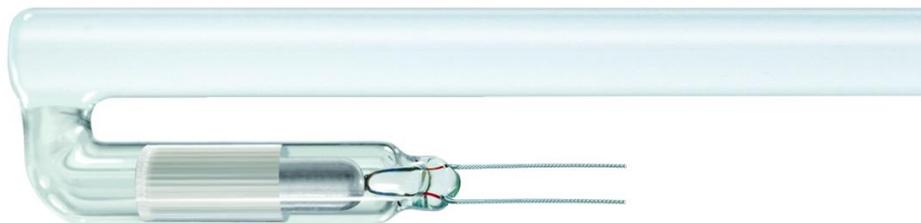


Figura 2-17. Lâmpada de catodo frio (tipo #66-6500K-Triphosphor).

Fonte: TECNOLUX (2010)

¹⁰ A cintilação ou efeito *flicker* pode ser notada pela sensação visual de que a luminosidade está variando no tempo. Em lâmpadas fluorescentes, o fósforo leva um pequeno tempo para perder luminosidade. Reatores eletromagnéticos, que operam em frequência de linha (60Hz), regeneram o arco elétrico da lâmpada entre 100 e 120 vezes por segundo, o que é tempo suficiente para o olho humano perceber a variação de luminosidade do fósforo. Reatores eletrônicos, que operam em alta frequência (20kHz à 50 kHz), regeneram o arco elétrico mais de 40.000 vezes por segundo, tempo curto demais para percebermos essa variação.

As lâmpadas de catodo frio seguem os mesmos princípios de funcionamento das lâmpadas de descarga de baixa pressão, conforme citados anteriormente. Porém, em sua estrutura construtiva, diferem-se principalmente das fluorescentes tubulares devido a diferente composição dos seus eletrodos, conforme pode ser visto na figura 2-18. Constituídos por cápsulas metálicas com impurezas menores de 0,1%, parecidas com dedais de ferro, aparentemente indestrutíveis e revestidas internamente por um composto químico emissivo ativo, denominado de “ativação”, utilizam uma superfície maior para a emissão dos elétrons. O formato destas cápsulas também propicia o processo contínuo de autorregeneração da ativação. Quando um elétron é atraído pela outra extremidade – eletrodo positivo (anodo) – ele deixa uma lacuna (degeneração da ativação) que será preenchida por outro elétron, proveniente do eletrodo negativo (catodo), quando houver a alternância do processo da descarga elétrica, regenerando a ativação (IAEL, 2006).

Devido a sua grande massa, os eletrodos operam em temperaturas relativamente baixas, quando comparadas às fluorescentes tubulares. Esta mesma diferenciação quanto à massa dos eletrodos afeta, principalmente, a diferença na expectativa de vida da lâmpada. Produzidos em diferentes tamanhos, os eletrodos podem adequar a necessidade de corrente elétrica a ser aplicada para manutenção do fluxo luminoso desejado (IAEL, 2006).

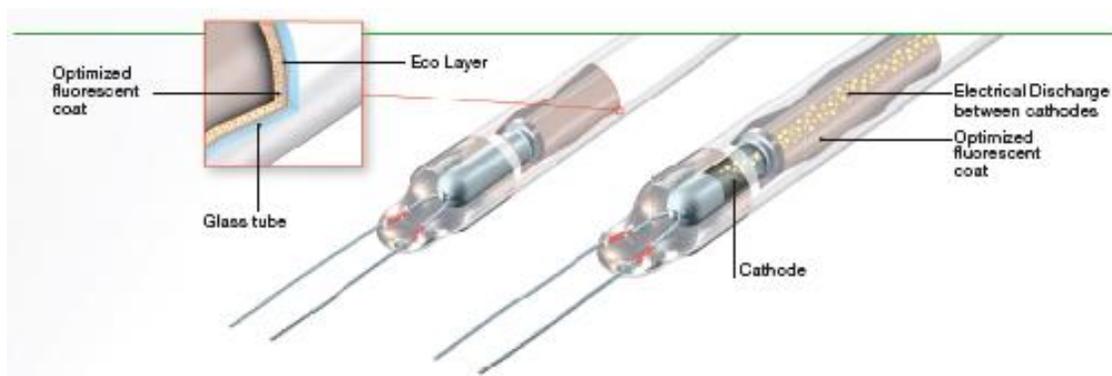


Figura 2-18. Estrutura interna e princípio de funcionamento de uma lâmpada de catodo frio.
Fonte: TECNOLUX (2010)

Nas lâmpadas de catodo frio faz-se necessária a aplicação de tensões elétricas mais elevadas para ativação do sistema. Por não possuir filamentos, a eficiência quanto ao tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio é muito maior, chegando a 100.000 horas, ou seja, cerca de cinco vezes mais quando comparada as lâmpadas fluorescentes convencionais mais eficientes do

mercado. Por não necessitar de pré-aquecimento dos eletrodos para ignição, o catodo frio tem sua capacidade de controle (automação) e dimerização mais facilitada (IAEL, 2006).

Segundo a IESNA/2009 – *Illuminating Engineering Society of North America*, o catodo frio é uma lâmpada de descarga elétrica cujo modo de operação é tal que o brilho da descarga dos vapores metálicos provenientes do revestimento fluorescente interno (fósforo) transforma energia ultravioleta em luz (IESNA, 2009).

O relatório *Nomenclature and Definitions for Lighting Engineering*, considera como lâmpada fluorescente de catodo frio os tubos com diâmetro >12mm comumente aplicada em arquitetura e em projetos de iluminação em geral mas, por meio do jargão popular, assume a denominação de lâmpada de catodo frio, simplesmente. Para as lâmpadas de descarga utilizadas em sinalização e displays luminosos mesmo sendo tecnicamente a mesma denominação, as lâmpadas fluorescentes de catodo frio ou ainda o catodo frio, para diâmetros de tubo <12mm assumem, frequentemente, a definição de lâmpadas de neon, mesmo que o gás de enchimento não seja apenas o neônio (IESNA, 2009).

O catodo frio também pode se referir a um tipo de lâmpada fluorescente fabricada sob encomenda, com características únicas. Esteticamente, o maior atrativo quanto ao uso do catodo frio é sua capacidade de ser dobrado, moldado, fabricado para se adaptar a quase todo tipo de configuração, podendo acompanhar detalhes da arquitetura ou do mobiliário, conforme demonstra a figura 2-19.



Figura 2-19. Diferentes formatos obtidos com a lâmpada de catodo frio.
Fonte: TECNOLUX (2010)

No catodo frio, o comprimento de uma única lâmpada pode variar entre 10 cm até 3 m de comprimento, com diâmetros externos de tubos de 6, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 22 e 25 mm. As paredes dos tubos de vidro também variam com o diâmetro externo mas, invariavelmente, são

mais espessas, cerca de 1,1mm (TECNOLUX, 2010), portanto mais resistentes à quebra do que as fluorescentes tubulares, com cerca de 0,6 mm (PHILIPS, 2005).

Com a possibilidade da fabricação sob medida, o posicionamento dos eletrodos também pode variar conforme a necessidade do projeto, assumindo diferentes posições, de acordo com as apresentadas pela figura 2-20.

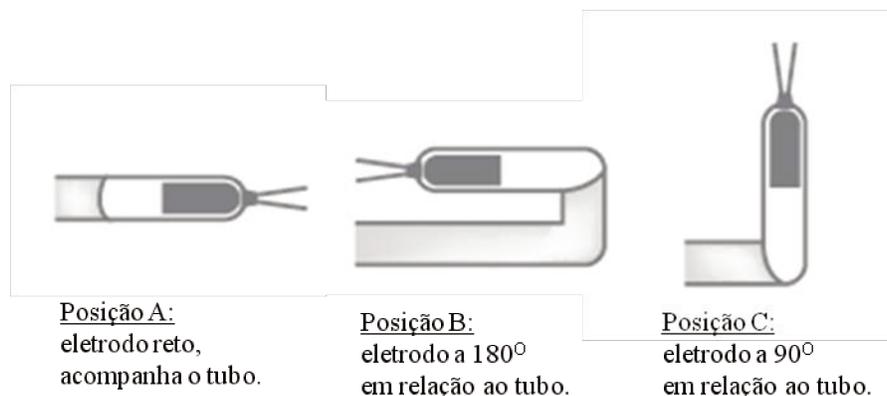


Figura 2-20. Diferentes posições dos eletrodos na lâmpada de cátodo frio.
Fonte: TECNOLUX (2010)

Com a possibilidade de espaçamento mínimo entre as lâmpadas, a iluminação indireta pode ser conseguida sem sombras indesejáveis, distribuindo o fluxo luminoso de maneira harmoniosa e uniforme. Evitam-se, assim, efeitos de manchas escuras (alternância da intensidade de luz) na iluminação indireta, ou ainda, os efeitos de “borrões (manchas) de luz” quando há a sobreposição de lâmpadas para preenchimento do nicho a ser iluminado, figura 2-21.

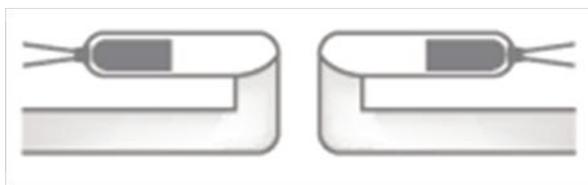


Figura 2-21. Espaçamento entre as lâmpadas de cátodo frio possibilitam ausências de sombras.
Fonte: TECNOLUX (2010)

Inúmeras cores podem ser produzidas nas lâmpadas de cátodo frio a partir do uso apropriado do gás, do vidro, do revestimento interno com pó de fósforo ou do revestimento externo a partir da pigmentação (TECNOLUX, 2010). Tubos de vidro transparentes, por

exemplo, apenas com o(s) gás(es) de preenchimento, apresentam cores diferentes a partir da descarga. A tabela 2-5, apresenta quais as cores possíveis:

Tipo de Gás	Cor(es)
Hélio	Amarelo/ Branco
Neônio	Laranja/ Vermelho
Argônio	Azul/ Roxo
Kriptônio	Prata/ Branco
Xenônio	Prata/ Azul

Tabela 2-5. Cores típicas a partir da descarga de vários gases nobres.
Fonte: IAEL (2006)

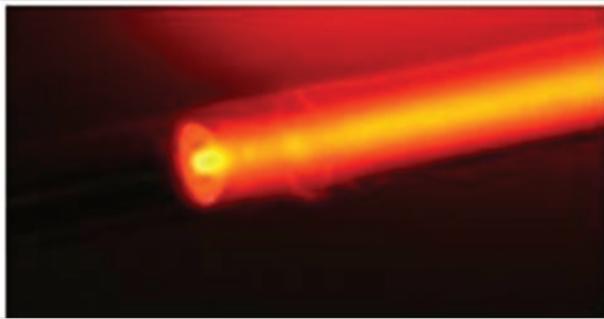
Os gases comumente utilizados no catodo frio são o neônio puro, o argônio puro ou sua mistura com outros gases (TECNOLUX, 2010).

Neônio (Ne) – Mesmo não sendo o mais comum dos gases raros, até recentemente era o mais abundantemente gás utilizada na indústria de iluminação/ sinalização.

Incolor, inodoro, tem peso atômico meramente maior do que o Oxigênio, e cinco vezes maior que o gás Hélio. Porém, seu potencial de ionização é maior do que os demais gases raros, como Argônio, Kriptônio e Xenônio. Também por esse motivo, não se faz necessária a adição de Mercúrio (Hg) nas lâmpadas de descarga com gás de enchimento 100% Ne puro (TECNOLUX, 2010).

Estudos fotométricos revelam que a larga utilização das lâmpadas de descarga com Ne puro para sinalização se deve ao fato do olho humano perceber as cores emitidas mais facilmente e, portanto, naturalmente chamam à atenção dos observadores, por ter o pico no espectro de energia em cerca de 635nm (IAEL, 2006), conforme demonstra a figura 2-22.

Vidro cristal + Ne puro



Distribuição do Espectro de Energia Visível
400 – 700nm

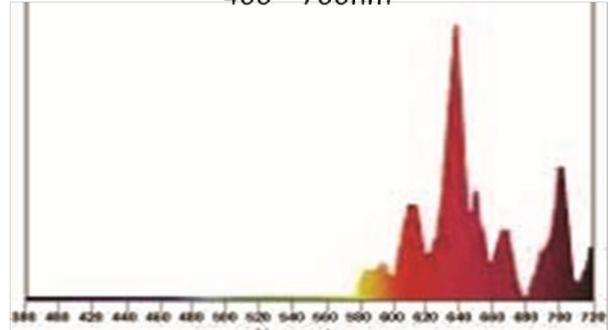


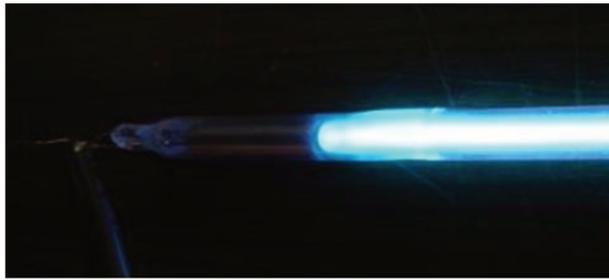
Figura 2-22. Descarga em tubo cristal, sem revestimento, com neônio puro.
Na distribuição do espectro de energia, pico a 635nm
Fonte: TECNOLUX (2010)

Também por este motivo e, claro, por sua intensidade de cintilação, os tubos com neônio puro são utilizados como sinalizadores em neblina, por exemplo, ou em aplicações que possam envolver baixas temperaturas, já que não será necessário vapor metálico para a formação da lâmpada (IAEL, 2006). E, claro, sua utilização em sinalização também se deve ao fato da sua intensidade luminosa trazer destaque à comunicação.

Argônio (Ar) – Seu peso atômico é quase duas vezes maior do que o Neônio. Seu potencial de ionização é extremamente baixo e, portanto, excelente condutor de eletricidade. Sua utilização em lâmpadas de descarga, quase que exclusivamente, serve como condutor do vapor metálico (Hg). Essa ação condutora se faz necessária devido a condensação do mercúrio em baixas temperaturas e, quando isso ocorre, falhas no acendimento da lâmpada ou até mesmo emissão de pouca luz são percebidas. Portanto, em lâmpadas de descarga com gás Argônio, sempre será necessária a adição, mesmo que ínfima, de vapor metálico, como nas lâmpadas fluorescentes tubulares.

A figura 2-23 apresenta a distribuição do espectro de energia visível, a partir da descarga elétrica em lâmpadas de catodo frio preenchida com gás argônio. Diferentemente do que ocorre nas lâmpadas preenchidas com gás neônio, os picos de energia da distribuição espectral se dão mais a esquerda da escala, com maior radiação em 253,7nm, não visível ao olho humano, pois já se encontra dentro da faixa de radiação ultravioleta (IAEL, 2006).

Vidro cristal revestido + Argônio puro + Hg



Distribuição do Espectro de Energia Visível
400 – 700nm

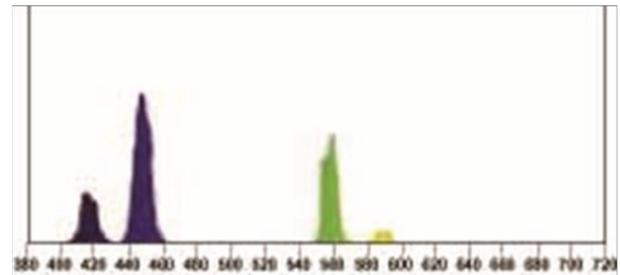


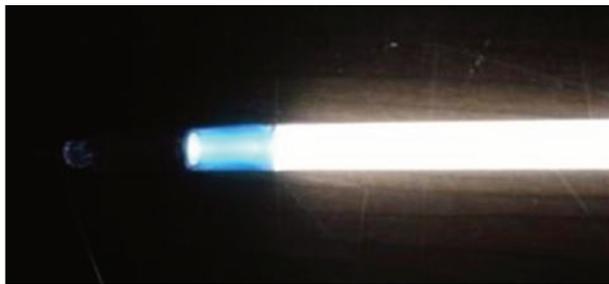
Figura 2-23. Descarga em tubo cristal, sem revestimento, com argônio puro e mercúrio.
Na distribuição do espectro de energia, maior radiação em 253,7nm – não visível
Fonte: TECNOLUX (2010)

Apenas a partir do desenvolvimento da tecnologia *EcoLayer*, apresentado na figura 2-18, é que foi possível reduzir o uso do mercúrio nas lâmpadas de catodo frio. Este procedimento diminuiu em 50% a necessidade de inserção do mercúrio, já que esta camada (*EcoLayer*) evita o acúmulo do metal pesado na parede interna do tubo de vidro, quando da descarga elétrica, durante o funcionamento da lâmpada (TECNOLUX, 2010). Esta mudança também reduziu a perda do fluxo luminoso durante o tempo de funcionamento da lâmpada em cerca de 10% (TECNOLUX, 2010).

Outro avanço – o dos pós de fósforo de revestimento – tornou possível inúmeras oportunidades quanto às cores disponíveis: brancos de 1900K (temperatura de cor bastante quente, cor ambar) a 9000K (temperatura de cor bastante fria, branco azulado) e uma diversidade em relação a eficácia luminosa (Lm/W), principalmente em revestimentos com trifósforos. Até mesmo cores saturadas no vermelho, laranja, amarelo, azul e verde são obtidas com as matérias primas desenvolvidas para a fabricação específica dos tubos de vidro, ou ainda, por meio dos pós de revestimento (TECNOLUX, 2010). Portanto, a partir da utilização do gás argônio, ou uma mistura de gases, há maior possibilidade de cores. Mas isso não exclui a eventual utilização do neônio puro nestes mesmos tubos revestidos, onde, invariavelmente, eles se tornarão alaranjados/ avermelhados.

A figura 2-24 apresenta a distribuição do espectro de energia visível, a partir da lâmpada de catodo frio, preenchida com gás argônio e com revestimento interno do tubo de vidro cristal (transparente) com pós de fósforo de terras raras para conversão da radiação ultravioleta em energia visível.

Vidro cristal revestido com fósforo +
Argônio puro + Hg



Distribuição do Espectro de Energia Visível
400 – 700nm

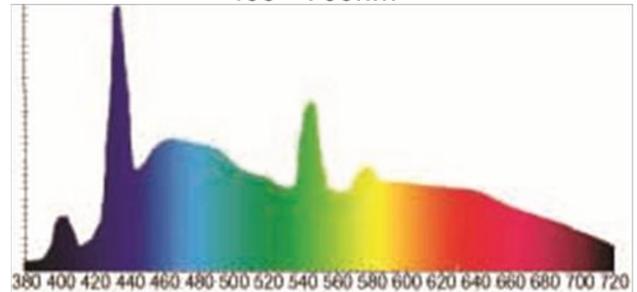


Figura 2-24. Descarga em tubo cristal, revestimento com fósforo de terra-rara, com argônio puro e mercúrio. Na distribuição do espectro de energia, radiação UV convertida pelo revestimento interno em energia visível.
Fonte: TECNOLUX (2010)

Pelo desconhecimento destes fatores técnicos expostos, por vezes, as lâmpadas de catodo frio são – erroneamente – chamadas como “lâmpadas ou tubos de néon”, mesmo que outro gás nobre esteja presente em sua composição; o que ocorre na maioria das vezes.

Cada substância fluorescente tem a sua forma específica de reagir à estimulação ultravioleta, cuja intensidade varia de acordo com a densidade de corrente elétrica (mA) que flui pela lâmpada. Portanto, a mudança do fluxo luminoso se dá em função da evolução da quantidade de corrente elétrica. Com base nesta premissa, embora de maneira aproximada, pode-se extrapolar os valores do fluxo luminoso em tubos com diâmetros diferentes, aplicando-lhes a relação apresentada: Corrente Elétrica (mA) x Fluxo Luminoso (Lm) (IAEL, 2006).

A figura 2-25 (à esquerda) apresenta a distribuição do espectro de energia visível para a lâmpada de catodo frio de 3000K, Tecnolux #7. No gráfico à direita, pode-se ver como comporta o fluxo luminoso (Lumen) desta lâmpada, no eixo vertical das ordenadas, conforme a variação da corrente elétrica (mA), no eixo horizontal das abscissas.

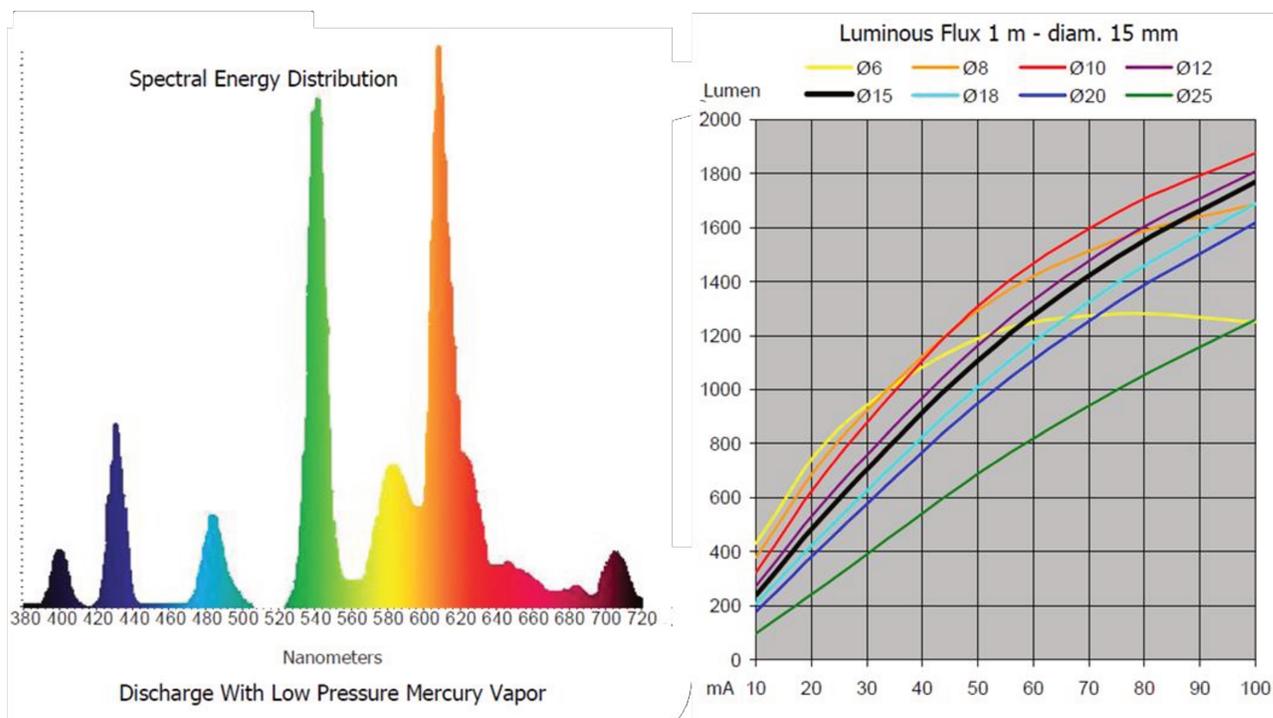


Figura 2-25. Distribuição do espectro de energia e as curvas comparativas para a relação Corrente Elétrica (mA) x Fluxo Luminoso (Lumen) Lâmpada de catodo frio 3000K, Tecnolux #7
Fonte: TECNOLUX (2010)

Portanto, diferentemente do que ocorre nas fluorescentes tubulares, no catodo frio é possível especificar a emissão de fluxos luminosos intermediários, para atendimento dos índices de iluminância da NBR5413/1992, por exemplo, a partir do uso de conversores eletrônicos que forneçam diferentes correntes elétricas para as lâmpadas, alterando o fluxo luminoso sem prejuízo para a vida útil da lâmpada – situação impossível de ocorrer com as fluorescentes tubulares (onde o fluxo luminoso é por vezes excessivo e padronizado, conforme a potência da lâmpada e uso dos reatores eletrônicos).

Deve-se enfatizar que a luminosidade do tubo é influenciada por uma série de fatores como a pressão interna dos gases de preenchimento, a temperatura ambiente, a qualidade de fabricação e a qualidade de instalação (IAEL, 2006). Além disso, as medições dos fatores de iluminação por empresas certificadas são bastante tolerantes pois, têm a função de trazer um comparativo de dados mais amplos sobre os produtos para os especificadores, para que tomem suas próprias decisões e escolham os produtos que melhor se adequam às suas necessidades. Assim, evidentemente, testes realizados nos locais de instalação ou por outros laboratórios podem

resultar em valores de medição ligeiramente diferentes. De qualquer forma, é sempre melhor ter informação, mesmo que aproximada, ao invés da total ausência de dados (TECNOLUX, 2010).

Diferentemente do que ocorre nas fluorescentes tubulares, onde a especificação é dada por peças, nas lâmpadas de catodo frio a especificação deve ser feita em metros lineares de lâmpadas, não havendo tamanho padrão para a produção das mesmas.

Para o acionamento das lâmpadas de catodo frio se faz necessário o uso de transformadores eletromagnéticos (responsáveis por prover a tensão elétrica necessária para iniciar e manter a corrente elétrica no tubo de descarga) ou conversores eletrônicos (que trabalham com alta frequência). Diferentemente das fluorescentes tubulares, onde os reatores são especificados pela potência da lâmpada, no catodo frio há um número maior de possibilidades a serem analisadas: i. as dimensões dos eletrodos estão diretamente relacionadas com a intensidade de corrente elétrica máxima de operação, sendo o tamanho da cápsula de emissão diretamente proporcional ao aumento da corrente máxima de trabalho; ii. A quantidade em metros lineares de lâmpadas, considerados seu diâmetro e gás de preenchimento, está diretamente relacionada com a capacidade máxima de carga a ser suportada pela bobina do secundário do transformador eletromagnético ou do circuito do conversor eletrônico (IAEL, 2006). Para facilitar o processo de especificação do sistema de fornecimento de energia para as lâmpadas de catodo frio, são utilizadas tabelas que inter-relacionam estas variáveis, de maneira bastante simples.

A tabela 2-6, por exemplo, apresenta a carga máxima (em metros lineares) suportada pelos transformadores eletromagnéticos para acendimento do catodo frio. Como demonstrado na parte superior da tabela, há duas variáveis que interferem neste processo: o gás de preenchimento da lâmpada e o diâmetro externo da lâmpada. Inicialmente identifica-se o tipo de gás de preenchimento da lâmpada, já que este dado está diretamente relacionado com a resistência elétrica a ser suportada como carga pelo transformador eletromagnético. Por isso, as tabelas de carga máxima dos transformadores são identificadas pelo tipo de gás de preenchimento (neste caso, tabela 2-6, na parte superior esquerda está escrito “Gas Argon + Hg”). Este enunciado informa ainda que pode-se considerar esta mesma tabela para outro tipo de gás de preenchimento – logo abaixo vê-se “Argon + Hg Gas” que seria a mesma definição do título da tabela, mas também vê-se “mixture Argon & Neon”, que seria a outra possibilidade, uma mistura de gases argônio e neônio com o vapor de mercúrio. Definido o gás de preenchimento, a tabela informa (na linha horizontal, em cor mais clara) qual deve ser a pressão interna do gás escolhido (dada

pela unidade mmHg) para cada tipo de diâmetro externo da lâmpada (em mm), indicado na tabela logo acima da linha horizontal mais clara, em negrito (este valores variam ente 8, 10, 12, 15, 20 e 25mm). A capacidade de carga máxima do transformador eletromagnético para estas especificações está descrita em kV, em negrito, na coluna à esquerda tabela (de 1 até 10kV).

Gas Argon + Hg						
<i>Argon + Hg Gas or mixture Argon & Neon</i>						
external diameter of the tube in mm.						
	8	10	12	15	20	25
Gas pressure in mm Hg	14	12	10	8	6	5
electric metres						
1 kV	0,8	1	1,2	1,8	2	2,5
2 kV	1,6	2	2,4	3,2	3,7	5,2
3 kV	2,5	3	3,4	4,5	5,5	8
4 kV	3,5	4,1	4,6	6	7,6	10,6
5 kV	4,6	5,3	5,8	7,6	9,6	13,3
6 kV	5,7	6,6	7,2	9,3	11,6	15,9
7 kV	6,9	7,9	8,6	11	13,7	18,6
8 kV	8,1	9,3	10,4	12,8	16	21,1
9 kV	9,3	10,7	12,2	14,7	18,3	23,8
10 kV	10,6	12,2	14	16,6	20,8	26,5

Tabela 2-6. Indicativa de carga máxima (em metros lineares) para transformadores eletromagnéticos
Fonte: TECNOLUX (2010)

Identificadas essas variáveis, por exemplo, se a lâmpada é preenchida com argônio + Hg e tem 12 mm de diâmetro, a sua pressão interna para o gás de preenchimento deve ser 10 mmHg. Se percorrido verticalmente, na tabela, poderemos encontrar que, para esse tipo de lâmpada, 1,2 metros lineares é a capacidade máxima para um transformador que forneça 1kV de tensão elétrica, ou ainda para um segundo exemplo, para a mesma lâmpada, 14 metros lineares seriam a capacidade máxima de carga para um transformador com fornecimento de 10kV.

Portanto, a relação entre o diâmetro externo do tubo de vidro e a pressão interna do gás de preenchimento é inversamente proporcional, pois quanto maior o diâmetro da lâmpada, menor é a pressão interna, o que reduz a resistência elétrica da lâmpada. Com menor resistência, a relação entre a capacidade de carga e a tensão elétrica fornecida pelo transformador é diretamente proporcional (quanto maior a tensão elétrica no transformador, maior é a sua capacidade de carga).

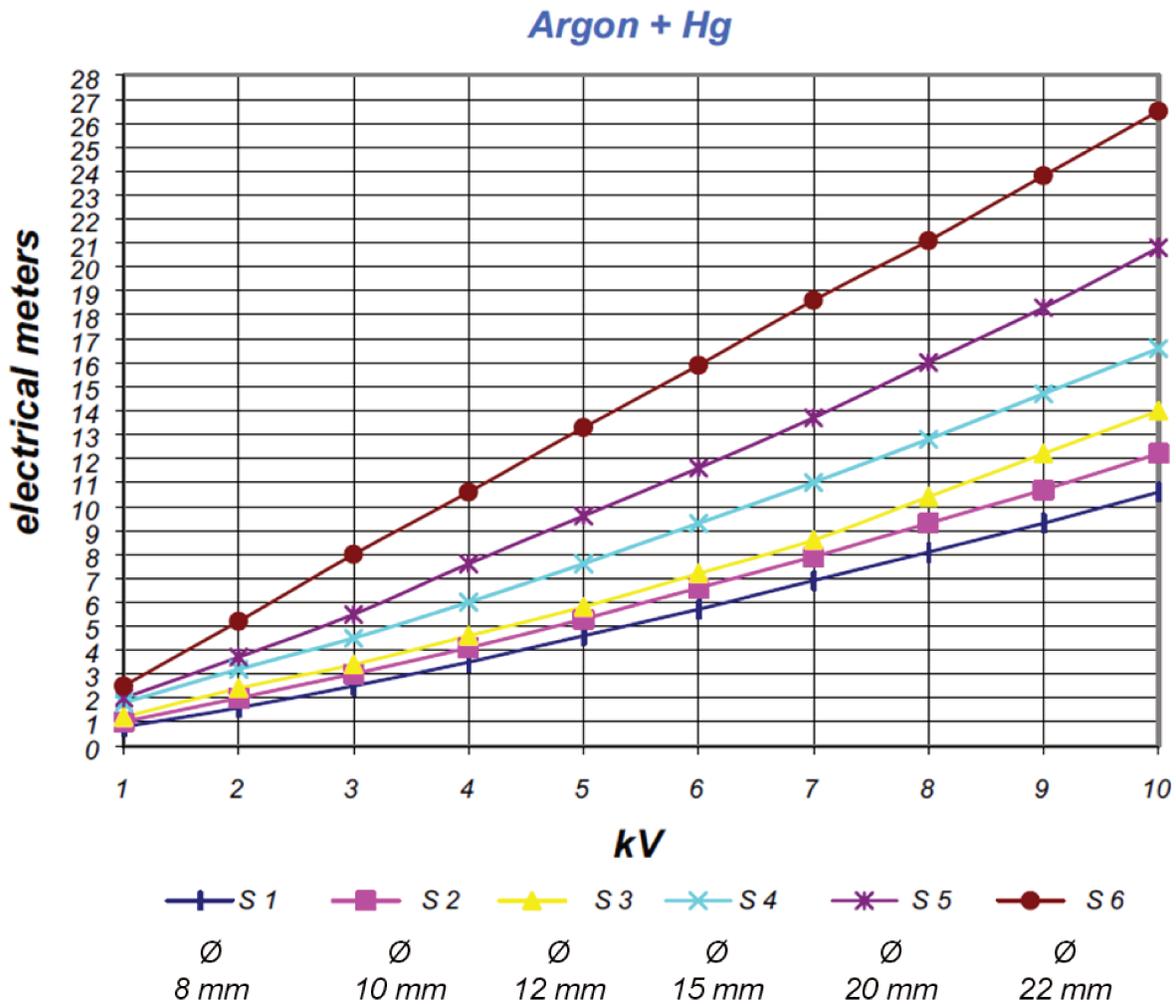


Figura 2-26. Gráfico da variação da carga máxima (em metros lineares) em relação à tensão no secundário dos transformadores eletromagnéticos, considerados os diâmetros externos dos tubos e o tipo de gás de preenchimento.
Fonte: TECNOLUX (2010)

Demonstrado graficamente na figura 2-26, os dados da tabela anterior ficam mais evidentes quanto à relação diretamente proporcional da tensão do secundário do transformador com a carga máxima suportada (em metros lineares), para os diferentes diâmetros das lâmpadas. No eixo das abscissas, conforme varia a tensão no transformador (kV), há a capacidade de carga (“electrical meters”, ou seja, metros lineares de lâmpadas), no eixo das ordenadas, para o gás de preenchimento “Argon+Hg”.

As lâmpadas de catodo frio, diferentemente das fluorescentes tubulares, devem ser ligadas em série. Assim, como dito, o comprimento linear máximo a ser suportado por um transformador ou conversor eletrônico está diretamente relacionado ao tipo de gás de

preenchimento e o diâmetro externo do tubo. Sugere-se ainda, por prudência, adicionar cerca de 30 cm por lâmpada ao comprimento linear total a ser demandado pelo transformador, devido às perdas nas conexões elétricas entre as lâmpadas e pela resistência elétrica das massas dos eletrodos (TECNOLUX, 2010).

Os transformadores para as lâmpadas de catodo frio podem ser de dois tipos: ferro-magnético ou de núcleo e bobina. Trabalham com as tensões típicas da rede elétrica (110 / 220V), a 60Hz e as convertem (transformam) em altas tensões, entre 2.000 e 15.000 V, ainda a 60Hz de frequência. Já as fontes de alimentação eletrônicas, os conversores eletrônicos, convertem a frequência de 60Hz da rede de alimentação elétrica (baixa tensão) em altas tensões, também entre 2.000 e 15.000V, mas com frequências muito maiores (altas frequências entre 20.000 e 100.000 Hz, acima do limite audível para os humanos). A proteção quanto à interferência em outros equipamentos eletrônicos se dá a partir dos circuitos eletrônicos internos aos conversores, responsáveis pela correção do fator de potência destes equipamentos, tornando-os mais eficientes (IAEL, 2006).

Em ambos os modelos, transformadores e conversores são os responsáveis pelo fornecimento da alta tensão elétrica necessária para excitar os gases de preenchimento dos tubos para o início e estabilização da descarga elétrica. A alta tensão elétrica é imprescindível para quebrar a resistência inicial do(s) gás(es) e formar um meio condutivo para o fluxo da corrente elétrica. Em realidade, o tubo de descarga contém um contínuo e controlado plasma ionizado, de eletrodo a eletrodo, por entre o(s) gás(es). Assim que o(s) gás(es) é(são) excitado(s), a resistência reduz e a tensão elétrica entre os eletrodos se torna mais baixa. Os transformadores, por meio de desvios magnéticos, permitem o decréscimo da tensão elétrica e o controle efetivo da corrente elétrica, variando o fluxo luminoso após o acendimento da lâmpada (dimerização). Tanto os transformadores quanto os conversores eletrônicos operam com correntes elétricas bastante baixas, da ordem de miliamperes (IAEL, 2006).

Da mesma forma que nas fluorescentes tubulares, os conversores eletrônicos oferecem muitas vantagens: são menores, mais leves e mais seguros, pois oferecem a proteção de falhas de circuito elétrico aberto (do Inglês, *open-circuit protection*), descarga à terra (*ground-fault protection*), sobretensão e sobretemperatura (TECNOLUX, 2010). Além disso, a tensão elétrica proveniente da alta frequência ioniza de maneira mais eficiente o(s) gás(es) e os circuitos

eletrônicos são facilmente adaptados aos sistemas de controle e automação (dimerização) (IAEL, 2006).

Em termos práticos, consideradas a qualidade de concepção e fabricação da lâmpada de catodo frio e a instalação do sistema, a iluminação deve durar por muitos anos sem falhas ou a necessidade de manutenção, devido as características do sistema. A esses fatores, obviamente, se deve também a vida útil da lâmpada, mas não é incomum em instalações realizadas com qualidade, respeitando as normas vigentes, que o catodo frio dure por mais de vinte anos, sem que as lâmpadas se apaguem, ou sejam necessários reparos (IAEL, 2006).

2.6. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA

2.6.1. A Eficiência Energética

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2013), órgão vinculado ao Governo Federal do Brasil, o conceito de eficiência energética, por definição, consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. É uma atividade técnico-econômica que, portanto, busca aperfeiçoar o uso das fontes de energia disponíveis. A utilização racional da energia, às vezes também chamada simplesmente de eficiência energética, consiste em usar menos energia para fornecer a mesma quantidade de valor energético. E, neste estudo, o uso o termo *eficiência energética* está diretamente relacionado com o consumo eficaz dos recursos energéticos para que seja possível ter a mesma qualidade do sistema de iluminação, consumindo, portanto, menos energia elétrica.

Criado pelo governo federal brasileiro em 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) tem por objetivo promover a racionalização do consumo de energia elétrica, combatendo o desperdício e reduzindo os custos e os investimentos setoriais, aumentando ainda a eficiência energética (Ministério do Meio Ambiente, 2013). Uma das soluções apontadas pelos especialistas para atender este déficit seria conter a demanda por meio de técnicas de conservação e do uso consciente dos recursos energéticos – que substituem tecnologia (máquinas, motores, sistemas de refrigeração e iluminação), incluindo o uso da água, por outras com maior eficiência energética e menor custo financeiro e impacto ambiental (Ministério do Meio Ambiente, 2013).

Nesse sentido, o Selo Procel de Economia de Energia, instituído em 1993, indica ao consumidor, no ato da compra, os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria: geladeiras, freezers, chuveiros elétricos e aparelhos de ar-condicionado. O objetivo é estimular a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a redução de impactos ambientais (Ministério do Meio Ambiente, 2013).

Todos os produtos apresentados neste estudo são classificados por seus fabricantes como de alto desempenho e, portanto, eficientes. A intenção é realmente adequar os sistemas de iluminação comparados aos critérios de consumo consciente da energia elétrica, entregando os mesmos benefícios de conforto visual para a realização das tarefas pelos usuários das edificações, submetidos aos sistemas de iluminação, tanto de fluorescentes como das lâmpadas de catodo frio.

Há exemplos de troca das lâmpadas utilizadas na iluminação pública por modelos mais eficientes. As prefeituras dos municípios de Salvador, Rio de Janeiro, Porto Alegre, João Pessoa e Campo Grande adotam, desde 1999, medidas de conservação de energia para reduzir os custos com o sistema de iluminação pública. A cidade de Piracicaba, no interior paulista, conseguiu economizar R\$ 800 mil, equivalente a 4% de sua receita, com a redução de gastos na iluminação pública e na rede elétrica de escolas e postos de saúde (Ministério do Meio Ambiente, 2013).

Recente estudo de planejamento setorial de longo prazo, o Plano Nacional de Energia (PNE 2030) sinalizou a meta de conservação anual de energia equivalente a 10% do mercado de 2030 (Ministério do Meio Ambiente, 2013). Portanto, os resultados apresentados por este trabalho podem, eventualmente, também servir de alternativa para justificar o uso da tecnologia economizadora no sistema de iluminação, dependendo da aplicação, sejam as fluorescentes tubulares ou o catodo frio.

2.6.2. A Viabilidade Técnico-Econômica de Projetos

Todo projeto, por definição, é único. E justamente por ser único detém outra característica que torna a tomada de decisão do investimento difícil: o fato de desembolsar o orçamento ao longo da duração das fases do projeto, já que todo projeto tem riscos associados.

A viabilidade técnica deve garantir que o projeto atenda aos requisitos técnicos e critérios estabelecidos pelos especificadores para, no caso específico deste estudo, que o sistema

de iluminação mantenha suas características de conforto visual para a realização das atividades pelos usuários da edificação, dentro da norma NBR5413/1992 – Iluminância de Interiores.

Já a viabilidade econômico-financeira deverá avaliar que o projeto atenda à disponibilidade dos requisitos financeiros projetados (investimentos e dispêndios do fluxo de caixa financeiro), garantindo o retorno sobre os investimentos para os investidores (HIRSCHFELD, 1987).

Para auxiliar o investidor na sua tomada de decisão quanto à viabilidade de investir em um projeto determinado montante financeiro (orçamento do projeto), existem as técnicas de análise de investimento. As mais utilizadas são: *Payback* Simples, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), termos esses detalhados a seguir:

Payback Simples – é o tempo decorrido entre o investimento inicial (neste estudo, a implantação dos sistemas de iluminação), e o momento no qual o lucro líquido acumulado (consideradas as diferenças do fluxo de caixa para o dispêndio financeiro da tecnologia economizadora) se iguala ao valor deste investimento, em consequência desta decisão;

Valor Presente Líquido (VPL) – obtido pelo somatório de todas as capitalizações e dispêndios do fluxo de caixa financeiro, calculados como valor presente por meio de uma taxa de juros de mercado, geralmente conservadora e sem riscos, possível de ser obtida. Em geral, utiliza-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) ou também chamada de Taxa de Oportunidade ou Taxa de Desconto, como sendo a taxa paga pelo mercado financeiro para corrigir os investimentos correntes como poupanças e fundos de investimentos etc.

Taxa Interna de Retorno (TIR) – é a taxa de desconto hipotética que, quando aplicada ao fluxo de caixa (consideradas as capitalizações e os dispêndios financeiros), faz com que os valores das despesas – trazidos para valor presente – sejam iguais aos valores dos retornos sobre os investimentos, também trazidos para valor presente.

Um empreendimento será economicamente viável quando a TIR de um investimento for superior a TMA à disposição do investidor, dentro do período calculado. Da mesma maneira, ao se comparar duas possíveis alternativas de investimento, a que oferecer TIR mais elevada irá possibilitar o retorno do capital investido em menor tempo (HIRSCHFELD, 1987).

Segundo HIRSCHFELD, 1987, o cálculo da viabilidade de um projeto pode surgir em três momentos:

a) Na fase inicial do projeto, logo após a elaboração do Termo de Abertura do Projeto, onde o resultado do cálculo da viabilidade servirá como um dos insumos para a aprovação/autorização do início da fase de planejamento do projeto. Neste caso, os dados para o cálculo de viabilidade do projeto serão (em sua maioria) estimados, pois os recursos, o escopo, os riscos e as demais variáveis de um projeto serão definidos e confirmados somente na fase de planejamento. Seria, então, somente uma viabilidade estimada do projeto;

b) Ao final da fase de planejamento do projeto, pois, como dito anteriormente, na fase de planejamento os recursos, o escopo, os riscos e as demais variáveis de um projeto são definidas e confirmadas. Assim, os dados para o cálculo de viabilidade do projeto são determinados e específicos, sendo possível obter uma viabilidade definitiva, ou mais concreta do projeto. Então, o resultado do cálculo da viabilidade servirá como um dos insumos para a aprovação/autorização do início da execução do projeto;

c) Na análise de uma solicitação de mudança no projeto, durante a fase de execução. Durante a execução, pode surgir a necessidade de realizar mudanças no escopo do projeto. E toda mudança, antes de ser autorizada, deve ser analisada (técnica e economicamente). Nessa análise, os impactos da(s) mudança(s) são identificados e, normalmente, novos cenários são elaborados. Para subsidiar a escolha/decisão por um desses cenários, a viabilidade de cada cenário é calculada.

É importante enfatizar que o resultado do cálculo da viabilidade técnico-econômica em qualquer um desses momentos pode ser inviável. Neste caso, o projeto pode ser cancelado antes do início (nos casos “a” e “b”, citados) ou finalizado com insucesso (no caso “c”). Mas o objetivo destes cálculos é auxiliar o investidor na tomada de decisão, confirmando (ou não) a viabilidade do projeto.

2.6.3. Eficiência energética, viabilidade técnica e a qualidade na iluminação na comparação das lâmpadas fluorescentes e catodo frio

Com base nos conceitos de Eficiência Energética, foi possível identificar as diferentes tecnologias de cada uma das fontes de luz comparadas (as fluorescentes tubulares e o catodo frio), que viabilizava tecnicamente a comparação.

O investigador, sem dúvida, ao iniciar qualquer tipo de busca, parte premunido de certas ideias gerais elaboradas, conscientes ou não. É impossível que um cientista, um buscador ou fazedor de verdade inicie seu trabalho despojado de princípios, de ideias gerais básicas. (TRIVIÑOS, 1987, p. 123).

Assim, pode-se perceber que apenas a partir de 1978, as então chamadas lâmpadas fluorescentes econômicas eram comercializadas com um consumo de energia de 6-10% menos do que as lâmpadas anteriores, pois passaram a utilizar tubos de menor diâmetro (na época, representou a substituição das antigas lâmpadas T12 para as ainda comercializadas T8), ao mesmo tempo em que aumentaram a gama de gases de preenchimento para a descarga elétrica. Subsequentemente, esta tecnologia foi aplicada às lâmpadas fluorescentes com pós de revestimento trifósforos (mais eficientes), (YEN et al, 2006).

Segundo YEN et al (2006), os fabricantes das lâmpadas fluorescentes, posteriormente, também fizeram esforços para melhorar os fósforos e também a tecnologia de revestimento dos tubos de vidro, resultando no aumento de 30% no fluxo luminoso. Por exemplo, a lâmpada fluorescente circular de 30W, com 5000K que em 1978 emitia 1670Lm, em 1983 aumentou seu fluxo luminoso para 1950Lm e em 1985 atingiu 2200Lm. Em 1981, as lâmpadas com temperaturas de cor de 6700K e 4200K foram adicionados à programação de melhoria da eficiência energética e também passaram a ser comercializadas no mercado (YEN et al, 2006). Na figura 2-27, o gráfico demonstra a melhoria do fluxo luminoso, com o passar dos anos, desde seu invento, para as lâmpadas fluorescentes tubulares retas de 40W. Como pode ser visto, há o desenvolvimento dos pós de revestimento a partir de halofosfato, mas é apenas a partir da década de 1970 que as lâmpadas fluorescentes apresentam seus maiores avanços quanto à eficácia luminosa e melhoria do índice de reprodução de cor, conforme demonstrado na figura a seguir (as barras sombreadas mostram o aumento do Índice de Reprodução de Cor nas lâmpadas com pós de revestimento com fósforos combinados).

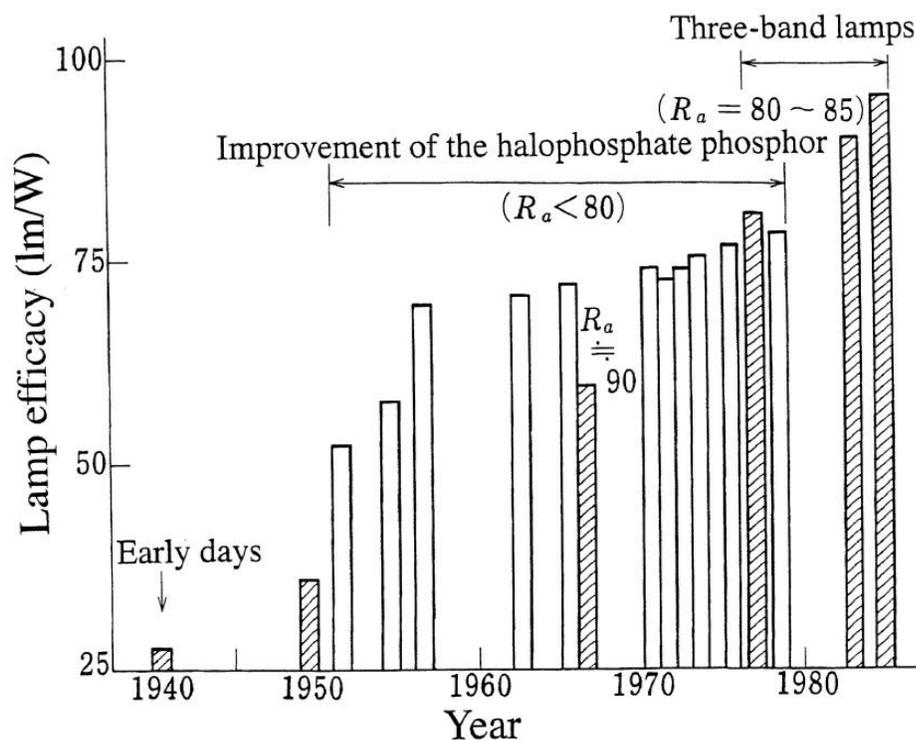


Figura 2-27. Aumento da eficácia luminosa das lâmpadas fluorescentes (40W).
 Fonte: YEN; SHIONOYA; YAMAMOTO (2006)

Mas, além do comparativo técnico, demonstrando a viabilidade econômica, este trabalho propõe o *retrofit* pela tecnologia economizadora. *Retrofit*, em sua definição original, define qualquer tipo de reforma. Neste estudo, o termo define, especificamente, a substituição de sistemas de iluminação através de tecnologias energeticamente eficientes, visando à conservação de energia elétrica sem detrimento da satisfação e conforto do usuário (GHISI, 1997).

Por isso, considerando as características individuais das lâmpadas (fluorescentes e catodo frio), a tabela 2-7 a seguir, apresenta dados comparativos entre as propriedades gerais das duas fontes de iluminação.

Comparativamente, onde se vê a maior diferença é em relação ao número de partidas (aqui considerado como acendimentos) e a duração (em horas) das duas fontes de luz – 20.000 horas nas fluorescentes e 100.000 horas no catodo frio. A figura 2-28 demonstra graficamente esta diferença.

Tipo de Fonte de Luz:	Lâmpadas Fluorescentes	Lâmpadas de Catodo Frio
Eficiência (L/W)	50 / 110	40 / 90
Duração (horas)	20.000	100.000
Temperatura Ambiente °C	+15 / + 80	-40 / + 80 (temperaturas muito baixas reduzem a intensidade de luz temporariamente, até sistema estabilizar)
n° de partidas	Limitado	Ilimitado
Índice de reprodução de Cor (IRC)	50 / 99 Depende do pó de revestimento utilizado	50 / 99 Depende do pó de revestimento utilizado
Consistência da cor	Muito boa	Muito Boa
Opções de Temperatura de Cor	Boa	Muito Boa (de 1.900°K a 9.000°K)
Dimerização	Requer reatores especiais	Sem limitação

Tabela 2-7. Características das fontes de iluminação comparadas: Lâmpadas Fluorescentes e Catodo Frio.
Fonte: TECNOLUX (2010)

Apresentados pelos fabricantes em seus catálogos – e muitas vezes confundidos – os conceitos de vida útil e vida mediana dos equipamentos precisam ser estabelecidos. A vida mediana, geralmente informada em horas, corresponde à vida em que 50% das lâmpadas falharam, considerada uma determinada amostragem. A vida útil é definida como o tempo (em horas) após a depreciação de certa porcentagem de seu fluxo luminoso inicial, por efeito de queima dos pós-fluorescentes ou depreciação. Esta depreciação é definida em função do tipo de lâmpada e pode variar de 10% a 30% nas lâmpadas fluorescentes. Dessa forma, a vida mediana é sempre maior que a vida útil e a comparação entre as duas grandezas para analisar qual seria o melhor produto não pode ser feita de maneira direta (KAWASAKI, 2011).

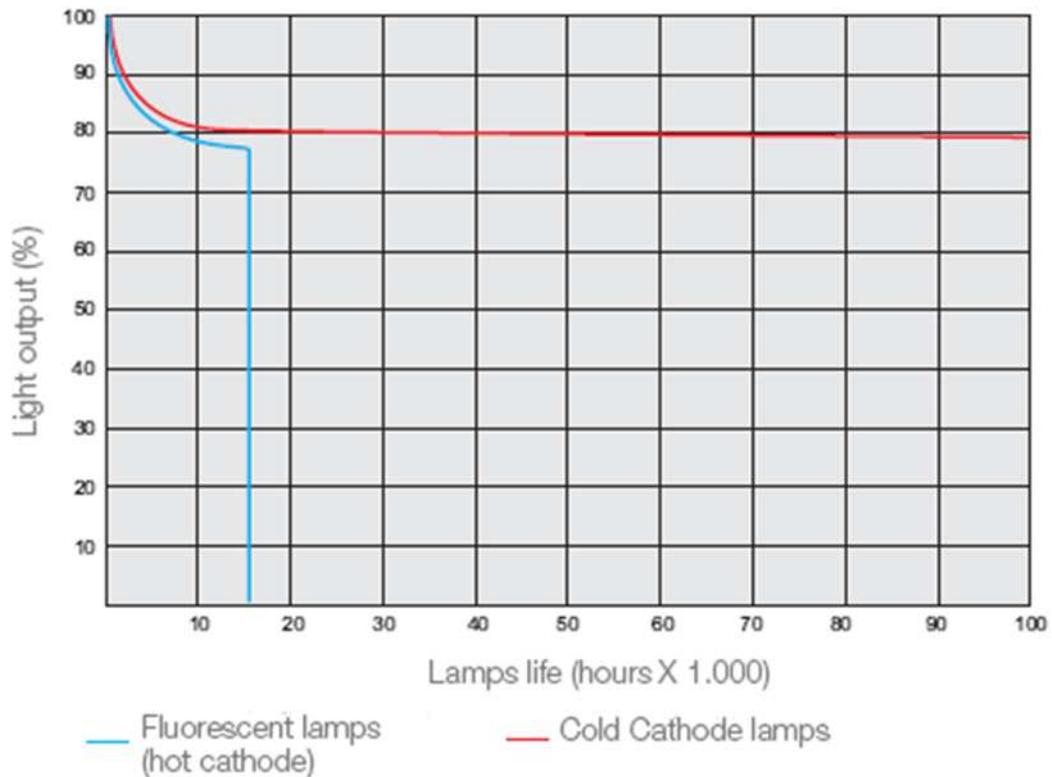


Figura 2-28. Vida útil das fontes de iluminação comparadas:
Lâmpadas Fluorescentes e Catodo Frio.
Fonte: TECNOLUX (2010)

Essa diferença fica realmente visível quando do prejuízo estético da aplicação que (por ventura) pode ocorrer, mesmo quando consideradas a sensibilidade e a excelência no conceito do projeto de iluminação, as possíveis falhas do sistema de iluminação com lâmpadas fluorescentes tubulares – pelas mais diferentes razões – também podem revelar imperfeições. Um projeto de iluminação, além de eficiente sob o ponto de vista energético, deve considerar os demais conceitos da qualidade de iluminação (IESNA, 2008). Muitas vezes, essas falhas do sistema de iluminação com fluorescentes tubulares, ao invés de valorizar os detalhes arquitetônicos, podem evidenciar um desarranjo. Em aplicações recentes, como as demonstradas nas figuras 2-29, 2-30, 2-31 e 2-32, tais interrupções podem ser facilmente observadas:



(a) Shopping Cidade Jardim, São Paulo-SP
Inaugurado em maio/2008
Corredor segundo piso
Fonte: O próprio autor, out. 2012



(b) Shopping JK Iguatemi, São Paulo-SP
Inaugurado em junho/2012
Corredor segundo piso
Fonte: O próprio autor, nov. 2012



(c) Shopping Raposo, São Paulo-SP
Expansão e reforma em 2010
Fachada
Fonte: VENTANA, 2010

Figura 2-29. Iluminação indireta com fluorescente e catodo frio

Exemplos:

(a) e (b) iluminados com lâmpadas fluorescentes de 3000K. As duas aplicações são bastante recentes. Nas duas edificações, ícones do alto padrão, o sistema de iluminação já apresenta falhas, sombreamento e desalinhamento entre lâmpadas.

(c) com catodo frio em diferentes temperaturas de cor no branco, do mais frio (7000K) para o mais quente (2400K). Homogeneidade na distribuição do fluxo luminoso mesmo que aplicado externamente, portanto, sob condição mais crítica.



(a) Shopping JK Iguatemi, São Paulo-SP
 Corredor piso térreo
 Inaugurado em junho/2012
 Fonte: O próprio autor, nov. 2012



(b) Shopping JK Iguatemi, São Paulo-SP
 Corredor primeiro piso
 Inaugurado em junho/2012
 Fonte: O próprio autor, nov. 2012



(c) i-Tower, São Paulo-SP
 Hall interno e recepção
 Fonte: VENTANA, 2010

Figura 2-30. Iluminação com fluorescente e catodo frio

Exemplos:

(a) e (b) iluminado com lâmpadas fluorescentes, o sistema de iluminação apresenta sombreamento entre as placas, principalmente nas extremidades (cantos 90°).

(c) o catodo frio distribui de maneira homogênea o fluxo luminoso entre as placas. Não há “borrões de luz” (hot spots) ou sombreamentos indesejáveis.



(a) Shopping Cidade Jardim
São Paulo-SP
Inaugurado em maio/2008
Corredor piso térreo
Fonte: O próprio autor, out. 2012



(b) Shopping Cidade Jardim
São Paulo-SP
Inaugurado em maio/2008
Corredor segundo piso
Fonte: O próprio autor, out. 2012



(c) Shopping Cidade Jardim
São Paulo-SP
Inaugurado em maio/2008
Corredor piso térreo
Fonte: O próprio autor, out. 2012

Figura 2-31. Falhas na iluminação com fluorescente tubular



(a) Shopping JK Iguatemi, São Paulo-SP
Corredor piso térreo
Inaugurado em junho/2012
Fonte: VENTANA, 2012



(b) Concessionária Nissan
São Paulo-SP
Inaugurado em set/2011
Fonte: VENTANA, 2011

Figura 2-32. Formas e detalhes da arquitetura iluminados com catodo frio

A escolha das fontes de iluminação, para aplicação em projetos como os apresentados anteriormente, dependem dos critérios adotados pelos seus especificadores quando da elaboração do projeto luminotécnico.

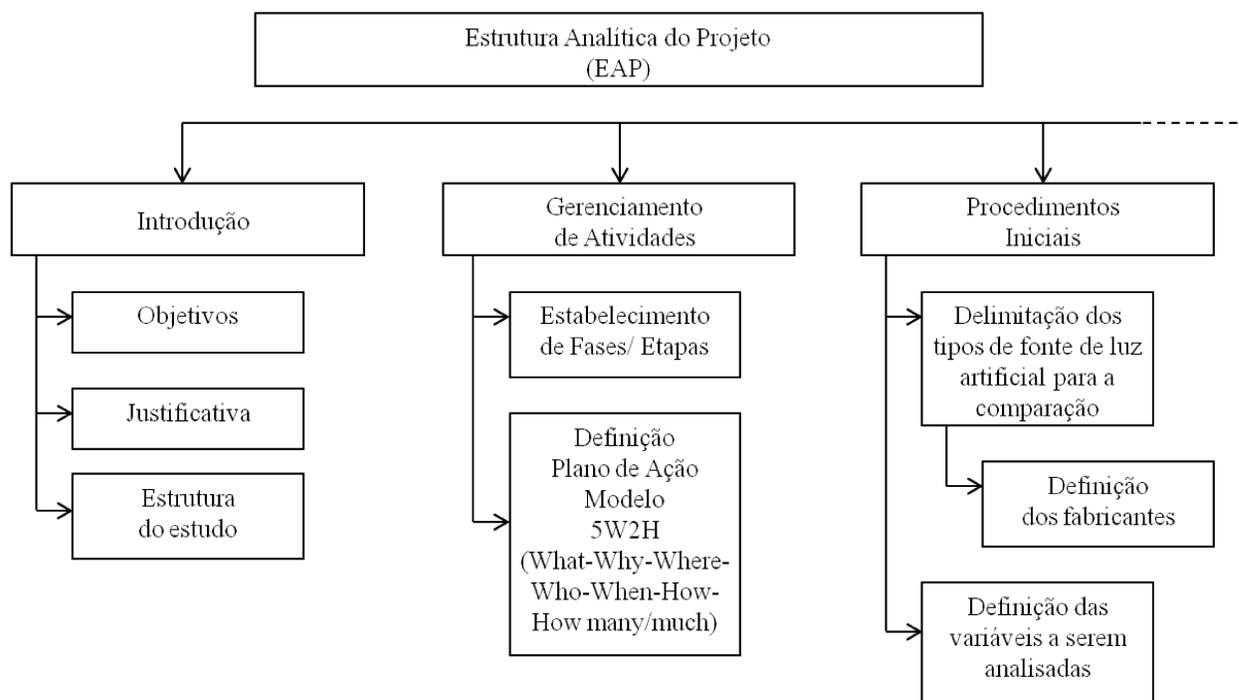
O sucesso prático de uma ideia, independente do seu próprio mérito, depende da atitude dos contemporâneos (dos interesses de um grupo). Se (ela) é oportuna, é rapidamente adotada, mas se não é, ela é arrancada como um broto para fora da terra no chão quente, apenas para (que) seja retardado o seu crescimento na geada (o tempo) do sucesso. (TESLA, 2007, p. 480).¹¹

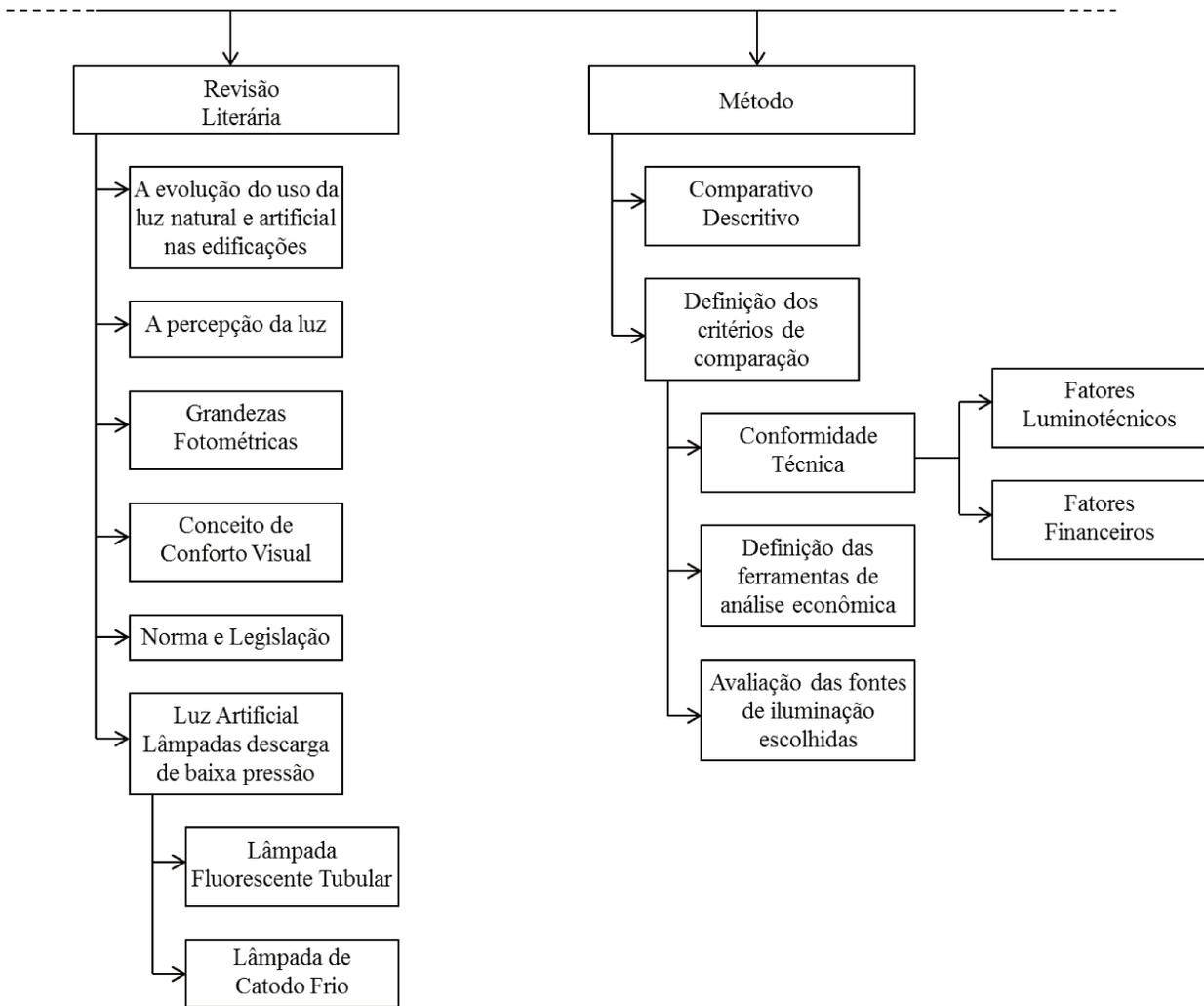
¹¹ Esta frase foi escrita por Nikola Tesla e publicada em 16 de janeiro de 1910. Está presente no artigo *What Science May Achieve This Year*, publicado no jornal de circulação diária da época chamado *Denver Rocky Mountain News*.

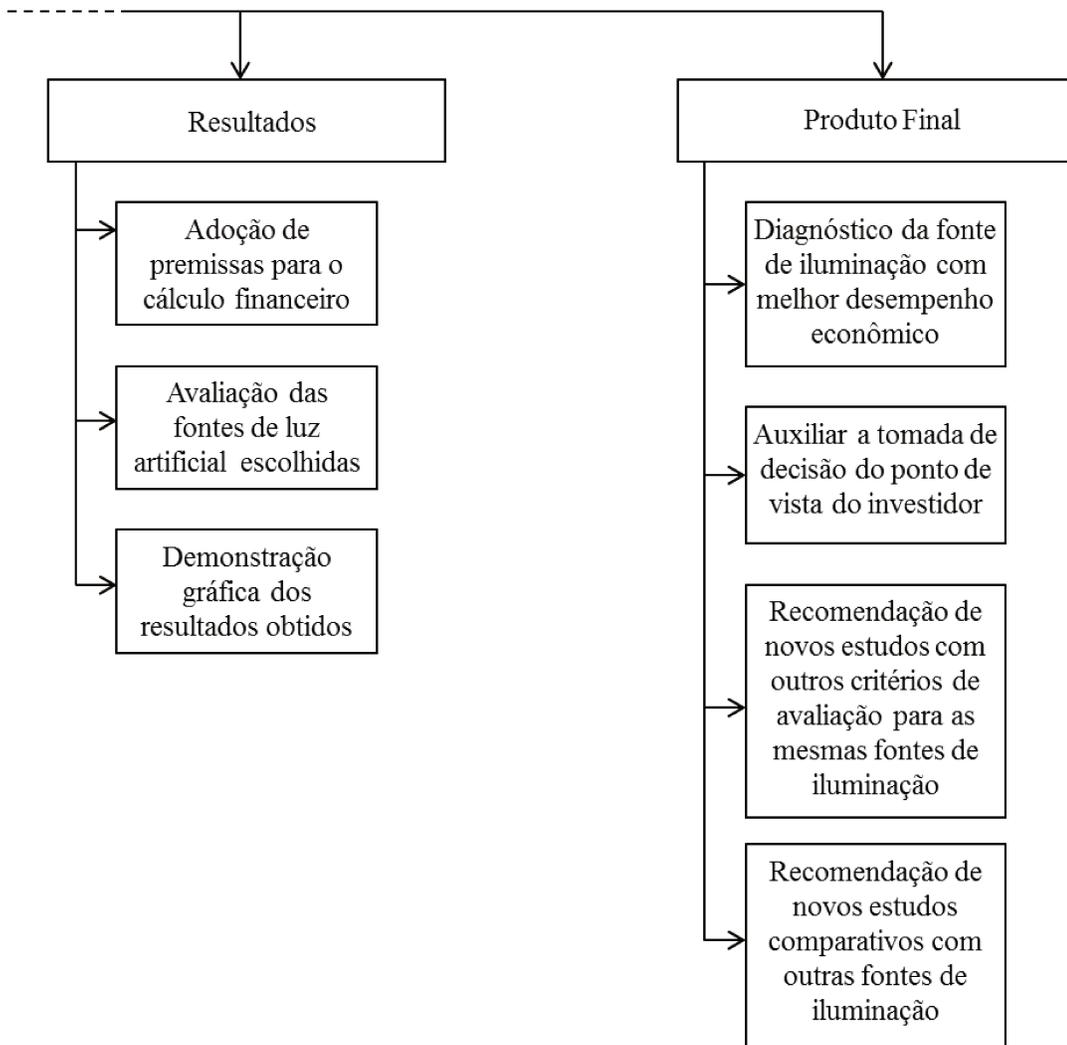
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO (EAP)

Este capítulo explana como a pesquisa foi estruturada, sendo descritas todas as fases demarcadas para a realização deste trabalho. Abaixo, a estrutura analítica do projeto (EAP) elucida estas etapas.







3.2. A ESCOLHA DO MÉTODO

A busca do conhecimento e do avanço científico requer a utilização de métodos, muitas vezes, acompanhados de técnicas e procedimentos para a coleta e análise dos dados relacionados com o contexto ou à necessidade da pesquisa.

Como o objetivo deste estudo é demonstrar o comparativo de dois tipos de lâmpadas de descarga de baixa pressão – as lâmpadas fluorescentes tubulares e as lâmpadas de catodo frio – quanto a sua eficiência e os benefícios da eventual substituição (*retrofit*), e afim de que este conhecimento seja considerado científico, torna-se necessário identificar as operações mentais e técnicas que possibilitam a sua verificação. Ou, em outras palavras, determinar o método que possibilita chegar a esse conhecimento.

A utilização de um método, segundo Gil (2002), tem por objetivo proporcionar ao investigador os meios técnicos para garantir a objetividade e a precisão no estudo. Mais especificamente, visam fornecer a orientação necessária à realização da pesquisa, sobretudo no tocante à obtenção, processamento e validação dos dados pertinentes à problemática que está sendo investigada.

Ainda, segundo Gil (2002), o objeto da pesquisa – a comparação – pode ser dividido em três grupos:

a) Descritivos, quando têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis. São inúmeros os estudos que podem ser classificados sob este título e uma de suas características mais significativas está na utilização de técnicas padronizadas – de coleta de dados, tais como o questionário e a observação sistemática;

b) Explicativo, quando têm como pretensão identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência de fenômenos. Esse é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas. É mais complexa e delicada, já que o risco de cometer erros aumenta consideravelmente;

c) Exploratórios, quando sua finalidade principal é o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, possibilitando a consideração dos mais variados aspectos relativo ao fato estudado.

No caso específico desta pesquisa, foi aplicado o método comparativo descritivo, que identificou as variáveis luminotécnicas das lâmpadas analisadas (fluorescentes tubulares e catodo

frio), para posteriormente inter-relacioná-las com os custos de investimento e operação dos sistemas de iluminação que utilizam tais lâmpadas, apresentando como produto final, a visão de longo prazo para a tomada de decisão do investidor, justificando custos e argumentando os investimentos.

Para isso, este estudo buscou na revisão da literatura o aprofundamento necessário para desenvolver o tema, identificando os fatores-chave: i. Descrever a evolução dos projetos arquitetônicos quanto ao trato da iluminação natural, antes da invenção das lâmpadas elétricas, em suas práticas e projetos para uso interno, desde o período pré-industrial, tipificando edificações e descrevendo os avanços da época, mesmo sem a existência de ferramentas para enumerar quantitativamente os valores cromáticos e fotométricos da luz natural; ii. Descrever o período da Revolução Industrial e as alterações na sociedade civil, principalmente no desempenho das edificações e suas novas necessidades quanto à iluminação; iii. Para entendimento dos fenômenos nos usuários do sistema de iluminação artificial, descreve o funcionamento e a fisiologia do olho humano e suas características, principalmente relacionadas à percepção da luz e de seus componentes; iv. Descrever o conceito de conforto visual, relacionando a qualidade da iluminação com a arquitetura, com as necessidades humanas e com os aspectos econômicos; v. Apresentar as descrições e parâmetros das normas vigentes quanto ao trato da iluminação artificial interna das edificações e vi. Descrever as diferentes características técnicas das lâmpadas de descarga de baixa pressão, em especial as fluorescentes tubulares e o catodo frio, quanto à eficiência de suas aplicações e componentes.

A partir do entendimento destes fatores-chave, foi possível desenvolver o assunto objeto deste estudo. De forma quantitativa, a comparação identificou os dados de eficiência do consumo de energia elétrica das lâmpadas analisadas, em relação ao fluxo luminoso emitido – o conceito de eficácia luminosa (Lm/W) – durante o tempo de vida útil das diferentes fontes de iluminação. Este comparativo identificou ainda, os fatores qualitativos dos conceitos de conforto visual, sem que houvesse prejuízos aos usuários por negligenciar a norma vigente quanto aos fatores fotométricos e cromáticos das duas fontes de iluminação artificial comparadas.

De maneira mais objetiva, este estudo busca – a partir da revisão da literatura –, descrever, explicar e comparar quantitativamente as diferentes fontes de iluminação, por meio de suas características técnicas para emissão do fluxo luminoso, mantidos os parâmetros mínimos exigidos pela norma técnica. E, de forma lógica e por meio de deduções, estabelece inter-relações

dos custos financeiros de implantação e operação dos sistemas de iluminação com a eficiência das fontes de luz analisadas, para a tomada de decisão do investidor.

3.3. O MÉTODO DA PESQUISA

A análise comparativa realizada por este estudo que indica a viabilidade econômica entre a aplicação das lâmpadas fluorescentes ou das lâmpadas de catodo frio levou em consideração: i. Custos iniciais de implantação do sistema de iluminação, ou seja, o investimento inicial; ii. Custos de operação do sistema de iluminação e iii. Custos de manutenção das duas fontes de luz, e que diretamente, guardam proporção com a vida útil respectiva.

Os custos de investimento são obtidos pela somatória dos custos de aquisição de todos os equipamentos que compõem o sistema de iluminação, tais como lâmpadas, luminárias, reatores, transformadores, ignitores e a fiação, acrescidos dos custos de mão de obra dos profissionais envolvidos, desde a elaboração do projeto à instalação final. Este estudo se restringirá apenas às lâmpadas e reatores necessários para o adequado funcionamento de cada uma das fontes objeto de comparação. Os materiais auxiliares, como fiação e mão de obra de instalação não serão consideradas.

Os custos de operação são conseguidos a partir da somatória de todos os custos apresentados após a completa instalação do sistema de iluminação, concentrados nos custos de manutenção das condições luminotécnicas do projeto e os custos de energia consumida. O custo mensal de manutenção das lâmpadas engloba o custo de aquisição de novas unidades, em alguns casos também considera a necessidade de troca dos reatores eletrônicos, e o custo da mão de obra necessária a executar a manutenção. O custo da mão de obra para realizar essa reposição é dado em função da remuneração por hora de trabalho do respectivo profissional responsável pela atividade. Como dito antes, este estudo não considera o valor da mão de obra, instalação ou manutenção em seus cálculos, por entender que o valor e a necessidade destes serviços podem variar, consideravelmente, entre diferentes projetos e locais de execução, ou ainda, o tipo de regime tributário da empresa responsável pela realização dos serviços.

Um projeto luminotécnico somente é considerado completo quando se atenta para a avaliação dos custos de implantação e operação dos sistemas de iluminação (OSRAM, 2007), e portanto, dada a importância destas análises, corrobora com a expectativa deste estudo.

Como descritos acima, a análise destes três fatores-chave – custo inicial, custo operacional e custo de manutenção – permite obter informações econômicas consistentes sobre a viabilidade do *retrofit*: substituição das fluorescentes tubulares por lâmpadas de catodo frio. E as ferramentas de análise econômica escolhidas por este estudo foram o *Payback Simples*, o *Valor Presente Líquido (VPL)* e a *Taxa Interna de Retorno (TIR)*, conforme descritas no capítulo 2.6.2.

Estabelecidas as ferramentas de análise econômica, foi necessário definir critérios para a composição de uma tabela de equivalências entre as lâmpadas comparadas, pois além dos aspectos econômicos favoráveis ao investidor, a implantação e operação de um sistema de iluminação eficiente deve proporcionar um ambiente visual adequado, que forneça a luz mínima necessária à realização das tarefas específicas aos usuários daquele espaço. Por isso, para a definição de critérios luminotécnicos de comparação, há de se respeitar os aspectos citados pela Norma Brasileira.

A NBR5413 (1992) – Iluminância de Interiores – estabelece valores médios mínimos para a iluminação artificial em ambientes, conforme descrito no capítulo 2.5. Segundo esta norma, as áreas com iluminação geral usada ininterruptamente ou com tarefas visuais simples como em corredores, por exemplo, devem ter iluminâncias médias mínimas entre os valores de 75 – 100 – 150 lux, conforme os fatores determinantes da iluminação adequada, que levam em consideração as características da tarefa e do observador, como a idade, a velocidade e a precisão da tarefa e a refletância do fundo da tarefa. Este estudo, portanto, considera a iluminação indireta proporcionada pelas lâmpadas de descarga de baixa pressão comparadas, fora de luminárias, posicionadas em nichos, rasgos ou sancas, em grandes áreas de passagem e/ou corredores – uma aplicação bastante utilizada em edifícios comerciais, hall e corredores de hotéis, museus, aeroportos e shopping centers, por exemplo.

O artigo “*Avaliação do potencial de conservação de energia elétrica através de estudo de retrofit no sistema de iluminação da UFSC*” (GHISI; LAMBERTS, 1997), apresenta:

“Avaliadas as condições do atual sistema de iluminação e a possibilidade de realização de um retrofit, deve-se elaborar um novo projeto luminotécnico para cada ambiente da edificação visando atender as iluminâncias recomendadas pela NBR5413/1992. Sugere-se a utilização do método dos lumens por ser um método bastante simples e de fácil entendimento.” (GHISI; LAMBERTS, 1997, p. 5).

O *Método dos Lumens* determina a iluminância média no plano horizontal de uma determinada área. Muito utilizado pelos arquitetos e designers de iluminação, é uma ferramenta bastante simples e baseia-se na iluminância necessária para o desenvolvimento de uma atividade específica. Esta informação é útil principalmente na concepção do projeto de iluminação e deve levar em consideração – além das lâmpadas e das luminárias – também a geometria do ambiente, as refletâncias de teto, paredes e pisos.

Segundo GHISI, 1997, as lâmpadas devem ser escolhidas, sobretudo, pela eficiência luminosa, além da vida útil, temperatura de cor e índice de reprodução de cor. Estes também são os critérios utilizados para a realização deste presente estudo. E os valores apresentados aqui têm referência nas informações fornecidas ao público pelos fabricantes, cujos catálogos estão apresentados no capítulo de referências deste trabalho, e, invariavelmente, indicam a qualidade na realização dos testes para obtenção dos dados:

Os valores de vida útil informados, foram baseados nas medições feitas pelo Departamento de Qualidade da Philips Lighting na Bélgica, com as lâmpadas testadas fora das luminárias e sob condições de laboratório (220 Volts, ciclo de funcionamento de 11 horas acesa e 1 hora apagada etc.) de acordo com as normas IEC¹². Portanto, na prática, em uma instalação de iluminação, onde são inúmeros os fatores que influenciam (oscilação da tensão da rede, número de acendimentos, tipo da luminária, temperatura, etc.) o desempenho individual, ou de um grupo de lâmpadas, pode variar dos valores acima informados. (PHILIPS, 2005, p.56).

A IEC também considera outra forma de teste de vida útil das lâmpadas, com ciclos de funcionamento de 165 minutos acesos e 15 minutos apagados, o que corresponderia a oito ciclos de acendimento por dia. Para as lâmpadas fluorescentes, especificamente, esta avaliação demonstraria uma durabilidade muito inferior quando comparado ao método anterior, pois aumentaria em muito o número de acendimentos, prejudicando a emissão dos eletrodos, reduzindo a vida útil.

¹² International Electrotechnical Commission (IEC) é uma federação mundial, integrada por Organismos Nacionais de Normalização, contando com um representante por país, atuando especificamente na normalização internacional no campo da eletricidade, eletrônicos e relacionados. É uma organização não governamental, sem fins lucrativos, estabelecida em 1906. Dentre seus membros estão mais de cinquenta países. Muitos são nações em desenvolvimento tendo sido o Brasil um dos primeiros membros não europeus a associar-se.

Os dados fornecidos pelos fornecedores salvagam ainda os seguintes interesses:

Estas informações são de uso interno, para utilização em cálculos de custo-benefício em estudos de iluminação e não se constituem em garantia em caso de fornecimento. (PHILIPS, 2005, p. 56).

Por isso se faz tão importante a conferência e validação destes dados, conforme a aplicação de cada solução em iluminação, sem acomodar-se em “soluções prontas”, ditas eficientes e de acordo com os interesses de mercado dos fabricantes e fornecedores. Já como indicação de pesquisa futura, faz-se necessário corroborar os dados apresentados pelos fabricantes por meio de experimentos e análises de laboratório, mas, a relevância deste estudo se dá também por adotar outras premissas, de caráter técnico e econômico e, para tanto, a necessidade de explicá-las.

Como a pesquisa busca, além do comparativo luminotécnico entre as lâmpadas, a viabilidade econômica da aplicação das fontes de iluminação, faz-se também necessário posicionar os produtos quanto a sua eficiência. Segundo o fabricante Philips, seus produtos são posicionados da seguinte forma, figura 3-1:



Figura 3-1. Posicionamento dos produtos de iluminação do fabricante Philips quanto ao desempenho.

Fonte: PHILIPS (2005)

Assim, a presente pesquisa limitou-se ao comparativo entre as lâmpadas de catodo frio, *Tecnolux*¹³ *Cold Cathode Lamps* e as comercialmente utilizadas lâmpadas fluorescentes tubulares T5 e T8 da Philips, devido as suas características e aplicações semelhantes. Como existe uma ampla gama de fontes de luz elétrica, tanto na família das fluorescentes, como nas de catodo frio, esta pesquisa pode suscitar desdobramentos de novos estudos comparativos, para análises de viabilidade de *retrofit*.

Limitados os produtos analisados (fluorescentes tubulares e catodo frio) e estabelecidos os critérios luminotécnicos de comparação (fluxo luminoso, temperatura de cor e IRC), a escolha dos produtos seguiu os seguintes critérios:

a. Comparativamente, as lâmpadas têm semelhanças na distribuição do espectro de energia visível e foram escolhidas por possuírem temperaturas de cor equivalentes. Este estudo compara as temperaturas de cor comercialmente mais disponíveis no mercado para as fluorescentes tubulares, de 3000K, 4000K e 6500K;

b. Por sua importância, buscou-se também pela equivalência do índice de reprodução de cor (IRC) nas lâmpadas comparadas.

Com base nestes critérios, foi estabelecida a tabela de equivalências entre as lâmpadas, reatores eletrônicos, reatores eletrônicos dimerizáveis e conversores eletrônicos. Ao todo foram considerados 97 diferentes itens, sendo:

- ✓ 19 tipos de lâmpadas T5 (de 14, 28, 54 e 80W);
- ✓ 17 tipos de lâmpadas T8 (de 18, 36, e 58W);
- ✓ 18 tipos de lâmpadas de catodo frio;
- ✓ 05 tipos de reatores eletrônicos para lâmpada T5;
- ✓ 08 tipos de reatores eletrônicos dimerizáveis para lâmpadas T5;
- ✓ 16 tipos de reatores eletrônicos para lâmpada T8;
- ✓ 08 tipos de reatores eletrônicos dimerizáveis para lâmpadas T8 e
- ✓ 06 tipos de aplicações para conversores eletrônicos.

Todos estes itens foram inter-relacionados em suas equivalências de aplicação.

Elaborada para este estudo comparativo, a tabela de equivalência das lâmpadas considerou para

¹³ Tecnolux é uma marca universal para os sistemas de iluminação de néon e catodo frio. Em 1950, na Itália, o fundador do grupo, o Sr. Benito Tacconi, iniciou as atividades com a fabricação de transformadores eletromagnéticos para iluminação em neon. Hoje o grupo Tecnolux está presente em cinco países e é composto por oito empresas das quais cinco são instalações de produção dirigidas principalmente para o campo de iluminação em catodo frio e néon.

cada item (lâmpadas T5, T8 e catodo frio), as seguintes características: a família de produto; o tipo de produto; o tamanho do bulbo; o comprimento da lâmpada; o diâmetro; o fluxo luminoso emitido pela lâmpada e o fluxo luminoso emitido por metro linear (já que os comprimentos das lâmpadas variam e o fluxo luminoso emitido informado nos catálogos indica a emissão total da fonte de luz); IRC; temperatura de cor; potência da lâmpada e o consumo por metro linear (da mesma forma que o fluxo luminoso, a potência indicada sempre se refere à fonte de luz, independente do seu comprimento total); a eficiência luminosa a 35°C (melhor condição); a vida útil considerada a melhor condição, com total de 99% de eficiência ao uso, sobre pré-aquecimento dos eletrodos; a vida útil considerada a pior condição de 96% de eficiência ao uso; o tipo de reator eletrônico a ser utilizado e a quantidade de lâmpadas submetidas ao reator durante a operação; o tipo de reator eletrônico dimerizável e a quantidade de lâmpadas submetidas durante a operação e, finalmente, o valor médio de compra das lâmpadas no mercado. Todos os valores dos equipamentos foram consultados em três fornecedores diferentes na capital do estado de São Paulo, no terceiro trimestre de 2012.

As tabelas preenchidas e todos os respectivos valores estão devidamente apresentados nos anexos deste trabalho, bem como a descrição por tipo de família de produto, seus benefícios, características, tipos de aplicação e cuidados com a segurança quando da utilização das lâmpadas tubulares.

E, por apresentarem características distintas, as tabelas dos reatores eletrônicos e dos conversores eletrônicos foram elaboradas separadamente. Lembrando que os reatores eletrônicos, segundo os fabricantes, podem acender apenas uma lâmpada ou, dependendo da sua capacidade, um determinado número de lâmpadas e os conversores eletrônicos acendem determinada quantidade em metros lineares de lâmpadas de catodo frio, dependendo de seu comprimento, diâmetro do tubo e gás de preenchimento, conforme descrito no capítulo 2.6.4.

Este estudo limitou o comparativo apenas aos reatores eletrônicos, e eletrônicos dimerizáveis (ambos para lâmpadas T5 e T8), por serem mais eficientes e pertencerem ao grupo de produtos de alto desempenho, indicado pelo fabricante.

Portanto, de forma análoga às lâmpadas, a tabela de equivalência dos reatores eletrônicos apresenta a característica de cada item, da seguinte forma: a família de produto; o tipo de produto; o tipo de bulbo a que se adéqua; sua capacidade ou não quanto à dimerização e o valor de compra médio de mercado.

Já a tabela de equivalência dos conversores eletrônicos (para o catodo frio) exhibe a corrente elétrica fornecida para emissão do fluxo luminoso máximo no catodo frio; a potência, o diâmetro do vidro e a máxima capacidade em metros lineares teórica para tubos preenchidos com gás argônio ou argônio mais mistura. Sabendo que a quantidade máxima, em metros lineares, suportada pelo conversor eletrônico pode ser facilmente dividida em mais de uma lâmpada (neste caso, chama-se de sistema de lâmpadas já que deverão ser ligadas em série para seu acendimento), e que cada sistema representa um aumento da resistência elétrica devido aos seus eletrodos de emissão de grande massa, teoricamente, deve-se agregar um valor de aproximadamente 25 cm lineares (uma polegada) por sistema para que a carga total suportada pelo conversor não seja superestimada. Por isso, a tabela de equivalência dos conversores oferece também a quantidade de lâmpadas, considerada a metragem linear máxima suportada; o acréscimo da resistência por eletrodos; a capacidade de carga (*load*) máxima do conversor, considerada a quantidade de lâmpadas e os diâmetros dos tubos.

As tabelas preenchidas, tanto dos reatores como dos conversores eletrônicos e todos os respectivos valores estão devidamente apresentados nos anexos deste trabalho.

Como dito, o caráter luminotécnico (fluxo luminoso, temperatura de cor e IRC) estabeleceram os critérios iniciais de comparação entre as fontes de luz artificial para formação da tabela de equivalências. O tipo de aplicação, dimerizada ou não, estabeleceu a escolha dos reatores. Determinados os reatores, instituiu-se o consumo e o tempo de vida útil máximo da(s) lâmpada(s), já que a eficiência do reator ou o tipo de configuração do sistema de acendimento da(s) lâmpada(s) influenciam na eficiência do sistema de iluminação. Estas informações estão diretamente relacionadas aos cálculos dos índices econômicos, e portanto, à viabilidade da iniciativa.

Assim, no fluxo de caixa, para o cálculo dos índices econômicos (*TIR* e *Payback*) foram consideradas algumas premissas (que se apresentam como variáveis de manipulação dentro da planilha de cálculo estabelecida), sugerindo a operação das lâmpadas comparadas nas seguintes condições:

- ✓ Lâmpadas acesas por 12 horas diárias, 365 dias por ano – uma aplicação bastante próxima da realidade em shopping centers, museus, aeroportos, hall de hotéis etc., quando não aproveitada a iluminação natural, por exemplo;

- ✓ 1000 metros lineares de catodo frio e o seu equivalente em relação às lâmpadas fluorescentes, utilizados em iluminação indireta (sancas e rascos do detalhamento arquitetônico), sem o uso de luminárias;
- ✓ Sobreposição das lâmpadas fluorescentes para evitar o efeito de indesejável de sombras (entre as lâmpadas) na distribuição do fluxo luminoso dentro dos nichos – considerado 10% do comprimento da lâmpada;
- ✓ Custo do quilowatt-hora de R\$ 0,47, valor próximo ao aplicado no estado de São Paulo, no segundo semestre de 2012;
- ✓ Mão de obra de instalação e/ou manutenção não considerados no cálculo por ser difícil mensurar sua necessidade, tempo de utilização e valor correspondente, consideradas as diferentes faixas salariais e os impostos trabalhistas envolvidos no cálculo;
- ✓ 3 oportunidades de Taxa Mínima de Atratividade (TMA): 5%, 10% e 20% ao ano. Esta análise deve considerar a TMA acima do valor nominal de mercado obtido pelos rendimentos – sem o desconto da inflação do período – comparada, por exemplo, com a caderneta de poupança que não possui taxa administrativa, ou ainda, aos rendimentos dos fundos de renda fixa, ambos considerados investimentos bastante seguros pelo mercado financeiro. Estas três oportunidades de TMA oferecidas, dependendo do empreendimento, podem se adequar ao posicionamento conservador, moderado ou agressivo do investidor;
- ✓ Acréscimo de 5% ao ano referente a atualização monetária dos itens de reposição e despesas de operação do sistema de iluminação, considerada a possível longevidade do comparativo, devido ao tempo de vida útil dos produtos;
- ✓ Custo de descarte das lâmpadas fluorescentes obsoletas para a correta reciclagem, dentro do período comparado, sem a destinação dos resíduos finais pra aterros sanitários. Este custo é estimado em US\$1,00, por lâmpada, para coleta e destinação correta, dentro do estado de São Paulo, no segundo semestre de 2012.

Devido ao grande número de variáveis e suas inter-relações (fatores luminotécnicos, premissas e desembolso financeiro durante a vida útil do sistema de iluminação), fez-se

necessário o uso de planilhas de cálculo, elaboradas no software *Microsoft Excel*¹⁴. As tabelas de equivalência elaboradas (para lâmpadas, reatores e conversores eletrônicos) foram assumidas como banco de dados geral e, para isso, cada item foi classificado com um número sequencial (chamado em cada tabela de equivalência como “Código”), referenciando-o. Por meio de fórmulas matemáticas e da ferramenta macro – própria do software, pode-se alinhar os itens para a comparação. A análise é feita sempre entre uma lâmpada fluorescente tubular e sua correspondente (equivalente) no catodo frio, identificando-as (na planilha de cálculo) simplesmente pelo seu “Código”. Uma vez inserido o “Código” da lâmpada desejada, a planilha de cálculo identifica o produto na tabela de equivalências e apresenta todas as demais características da lâmpada para comparação, presentes no banco de dados geral. Lado a lado, as duas lâmpadas (fluorescentes e catodo frio, com características equivalentes) são comparadas e a planilha calcula automaticamente os índices de viabilidade econômica para este dueto. Visando buscar o melhor arranjo e a eficiência do sistema de iluminação, algumas outras variáveis também podem ser manipuladas facilmente dentro da planilha de cálculo, dando ao usuário quatro oportunidades de aplicação para as lâmpadas comparadas:

a. Nas fluorescentes tubulares:

- ✓ Vida útil menos eficiente nas fluorescentes, sem dimmer (pior condição);
- ✓ Vida útil mais eficiente nas fluorescentes, sem dimmer (condição intermediária);
- ✓ Vida útil com dimmer (melhor condição).

b. No catodo frio:

- ✓ Uso de linhas paralelas de lâmpadas de catodo frio para obtenção de fluxo luminoso equivalente às fluorescentes.

O resultado destas análises de viabilidade econômica é demonstrado por meio de tabelas (fluxo de caixa) com os valores de desembolso financeiro (investimentos e custos de operação) durante o período de 10 anos (a partir do investimento inicial) ou durante todo o período de vida útil da lâmpada de catodo frio. Os valores da TIR e do VPL derivam do mesmo fluxo de caixa financeiro analisado, também dentro dos dois períodos mencionados acima.

¹⁴ O *Microsoft Office Excel*, conhecido popularmente como *Microsoft Excel* é um programa de planilha eletrônica escrito e produzido pela empresa *Microsoft*. Seus recursos incluem uma interface intuitiva e capacitadas ferramentas de cálculo e de construção de gráficos que, juntamente com marketing agressivo, tornaram o *Excel* um dos mais populares aplicativos para computador.

O retorno sobre o investimento, *Payback*, é apresentado graficamente ou quando a diferença entre os valores financeiros desembolsados pelo fluxo de caixa (investimentos e custos de operação) das duas lâmpadas comparadas apresenta valor igual ou superior a zero.

Considerado o consumo de energia elétrica das duas lâmpadas comparadas, a planilha de cálculo também apresenta graficamente os valores da “Poupança de Energia”, demonstrando o valor monetário e percentual da diferença do consumo energético anual da tecnologia economizadora, para o sistema de iluminação.

E, finalmente, a planilha apresenta também, por meio de tabelas e gráficos, os valores totais do dispêndio financeiro durante os dois períodos citados anteriormente (10 anos a partir do investimento e durante todo o tempo de vida útil do catodo frio), informando ao investidor quais os valores monetários teóricos necessários para manutenção da qualidade visual do sistema de iluminação, dentro dos parâmetros de equivalência estabelecidos, ou ainda o apresentando argumento necessário para a tomada de decisão pela tecnologia economizadora.

4. RESULTADOS

Definidos os critérios para a avaliação, estabeleceram-se 16 comparativos. Como já dito, o método utilizado para essas comparações considerou como paradigmas o tipo de lâmpada, sua potência e sua temperatura de cor. Em cada comparativo será apresentada a melhor condição que, do ponto de vista do investidor, por ventura, seja viável economicamente e, portanto, satisfaça a oportunidade do *retrofit* pela tecnologia economizadora. Mas, em todos os casos, o aspecto econômico não deve ser o único argumento para tal substituição – que só seria recomendada sem que houvesse perdas para o conforto visual dos usuários para a realização de suas atividades nestes ambientes, e em acordo com os parâmetros da norma NBR5413/1992.

A seguir, segue o detalhamento de cada item comparado:

4.1. COMPARATIVO 1 – Lâmpada T5, 28W, 3000K

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
1	3	TL5 HE Eco 25=28W/830	T5	16	2.493	85	3.000		-	-
1	17	TL5 ESS 28W/830	T5	16	2.493	82	3.000		-	-
1	42	#7	LCF	20	2.400	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Não
1	41	#7	LCF	18	2.700	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Não
1	40	#7	LCF	20	1.600	85	3.000	EB3-2120-HP	2	Não
1	40	#7	LCF	20	1.600	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Não
1	39	#7	LCF	15	1.800	85	3.000	EB3-2120-HP	2	Não
1	39	#7	LCF	15	1.800	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Não
1	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	2	Não
1	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Não
1	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Sim
1	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	2	Não
1	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Não
1	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Sim

Tabela 4-1. Comparativo 1: lâmpadas T5, 28W, 3000K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 3000K.

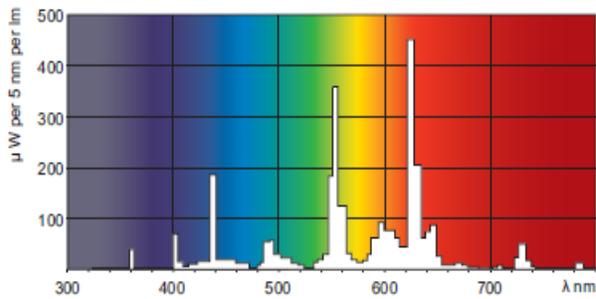


Figura 4-1. Distribuição Espectral de Energia Master TL5 High Efficiency Eco 25=28W/830
Fonte: PHILIPS (2012)

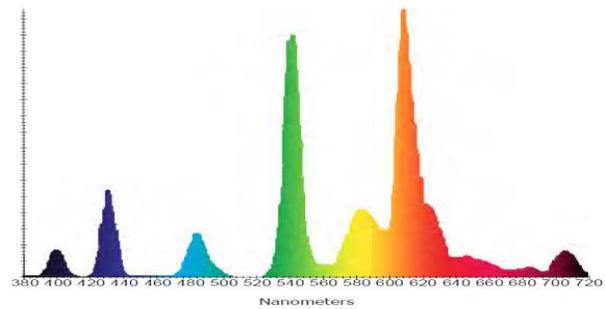


Figura 4-2. Distribuição Espectral de Energia #7 – 3000K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-1, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL5 HE Eco 25=28W/830, denominada pelo Código 3 e pela lâmpada fluorescente TL5 ESS 28W/830, Código 17, é de 2493 Lm/m. Para a mesma temperatura de cor e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #7 – 3000K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-1, pelos códigos 42, 41, 40, 39, 38 e 37 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm, considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP, EB3-2120-HP e EB3-5060-HP); ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes), ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T5 de 28W.

No catodo frio, para o Código 39, o fluxo luminoso é de 1800 Lm/m, com tubo de 15 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-2120-HP, com apenas uma linha de lâmpadas para atingir este fluxo luminoso. Mesmo com redução de cerca de 690 Lm/m, esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 690 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #7, código 39, com a lâmpada fluorescente T5, 28W, 3000K, código 3 – conforme demonstrado na tabela 4-2. Esta comparação considera ainda apenas uma linha de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
1	3	TL5 HE Eco 25=28W/830	T5	16	2.493	85	3.000		-	-
1	39	#7	LCF	15	1.800	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Não

Tabela 4-2. Dados para o comparativo entre T5, 28W, 3000K e catodo frio, com redução de 690Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente		Catodo Frio	
	Código	3	39	
Família	Master TL5 High Efficiency Eco		Tecnolux LCF	
Produto	TL5 HE Eco 25=28W/830		#7	
Dimmer	não			
Código	62	94		
Família	Basic T5	Electronic Converters		
Produto	EL 2X28W TL5 220V 50/60HZ HPF	EB3-2120-HP		
Quantidade lâmpada por reator	2	2		
Vida Útil da Lâmpada (horas):				
Com Dimmer - Mais eficiente	não	LSF HF	100.000 horas	
Sem Dimmer - Menos eficiente	sim	LLMF HF	100.000 horas	
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)	40.000 horas		100.000 horas	
Lâmpadas:				
Quantidade de uso por dia (horas)	12 horas/dia	167 dias	8.333 dias	
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	0,46 anos	22,83 anos	
Reatores/ Conversores Eletrônicos:				
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	9,13 anos	22,83 anos	
Consumo do conjunto (W)		25 W	95 W	
Comprimento lâmpada (mm)		1.163 mm	1.800 mm	
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente		-	1 linha(s) paralela(s)	
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)			1.000 m	
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)				
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		10%	-	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		955 pçs	556 pçs	
		-	278 pçs	
Consumo:				
kWh - consumido pelo sistema		24 kWh	26 kWh	
kWh mês - considerado 12 horas/dia	30 dias	8.597 kWh	9.508 kWh	
kWh ano - considerado 365 dias/ano	365 dias	104.597 kWh	115.676 kWh	
Custo kWh	R\$ 0,47			
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)		R\$ 4.040,58	R\$ 4.468,57	
Custo energia elétrica total - anual (R\$)		R\$ 49.160,36	R\$ 54.367,63	
Diferença custo de energia anual (R\$)		-	R\$ 5.207,26	
Diferença custo de energia anual (%)			11%	
Investimento:				
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		955 pçs	-	
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)		478 pçs	-	
Custo por lâmpada (R\$)		R\$ 15,91	-	
Custo por reator eletrônico (R\$)		R\$ 35,55	-	
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)		-	1.000 m	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		-	278 pçs	
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)		-	R\$ 70,00	
Custo por conversor eletrônico		-	R\$ 380,00	
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)		R\$ 15.197,54	R\$ 70.000,00	
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)		R\$ 16.980,62	R\$ 105.640,00	
Investimento Inicial ^(B)		R\$ 32.178,15	R\$ 175.640,00	
Diferença investimento inicial (R\$)		-	R\$ 54.802,46	
Diferença investimento inicial (%)		-	461%	
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)		R\$ 33.434,59	-	
Correção monetária anual - atualização despesas previstas		5%	5%	
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)		R\$ 0,00	R\$ 0,00	

^(A) Lâmpada Fluorescente TL5 HE Eco 25=28W/830 com 1163,2 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-3. Resultado para o comparativo entre T5, 28W, 3000K e catodo frio, com redução de 690Lm/m.

A seguir, na tabela 4-4, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL5 HE Eco 25=28W/830	Catodo Frio #7	Diferença	
Inv	-R\$ 81.338,52	-R\$ 230.007,63	-R\$ 148.669,11	
ano 1	-R\$ 102.682,11	-R\$ 57.086,01	-R\$ 103.073,00	
ano 2	-R\$ 107.816,22	-R\$ 59.940,31	-R\$ 55.197,09	
ano 3	-R\$ 113.207,03	-R\$ 62.937,32	-R\$ 4.927,39	
ano 4	-R\$ 118.867,38	-R\$ 66.084,19	R\$ 47.855,80	Payback!
ano 5	-R\$ 124.810,75	-R\$ 69.388,40	R\$ 103.278,16	+
ano 6	-R\$ 131.051,29	-R\$ 72.857,82	R\$ 161.471,62	+
ano 7	-R\$ 137.603,85	-R\$ 76.500,71	R\$ 222.574,77	+
ano 8	-R\$ 144.484,04	-R\$ 80.325,74	R\$ 286.733,06	+
ano 9	-R\$ 151.708,25	-R\$ 84.342,03	R\$ 354.099,28	+
(i) ano 10	-R\$ 186.953,29	-R\$ 88.559,13	R\$ 452.493,44	+
ano 11	-R\$ 167.258,34	-R\$ 92.987,09	R\$ 526.764,69	+
ano 12	-R\$ 175.621,26	-R\$ 97.636,45	R\$ 604.749,50	+
ano 13	-R\$ 184.402,32	-R\$ 102.518,27	R\$ 686.633,55	+
ano 14	-R\$ 193.622,44	-R\$ 107.644,18	R\$ 772.611,81	+
ano 15	-R\$ 203.303,56	-R\$ 113.026,39	R\$ 862.888,98	+
ano 16	-R\$ 213.468,74	-R\$ 118.677,71	R\$ 957.680,01	+
ano 17	-R\$ 224.142,17	-R\$ 124.611,59	R\$ 1.057.210,59	+
ano 18	-R\$ 235.349,28	-R\$ 130.842,17	R\$ 1.161.717,70	+
ano 19	-R\$ 247.116,75	-R\$ 137.384,28	R\$ 1.271.450,16	+
ano 20	-R\$ 304.527,21	-R\$ 144.253,50	R\$ 1.431.723,88	+
ano 21	-R\$ 272.446,21	-R\$ 151.466,17	R\$ 1.552.703,92	+
(ii) ano 22	-R\$ 286.068,52	-R\$ 159.039,48	R\$ 1.679.732,96	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 797.928,33	R\$ 468.876,60	R\$ 113.422,72
TIR =	26,18%	26,18%	26,18%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 6.169.090,95	R\$ 2.918.513,90	R\$ 716.909,34
TIR =	35,53%	35,53%	35,53%

Tabela 4-4. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpadas T5, 28W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou

agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-4, o *retrofit* se demonstra economicamente viável, com TIR bastante favorável em 26,18%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou ainda 35,53%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T5 de 28W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-3 apresenta *payback* de 3,7 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

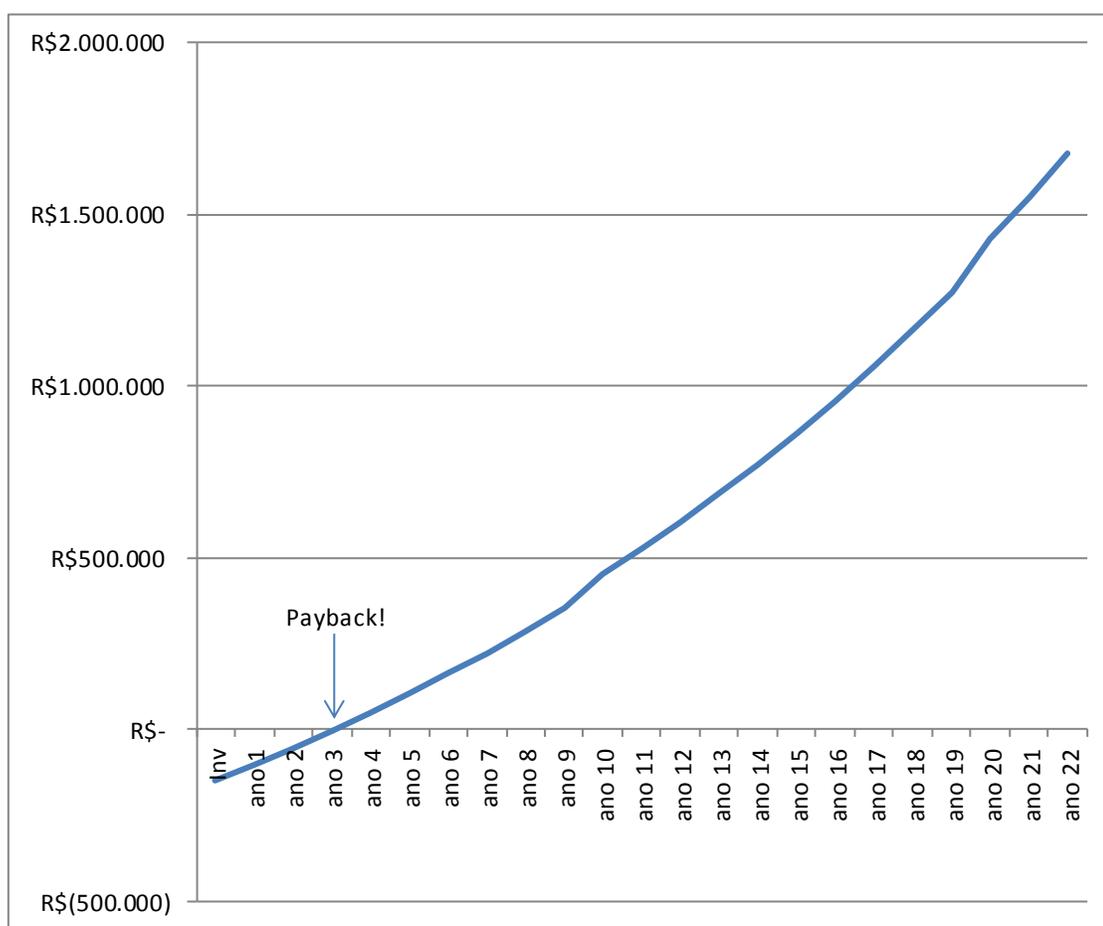


Figura 4-3. *Payback* entre lâmpadas T5, 28W, 3000K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-3 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (461%) e maior consumo de energia elétrica (11%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T5 de 28W, conforme demonstra o gráfico a seguir.

Poupança de Energia (Anual)				
	Fluorescente	Catodo Frio		
Período	Consumo	Consumo	Economia	%
Anual	104.597 kWh	115.676 kWh	-11.079 kWh	11%

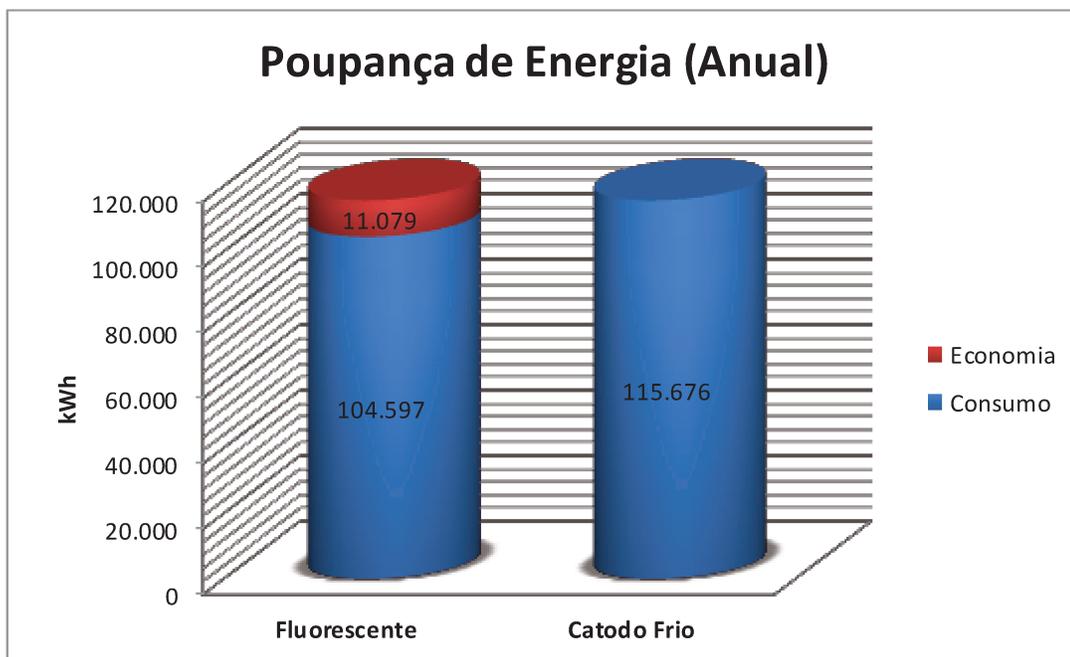


Figura 4-4. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 28W, 3000K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 32% em 10 anos, ou ainda, economia de 41% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-5.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 1.400.522,73	R\$ 948.029,29	R\$ 452.493,44	-32%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 4.107.849,54	R\$ 2.428.116,58	R\$ 1.679.732,96	-41%

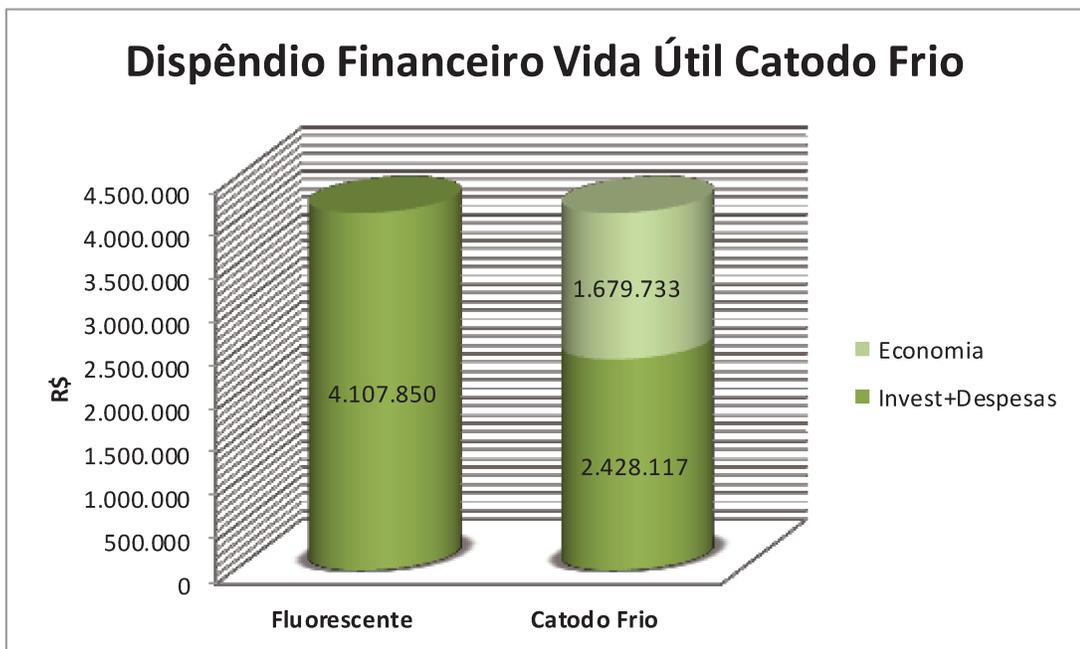
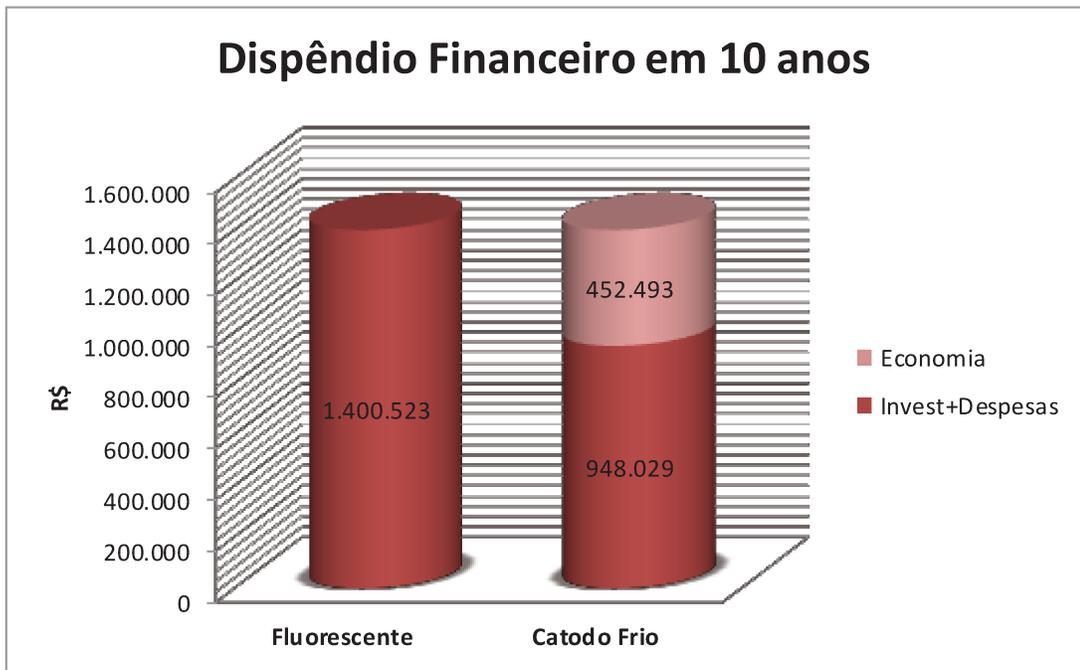


Figura 4-5. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T5, 28W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Tais ganhos econômicos foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 1800Lm/m no catodo frio, cerca de 690 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T5, de 28W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T5, 28W, 3000K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 2 anos, e TIR de 74,26% para 10 anos do investimento, ou ainda, 75,96% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-5. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 1340 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
1	3	TL5 HE Eco 25=28W/830	T5	2.493	-	-	-	-	-	-	-
1	17	TL5 ESS 28W/830	T5	2.493	-	-	-	-	-	-	-
1	42	#7	LCF	2.400	1	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
1	41	#7	LCF	2.700	1	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
1	40	#7	LCF	1.600	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
1	40	#7	LCF	1.600	1	Não	26,18	35,53	3,7	Viável	890 Lm menor
1	39	#7	LCF	1.800	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
1	39	#7	LCF	1.800	1	Não	26,18	35,53	3,7	Viável	690 Lm menor
1	38	#7	LCF	1.150	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
1	38	#7	LCF	1.150	1	Não	74,26	75,96	2,0	Viável	1340 Lm menor
1	38	#7	LCF	1.150	1	Sim	35,51	43,13	3,5	Viável	1340 Lm menor
1	37	#7	LCF	1.300	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
1	37	#7	LCF	1.300	1	Não	53,12	56,79	2,3	Viável	1190 Lm menor
1	37	#7	LCF	1.300	1	Sim	11,15	27,03	4,2	Viável	1190 Lm menor

Tabela 4-5. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T5, 28W, 3000K e catodo frio.

4.2. COMPARATIVO 2 – Lâmpada T5, 54W, 3000K

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
2	6	TL5 HO Eco 50=54W/830	T5	16	4.298	85	3.000		-	-
2	11	TL5 HO 54W/830	T5	16	4.298	85	3.000		-	-
2	42	#7	LCF	20	2.400	85	3.000	EB3-9180-HP	2	Não
2	42	#7	LCF	20	2.400	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Sim
2	41	#7	LCF	18	2.700	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Não
2	40	#7	LCF	20	1.600	85	3.000	EB3-2120-HP	2	Não
2	39	#7	LCF	15	1.800	85	3.000	EB3-2120-HP	2	Sim
2	39	#7	LCF	15	1.800	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Não
2	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	2	Não
2	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	3	Não

Tabela 4-6. Comparativo 2: lâmpadas T5, 54W, 3000K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 3000K.

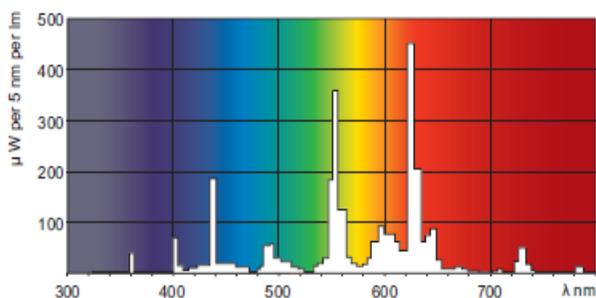


Figura 4-6. Distribuição Espectral de Energia Master TL5 High Efficiency Eco 50=54W/830
Fonte: PHILIPS (2012)

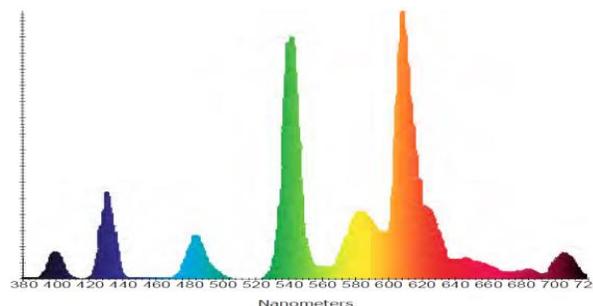


Figura 4-7. Distribuição Espectral de Energia #7 – 3000K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-6, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL5 HE Eco 50=54W/830, denominada pelo Código 6 e pela lâmpada fluorescente TL HO 54W/830, Código 11, é de 4298 Lm/m. Para a mesma temperatura de cor e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #7 – 3000K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-6, pelos códigos 42, 41, 40, 39, 38 e 37 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm, considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP, EB3-2120-HP e EB3-5060-HP); ora com apenas uma

linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas ou até mesmo três linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes), ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T5 de 54W.

No catodo frio, para o Código 40, o fluxo luminoso é de 1600 Lm/m para apenas uma linha de lâmpadas, com tubo de 20 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-2120-HP. Com duas linhas paralelas de lâmpadas o fluxo luminoso dobra de valor, atingindo 3200Lm/m. Portanto, há uma redução de cerca de 1100 Lm/m. Esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

Mesmo assim, para entendimento comparativo, os cálculos consideram outras aplicações com menor emissão luminosa, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos. Como pode ser visto no código 37, por exemplo, para tudo de vidro com 15 mm e conversor EB3-5060-HP, para atingir o fluxo luminoso próximo as lâmpadas T5 de 54W, seriam necessárias 3 linhas paralelas.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 1100 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #7, código 40, com a lâmpada fluorescente T5, 54W, 3000K, código 6 – conforme demonstrado na tabela 4-7. Esta comparação considera duas linhas paralelas de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
2	6	TL5 HO Eco 50=54W/830	T5	16	4.298	85	3.000		-	-
2	40	#7	LCF	20	1.600	85	3.000	EB3-2120-HP	2	Não

Tabela 4-7. Dados para o comparativo entre T5, 54W, 3000K e catodo frio, com redução de 1100Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente		Catodo Frio
	Código	6	40
Família	Master TL5 High Output Eco	Tecnolux LCF	
Produto	TL5 HO Eco 50=54W/830	#7	
Dimmer	não	Código	
		63	
		Basic T5	
		EL 2X54W TL5 220V 50/60HZ HPF	
Quantidade lâmpada por reator	2	Reator	
		95	
		Electronic Converters	
		EB3-2120-HP	
		2	
Vida Útil da Lâmpada (horas):			
Com Dimmer - Mais eficiente	não	LSF HF	100.000 horas
Sem Dimmer - Menos eficiente	sim	LLMF HF	100.000 horas
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)			
			100.000 horas
Lâmpadas:			
Quantidade de uso por dia (horas)	12 horas/dia		8.333 dias
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano		22,83 anos
Reatores/ Conversores Eletrônicos:			
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	9,13 anos	22,83 anos
Consumo do conjunto (W)		50 W	95 W
Comprimento lâmpada (mm)		1.163 mm	1.800 mm
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente		-	2 linha(s) paralela(s)
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)			1.000 m
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)			-
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		10%	-
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		955 pçs	1.111 pçs
		-	556 pçs
Consumo:			
kWh - consumido pelo sistema		48 kWh	53 kWh
kWh mês - considerado 12 horas/dia	30 dias	17.194 kWh	19.015 kWh
kWh ano - considerado 365 dias/ano	365 dias	209.193 kWh	231.352 kWh
Custo kWh	R\$ 0,47		
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)		R\$ 8.081,16	R\$ 8.937,14
Custo energia elétrica total - anual (R\$)		R\$ 98.320,72	R\$ 108.735,25
Diferença custo de energia anual (R\$)		-	R\$ 10.414,53
Diferença custo de energia anual (%)			11%
Investimento:			
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		955 pçs	-
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)		478 pçs	-
Custo por lâmpada (R\$)		R\$ 20,03	-
Custo por reator eletrônico (R\$)		R\$ 37,25	-
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)		-	1.000 m
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		-	556 pçs
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)		-	R\$ 70,00
Custo por conversor eletrônico		-	R\$ 380,00
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)		R\$ 19.133,04	R\$ 70.000,00
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)		R\$ 17.792,55	R\$ 211.280,00
Investimento Inicial ^(B)		R\$ 36.925,59	R\$ 281.280,00
Diferença investimento inicial (R\$)		-	R\$ 50.866,96
Diferença investimento inicial (%)		-	366%
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)		R\$ 42.092,69	-
Correção monetária anual - atualização despesas previstas		5%	5%
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)		R\$ 0,00	R\$ 0,00

^(A) Lâmpada Fluorescente TL5 HO Eco 50=54W/830 com 1163,2 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-8. Resultado para o comparativo entre T5, 54W, 3000K e catodo frio, com redução de 1100Lm/m.

A seguir, na tabela 4-4, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL5 HO Eco 50=54W/830	Catodo Frio #7	Diferença	
Inv	-R\$ 135.246,32	-R\$ 390.015,25	-R\$ 254.768,93	
ano 1	-R\$ 167.523,78	-R\$ 114.172,01	-R\$ 201.417,16	
ano 2	-R\$ 175.899,97	-R\$ 119.880,62	-R\$ 145.397,80	
ano 3	-R\$ 184.694,97	-R\$ 125.874,65	-R\$ 86.577,48	
ano 4	-R\$ 193.929,72	-R\$ 132.168,38	-R\$ 24.816,13	
ano 5	-R\$ 203.626,21	-R\$ 138.776,80	R\$ 40.033,28	Payback!
ano 6	-R\$ 213.807,52	-R\$ 145.715,64	R\$ 108.125,16	+
ano 7	-R\$ 224.497,89	-R\$ 153.001,42	R\$ 179.621,63	+
ano 8	-R\$ 235.722,79	-R\$ 160.651,49	R\$ 254.692,93	+
ano 9	-R\$ 247.508,93	-R\$ 168.684,06	R\$ 333.517,79	+
(i) ano 10	-R\$ 288.866,57	-R\$ 177.118,27	R\$ 445.266,09	+
ano 11	-R\$ 272.878,59	-R\$ 185.974,18	R\$ 532.170,51	+
ano 12	-R\$ 286.522,52	-R\$ 195.272,89	R\$ 623.420,14	+
ano 13	-R\$ 300.848,65	-R\$ 205.036,53	R\$ 719.232,25	+
ano 14	-R\$ 315.891,08	-R\$ 215.288,36	R\$ 819.834,97	+
ano 15	-R\$ 331.685,64	-R\$ 226.052,78	R\$ 925.467,83	+
ano 16	-R\$ 348.269,92	-R\$ 237.355,42	R\$ 1.036.382,33	+
ano 17	-R\$ 365.683,41	-R\$ 249.223,19	R\$ 1.152.842,55	+
ano 18	-R\$ 383.967,58	-R\$ 261.684,35	R\$ 1.275.125,79	+
ano 19	-R\$ 403.165,96	-R\$ 274.768,57	R\$ 1.403.523,18	+
ano 20	-R\$ 470.533,20	-R\$ 288.506,99	R\$ 1.585.549,39	+
ano 21	-R\$ 444.490,47	-R\$ 302.932,34	R\$ 1.727.107,52	+
(ii) ano 22	-R\$ 466.715,00	-R\$ 318.078,96	R\$ 1.875.743,55	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 226.754,95	-R\$ 30.040,38	-R\$ 287.444,78
TIR =	9,27%	9,27%	9,27%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 6.047.464,72	R\$ 2.612.851,75	R\$ 357.964,89
TIR =	24,89%	24,89%	24,89%

Tabela 4-9. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpadas T5, 54W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois

dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-9, o *retrofit* se demonstra economicamente inviável, com TIR desfavorável em apenas 9,27%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou de maneira mais favorável com 24,89%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T5 de 54W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-8 apresenta *payback* de 4,8 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

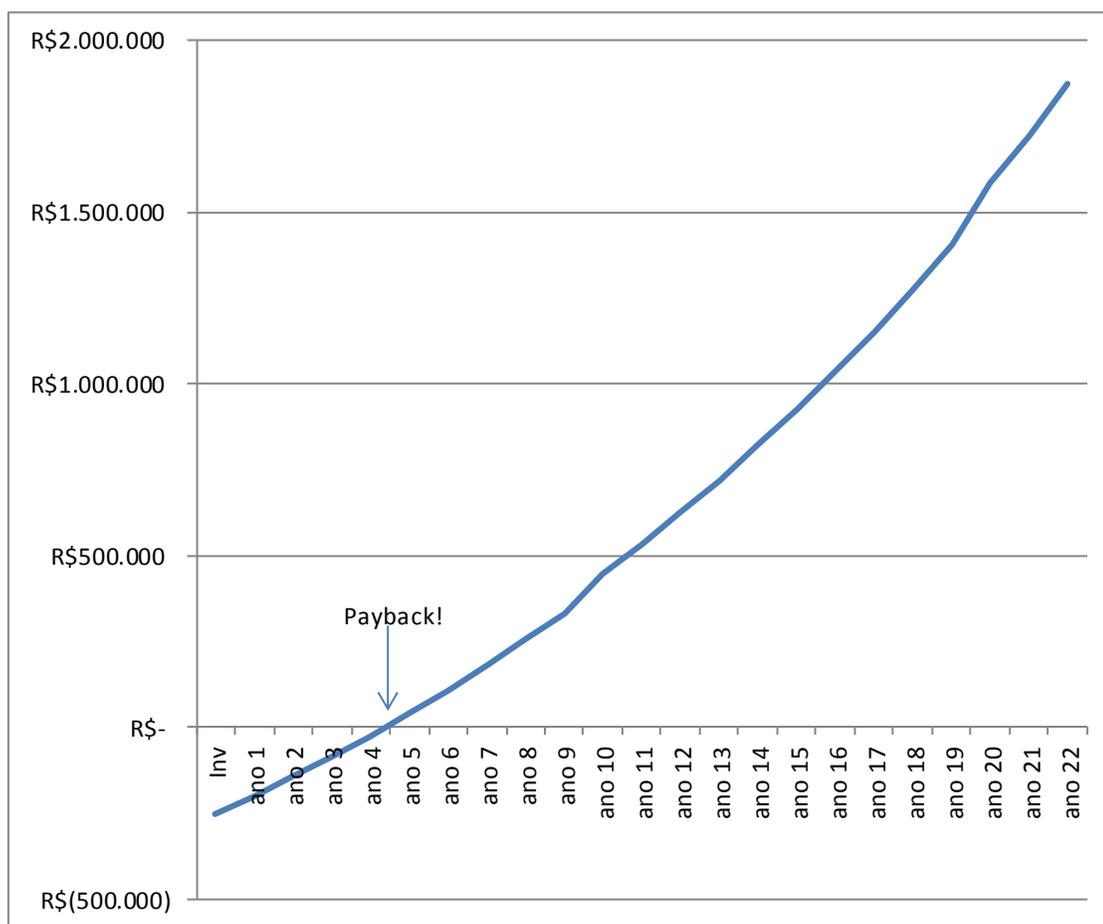


Figura 4-8. *Payback* entre lâmpadas T5, 54W, 3000K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-8 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (366%) e maior consumo de energia elétrica (11%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T5 de 54W, conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)				
	Fluorescente	Catodo Frio		
Período	Consumo	Consumo	Economia	%
Anual	209.193 kWh	231.352 kWh	-22.159 kWh	11%

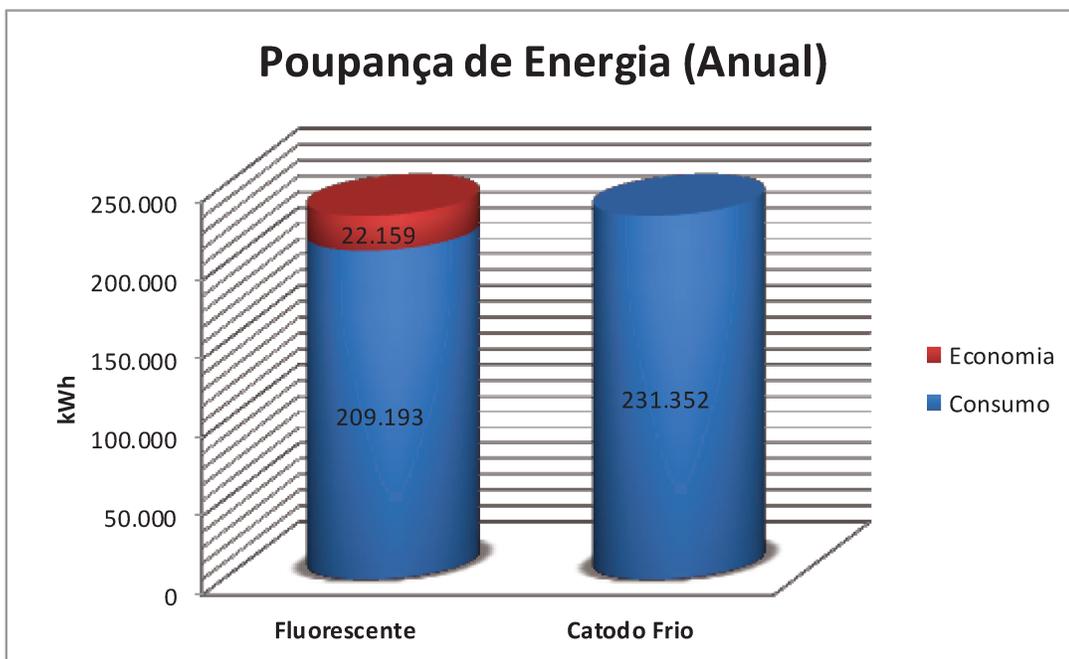


Figura 4-9. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 54W, 3000K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 20% em 10 anos, ou ainda, economia de 28% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-10.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 2.271.324,68	R\$ 1.826.058,58	R\$ 445.266,09	-20%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 6.661.976,71	R\$ 4.786.233,15	R\$ 1.875.743,55	-28%

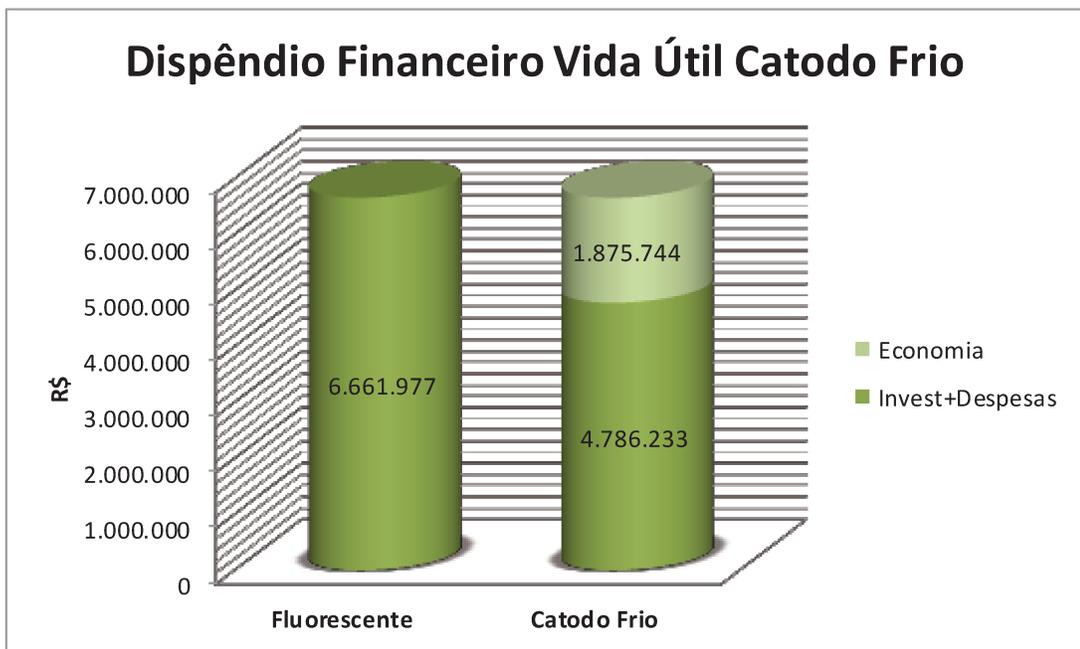
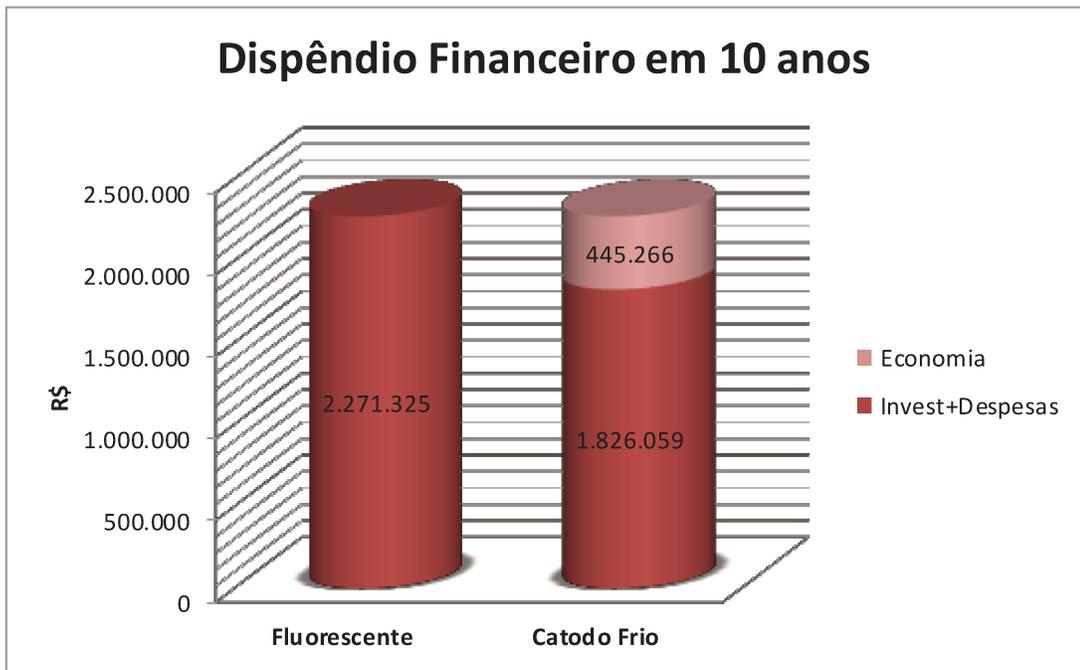


Figura 4-10. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T5, 54W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

A emissão luminosa de 4298 Lm/m é bastante eficiente nas fluorescentes tubulares de 54W. Assim, tais ganhos econômicos só foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 3200Lm/m em duas linhas paralelas de lâmpadas no catodo frio, cerca de 1100 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T5, de 54W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T5, 54W, 3000K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em apenas 3 anos, e TIR de 41,79% para 10 anos do investimento, ou ainda, 47,27% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-10. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 1600 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
2	6	TL5 HO Eco 50=54W/830	T5	4.298	-	-	-	-	-	-	-
2	11	TL5 HO 54W/830	T5	4.298	-	-	-	-	-	-	-
2	42	#7	LCF	2.400	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
2	42	#7	LCF	2.400	1	Sim	16,04	29,48	4,0	Viável	1900 Lm menor
2	41	#7	LCF	2.700	1	Não	41,79	47,27	3,0	Viável	1600 Lm menor
2	40	#7	LCF	1.600	2	Não	9,27	24,89	4,8	Viável	1100 Lm menor
2	39	#7	LCF	1.800	2	Sim	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
2	39	#7	LCF	1.800	1	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
2	38	#7	LCF	1.150	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
2	37	#7	LCF	1.300	3	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-

Tabela 4-10. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T5, 54W, 3000K e catodo frio.

4.3. COMPARATIVO 3 – Lâmpada T5, 80W, 3000K

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
3	9	TL5 HO Eco 73=80W/830	T5	16	4.784	85	3.000		-	-
3	42	#7	LCF	20	2.400	85	3.000	EB3-9180-HP	2	Não
3	42	#7	LCF	20	2.400	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Não
3	42	#7	LCF	20	2.400	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Sim
3	41	#7	LCF	18	2.700	85	3.000	EB3-9180-HP	2	Não
3	41	#7	LCF	18	2.700	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Não
3	41	#7	LCF	18	2.700	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Sim
3	40	#7	LCF	20	1.600	85	3.000	EB3-2120-HP	2	Não
3	39	#7	LCF	15	1.800	85	3.000	EB3-2120-HP	2	Não
3	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	3	Não
3	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	3	Não

Tabela 4-11. Comparativo 3: lâmpadas T5, 80W, 3000K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 3000K.

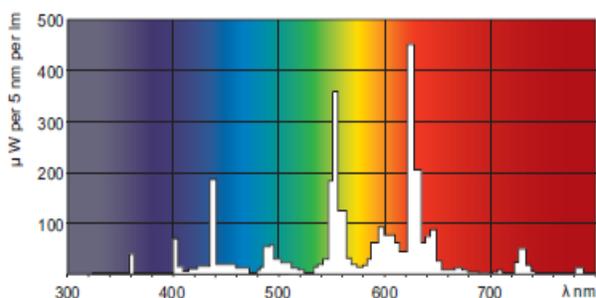


Figura 4-11. Distribuição Espectral de Energia Master TL5 High Output Eco 73=80W/830
Fonte: PHILIPS (2012)

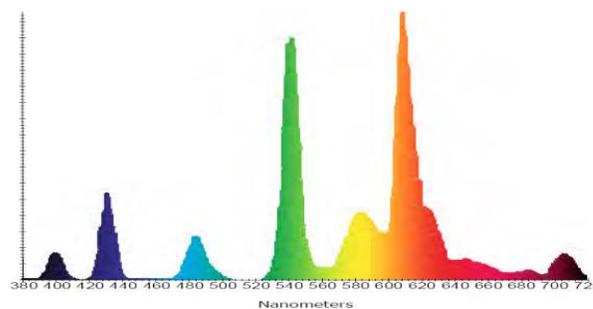


Figura 4-12. Distribuição Espectral de Energia #7 – 3000K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-11, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL5 HO Eco 73=80W/830, denominada pelo Código 9, é de 4784 Lm/m. Para a mesma temperatura de cor e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #7 – 3000K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-11, pelos códigos 42, 41, 40, 39, 38 e 37 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm, considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP, EB3-2120-HP e EB3-5060-HP); ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas ou

ainda, com três linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes), ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T5 de 80W.

No catodo frio, para o Código 37, o fluxo luminoso é de 1300 Lm/m para apenas uma linha de lâmpadas, com tubo de 15 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-5060-HP. Com três linhas paralelas de lâmpadas o fluxo luminoso triplica de valor, atingindo 3900Lm/m. Portanto, há uma redução de cerca de 900 Lm/m. Esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 900 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #7, código 37, com a lâmpada fluorescente T5, 80W, 3000K, código 9 – conforme demonstrado na tabela 4-12. Esta comparação considera três linhas paralelas de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compara- rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
3	9	TL5 HO Eco 73=80W/830	T5	16	4.784	85	3.000		-	-
3	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	3	Não

Tabela 4-12. Dados para o comparativo entre T5, 80W, 3000K e catodo frio, com redução de 900Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente	Catodo Frio
Código	9	37
Família	Master TL5 High Output Eco	Tecnolux LCF
Produto	TL5 HO Eco 73=80W/830	#7
Dimmer <input type="checkbox"/> não	Reator	Conversor
Código	65	92
Família	ECO MASTER MULTITENSÃO TL5	Electronic Converters
Produto	EL 1/2XS4W TL5 120-277V 50/60HZ HPF	EB3-5060-HP
Quantidade lâmpada por reator	1	3
Vida Útil da Lâmpada (horas):		
Com Dimmer - Mais eficiente <input type="checkbox"/> não	16.000 horas	100.000 horas
Sem Dimmer - Menos eficiente <input type="checkbox"/> sim	2.000 horas	100.000 horas
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)	40.000 horas	100.000 horas
Lâmpadas:		
Quantidade de uso por dia (horas) <input type="checkbox"/> 12 horas/dia	167 dias	8.333 dias
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="checkbox"/> 365 dias/ano	0,46 anos	22,83 anos
Reatores/ Conversores Eletrônicos:		
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="checkbox"/> 365 dias/ano	9,13 anos	22,83 anos
Consumo do conjunto (W)	73 W	90 W
Comprimento lâmpada (mm)	1.463 mm	1.500 mm
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente	-	3 linha(s) paralela(s)
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)	-	1.000 m
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)	-	-
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	759 pçs	2.000 pçs
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	667 pçs
Consumo:		
kWh - consumido pelo sistema	55 kWh	60 kWh
kWh mês - considerado 12 horas/dia <input type="checkbox"/> 30 dias	19.956 kWh	21.611 kWh
kWh ano - considerado 365 dias/ano <input type="checkbox"/> 365 dias	242.801 kWh	262.931 kWh
Custo kWh <input type="checkbox"/> R\$ 0,47		
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)	R\$ 9.379,44	R\$ 10.157,08
Custo energia elétrica total - anual (R\$)	R\$ 114.116,55	R\$ 123.577,76
Diferença custo de energia anual (R\$)	-	R\$ 9.461,21
Diferença custo de energia anual (%)	-	8%
Investimento:		
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	759 pçs	-
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)	759 pçs	-
Custo por lâmpada (R\$)	R\$ 22,80	-
Custo por reator eletrônico (R\$)	R\$ 58,98	-
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)	-	1.000 m
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	667 pçs
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)	-	R\$ 70,00
Custo por conversor eletrônico	-	R\$ 380,00
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)	R\$ 17.313,65	R\$ 70.000,00
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)	R\$ 44.784,14	R\$ 253.460,00
Investimento Inicial ^(B)	R\$ 62.097,79	R\$ 323.460,00
Diferença investimento inicial (R\$)	-	R\$ 52.686,35
Diferença investimento inicial (%)	-	404%
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)	R\$ 38.090,03	-
Correção monetária anual - atualização despesas previstas	5%	5%
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)	R\$ 0,00	R\$ 0,00

^(A) Lâmpada Fluorescente TL5 HO Eco 73=80W/830 com 1463,2 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-13. Resultado para o comparativo entre T5, 80W, 3000K e catodo frio, com redução de 900Lm/m.

A seguir, na tabela 4-14, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL5 HO Eco 73=80W/830	Catodo Frio #7	Diferença	
Inv	-R\$ 176.214,33	-R\$ 447.037,76	-R\$ 270.823,42	
ano 1	-R\$ 177.996,24	-R\$ 129.756,65	-R\$ 222.583,83	
ano 2	-R\$ 186.896,05	-R\$ 136.244,48	-R\$ 171.932,25	
ano 3	-R\$ 196.240,86	-R\$ 143.056,70	-R\$ 118.748,10	
ano 4	-R\$ 206.052,90	-R\$ 150.209,54	-R\$ 62.904,74	
ano 5	-R\$ 216.355,54	-R\$ 157.720,01	-R\$ 4.269,21	
ano 6	-R\$ 227.173,32	-R\$ 165.606,01	R\$ 57.298,10	Payback!
ano 7	-R\$ 238.531,99	-R\$ 173.886,32	R\$ 121.943,77	+
ano 8	-R\$ 250.458,59	-R\$ 182.580,63	R\$ 189.821,72	+
ano 9	-R\$ 262.981,52	-R\$ 191.709,66	R\$ 261.093,58	+
(i) ano 10	-R\$ 349.079,23	-R\$ 201.295,15	R\$ 408.877,66	+
ano 11	-R\$ 289.937,12	-R\$ 211.359,90	R\$ 487.454,88	+
ano 12	-R\$ 304.433,98	-R\$ 221.927,90	R\$ 569.960,96	+
ano 13	-R\$ 319.655,68	-R\$ 233.024,29	R\$ 656.592,34	+
ano 14	-R\$ 335.638,46	-R\$ 244.675,51	R\$ 747.555,29	+
ano 15	-R\$ 352.420,38	-R\$ 256.909,28	R\$ 843.066,39	+
ano 16	-R\$ 370.041,40	-R\$ 269.754,75	R\$ 943.353,04	+
ano 17	-R\$ 388.543,47	-R\$ 283.242,49	R\$ 1.048.654,03	+
ano 18	-R\$ 407.970,65	-R\$ 297.404,61	R\$ 1.159.220,06	+
ano 19	-R\$ 428.369,18	-R\$ 312.274,84	R\$ 1.275.314,40	+
ano 20	-R\$ 568.613,28	-R\$ 327.888,58	R\$ 1.516.039,10	+
ano 21	-R\$ 472.277,02	-R\$ 344.283,01	R\$ 1.644.033,11	+
(ii) ano 22	-R\$ 495.890,87	-R\$ 361.497,16	R\$ 1.778.426,82	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	-R\$ 119.214,28	-R\$ 298.255,80	-R\$ 462.473,55
TIR =	2,73%	2,73%	2,73%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 5.259.964,16	R\$ 2.138.843,75	R\$ 130.613,51
TIR =	21,70%	21,70%	21,70%

Tabela 4-14. Investimento, fluxo de caixa e payback entre T5, 80W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-14, o *retrofit* se demonstra economicamente inviável, com TIR desfavorável em apenas 2,73%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou de maneira mais favorável com 21,70%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T5 de 80W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-13 apresenta *payback* de 5,5 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

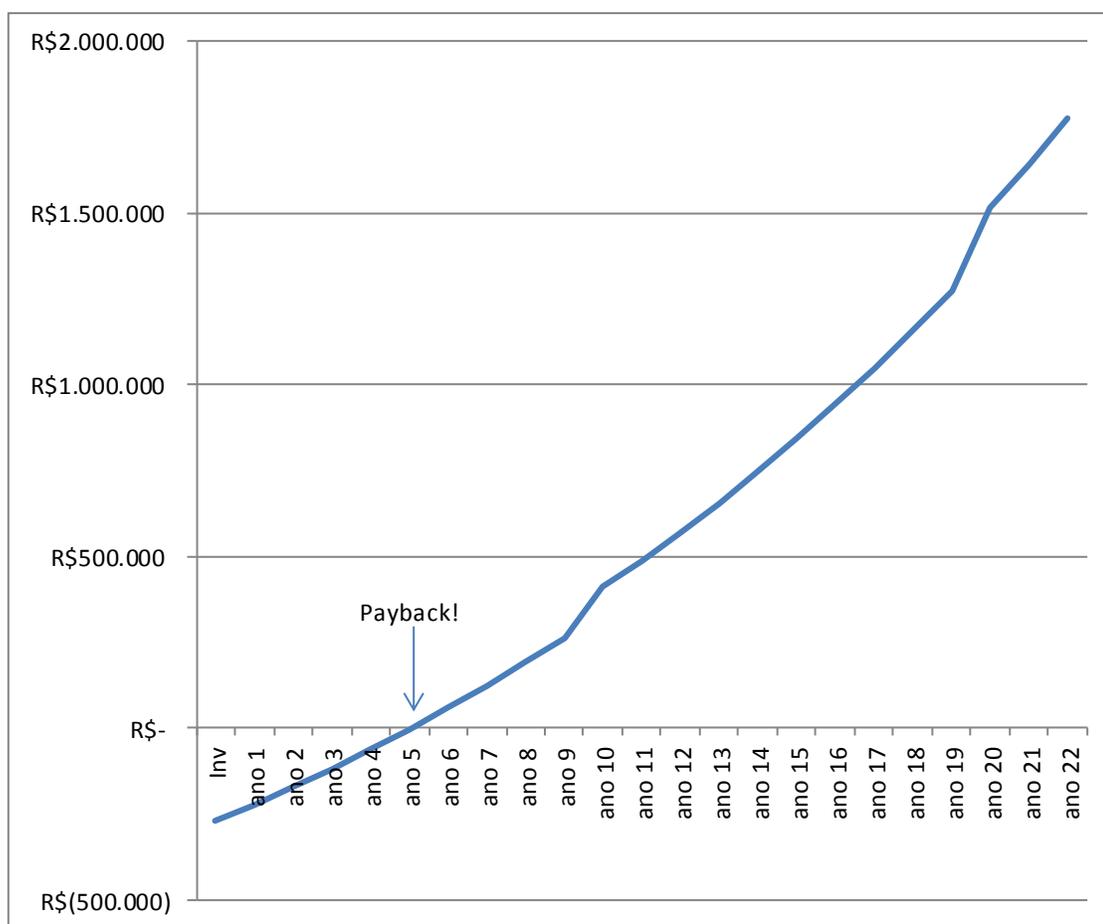


Figura 4-13. *Payback* entre lâmpadas T5, 80W, 3000K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-12 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (404%) e maior consumo de energia elétrica (8%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T5 de 80W, conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)				
	Fluorescente	Catodo Frio		
Período	Consumo	Consumo	Economia	%
Anual	242.801 kWh	262.931 kWh	-20.130 kWh	8%

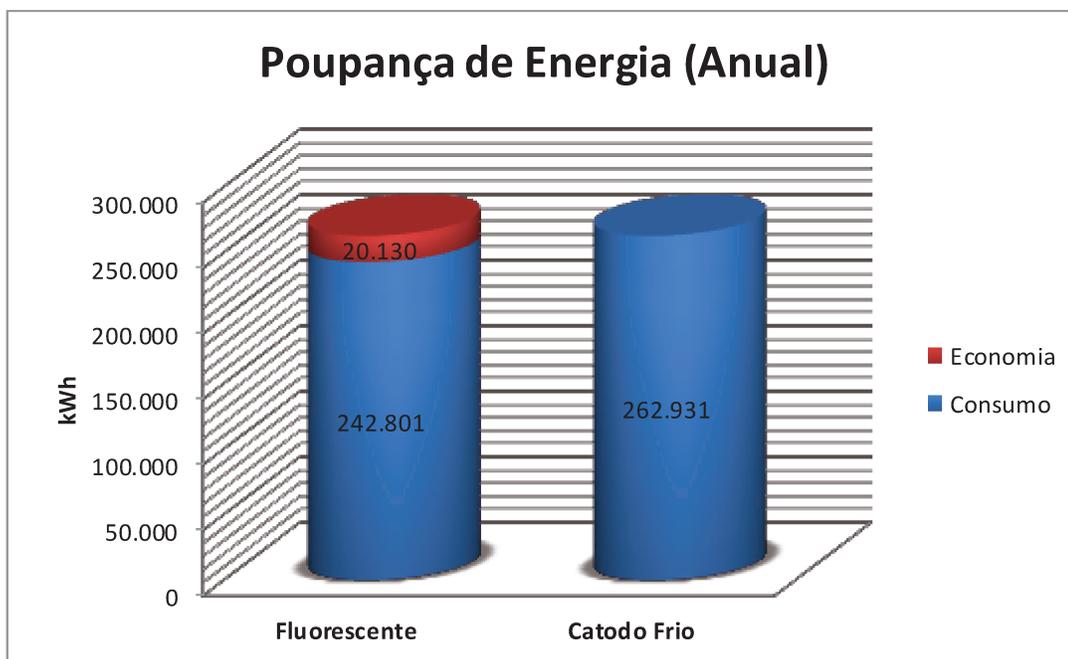


Figura 4-14. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 80W, 3000K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 16% em 10 anos, ou ainda, economia de 25% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-15.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 2.487.980,57	R\$ 2.079.102,91	R\$ 408.877,66	-16%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 7.221.772,05	R\$ 5.443.345,23	R\$ 1.778.426,82	-25%

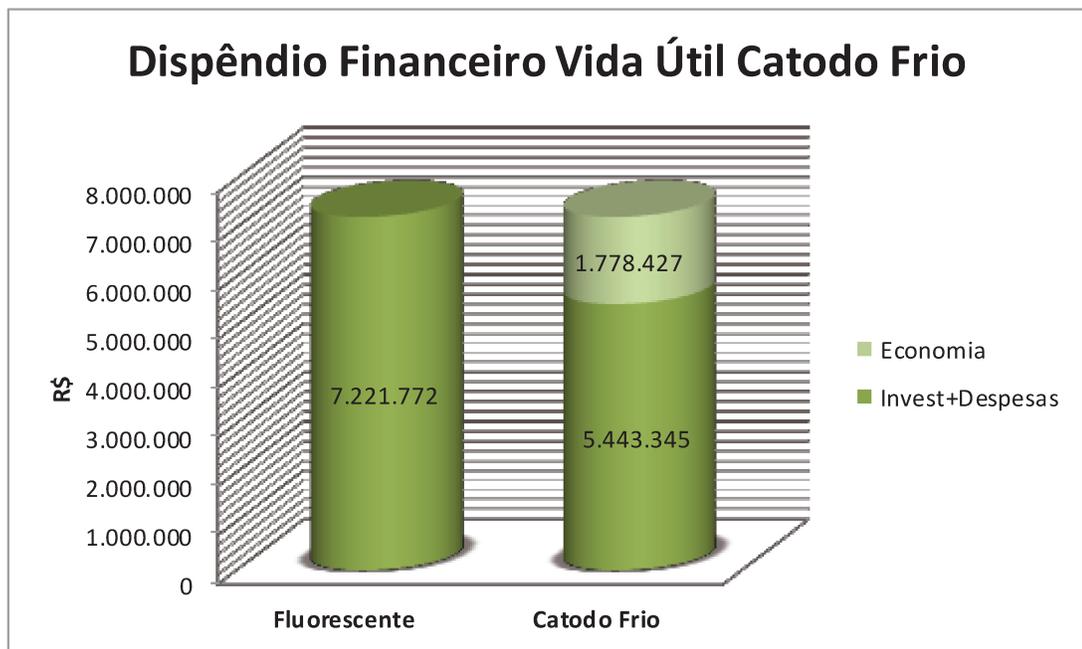
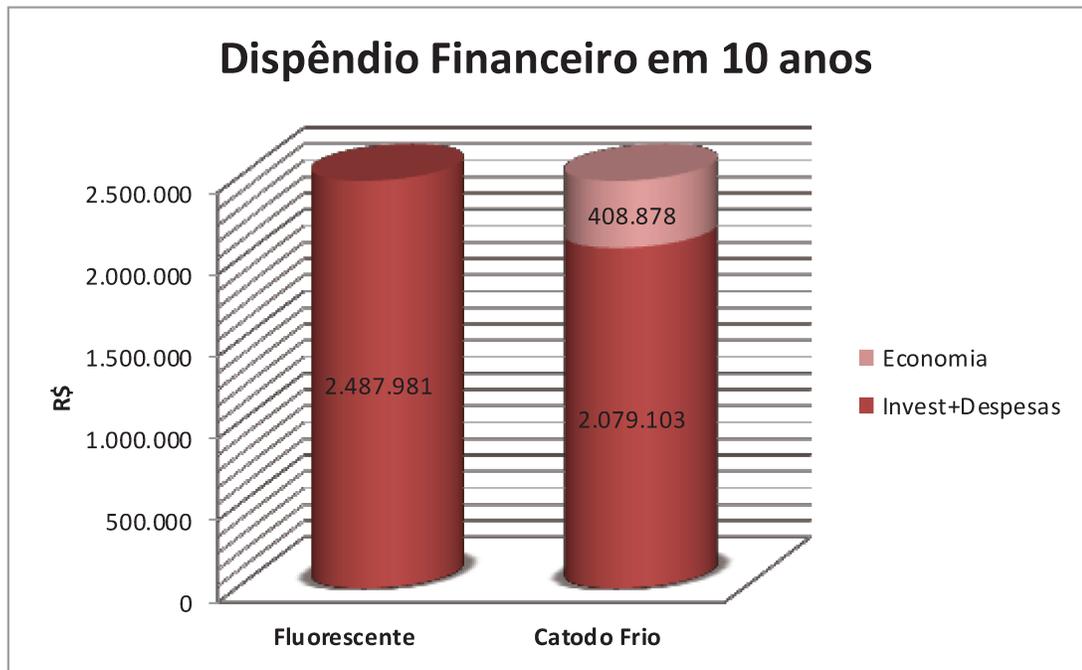


Figura 4-15. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T5, 80W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

A emissão luminosa de 4784 Lm/m é bastante eficiente nas fluorescentes tubulares de 80W. Assim, tais ganhos econômicos só foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 3900Lm/m em três linhas paralelas de lâmpadas no catodo frio, cerca de 900 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T5, de 80W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T5, 80W, 3000K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 3,2 anos, e TIR de 30,49% para 10 anos do investimento, ou ainda, 38,73% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-15. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 1400 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
3	9	TL5 HO Eco 73=80W/830	T5	4.784	-	-	-	-	-	-	-
3	42	#7	LCF	2.400	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
3	42	#7	LCF	2.400	1	Não	81,05	82,41	1,8	Viável	2400 Lm menor
3	42	#7	LCF	2.400	1	Sim	50,52	55,04	2,0	Viável	2400 Lm menor
3	41	#7	LCF	2.700	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
3	41	#7	LCF	2.700	1	Não	64,18	66,69	1,0	Viável	2100 Lm menor
3	41	#7	LCF	2.700	1	Sim	33,15	41,28	3,5	Viável	2100 Lm menor
3	40	#7	LCF	1.600	2	Não	25,11	34,94	3,5	Viável	1600 Lm menor
3	39	#7	LCF	1.800	2	Não	25,11	34,94	3,5	Viável	1200 Lm menor
3	38	#7	LCF	1.150	3	Não	30,49	38,73	3,2	Viável	1400 Lm menor
3	37	#7	LCF	1.300	3	Não	N/A	21,70	5,5	Viável	900 Lm menor

Tabela 4-15. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T5, 80W, 3000K e catodo frio.

4.4. COMPARATIVO 4 – Lâmpada T8, 36W, 3000K

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
4	25	TL-D 90 De Luxe 36W/930	T8	26	2.307	91	3.000		-	-
4	42	#7	LCF	20	2.400	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Não
4	41	#7	LCF	18	2.700	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Não
4	40	#7	LCF	20	1.600	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Não
4	39	#7	LCF	15	1.800	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Sim
4	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	2	Não
4	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Não
4	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Não
4	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Sim
4	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	2	Não
4	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Não
4	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Sim

Tabela 4-16. Comparativo 4: lâmpadas T8, 36W, 3000K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 3000K.

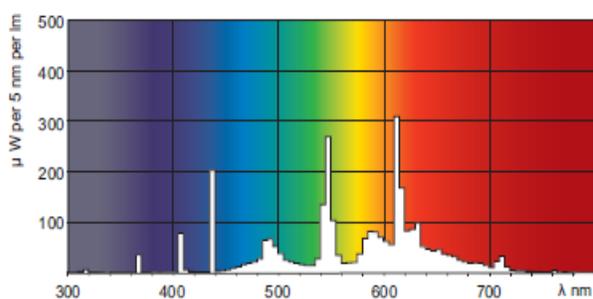


Figura 4-16. Distribuição Espectral de Energia Master TL-D 90 De Luxe 36W/930
Fonte: PHILIPS (2012)

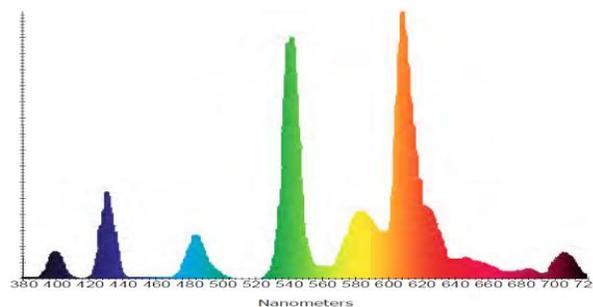


Figura 4-17. Distribuição Espectral de Energia #7 – 3000K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-16, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL-D 90 De Luxe 36W/930, denominada pelo Código 25 é de 2307 Lm/m. Para a mesma temperatura de cor e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #7 – 3000K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-16, pelos códigos 42, 41, 40, 39, 38 e 37 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm,

considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP, EB3-2120-HP e EB3-5060-HP); ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes), ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T8 de 36W.

No catodo frio, para o Código 38, o fluxo luminoso é de 1150 Lm/m para apenas uma linha de lâmpadas, com tubo de 20 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-5060-HP. Com duas linhas paralelas de lâmpadas o fluxo luminoso dobra de valor, atingindo os mesmo 2300Lm/m emitidos pela T8 de 36W. Portanto, seja em caráter decorativo ou funcional, neste comparativo as duas fontes de luz desempenham a mesma função quando aplicadas no projeto luminotécnico.

O comparativo buscou englobar outras possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com mesma emissão luminosa, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #7, código 38, com a lâmpada fluorescente T8, 36W, 3000K, código 25 – conforme demonstrado na tabela 4-17. Esta comparação considera duas linhas paralelas de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
4	25	TL-D 90 De Luxe 36W/930	T8	26	2.307	91	3.000		-	-
4	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	2	Não

Tabela 4-17. Dados para o comparativo entre T8, 36W, 3000K e catodo frio, com mesmo fluxo luminoso.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente		Catodo Frio	
	Código	25	38	
Família	Master TL-D 90 De Luxe		Tecnolux LCF	
Produto	TL-D 90 De Luxe 36W/930		#7	
Dimmer	não			
Código	Reator		Conversor	
Família	74	93		
Produto	Eco Master		Electronic Converters	
Quantidade lâmpada por reator	EL 2X40W TL-T 127V 50/60HZ HPF		EB3-5060-HP	
	2	3		
Vida Útil da Lâmpada (horas):				
Com Dimmer - Mais eficiente	não	8.000 horas	100.000 horas	
Sem Dimmer - Menos eficiente	sim	2.000 horas	100.000 horas	
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)		40.000 horas	100.000 horas	
Lâmpadas:				
Quantidade de uso por dia (horas)	12 horas/dia	167 dias	8.333 dias	
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	0,46 anos	22,83 anos	
Reatores/ Conversores Eletrônicos:				
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	9,13 anos	22,83 anos	
Consumo do conjunto (W)		36 W	90 W	
Comprimento lâmpada (mm)		1.214 mm	1.800 mm	
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente		-	2 linha(s) paralela(s)	
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)			1.000 m	
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)		10%	-	
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		916 pçs	1.111 pçs	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		-	371 pçs	
Consumo:				
kWh - consumido pelo sistema		33 kWh	33 kWh	
kWh mês - considerado 12 horas/dia	30 dias	11.866 kWh	12.020 kWh	
kWh ano - considerado 365 dias/ano	365 dias	144.364 kWh	146.248 kWh	
Custo kWh	R\$ 0,47			
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)		R\$ 5.576,80	R\$ 5.649,59	
Custo energia elétrica total - anual (R\$)		R\$ 67.851,02	R\$ 68.736,65	
Diferença custo de energia anual (R\$)		-	R\$ 885,63	
Diferença custo de energia anual (%)			1%	
Investimento:				
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		916 pçs	-	
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)		458 pçs	-	
Custo por lâmpada (R\$)		R\$ 17,83	-	
Custo por reator eletrônico (R\$)		R\$ 29,12	-	
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)		-	1.000 m	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		-	371 pçs	
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)		-	R\$ 70,00	
Custo por conversor eletrônico		-	R\$ 380,00	
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)		R\$ 16.324,25	R\$ 70.000,00	
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)		R\$ 13.330,71	R\$ 140.980,00	
Investimento Inicial ^(B)		R\$ 29.654,96	R\$ 210.980,00	
Diferença investimento inicial (R\$)		-	R\$ 53.675,75	
Diferença investimento inicial (%)		-	429%	
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)		R\$ 35.913,35	-	
Correção monetária anual - atualização despesas previstas		5%	5%	
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)		R\$ 0,00	R\$ 0,00	

^(A) Lâmpada Fluorescente TL-D 90 De Luxe 36W/930 com 1213,6 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-18. Melhor resultado para o comparativo entre T8, 36W, 3000K e catodo frio, com mesmo fluxo luminoso.

A seguir, na tabela 4-19, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL-D 90 De Luxe 36W/930	Catodo Frio #7	Diferença	
Inv	-R\$ 97.505,98	-R\$ 279.716,65	-R\$ 182.210,67	
ano 1	-R\$ 126.093,06	-R\$ 72.173,49	-R\$ 128.291,10	
ano 2	-R\$ 132.397,71	-R\$ 75.782,16	-R\$ 71.675,55	
ano 3	-R\$ 139.017,59	-R\$ 79.571,27	-R\$ 12.229,23	
ano 4	-R\$ 145.968,47	-R\$ 83.549,83	R\$ 50.189,41	Payback!
ano 5	-R\$ 153.266,90	-R\$ 87.727,32	R\$ 115.728,99	+
ano 6	-R\$ 160.930,24	-R\$ 92.113,69	R\$ 184.545,54	+
ano 7	-R\$ 168.976,76	-R\$ 96.719,37	R\$ 256.802,92	+
ano 8	-R\$ 177.425,59	-R\$ 101.555,34	R\$ 332.673,17	+
ano 9	-R\$ 186.296,87	-R\$ 106.633,11	R\$ 412.336,93	+
(i) ano 10	-R\$ 217.326,04	-R\$ 111.964,77	R\$ 517.698,20	+
ano 11	-R\$ 205.392,30	-R\$ 117.563,00	R\$ 605.527,50	+
ano 12	-R\$ 215.661,92	-R\$ 123.441,15	R\$ 697.748,26	+
ano 13	-R\$ 226.445,01	-R\$ 129.613,21	R\$ 794.580,06	+
ano 14	-R\$ 237.767,26	-R\$ 136.093,87	R\$ 896.253,45	+
ano 15	-R\$ 249.655,63	-R\$ 142.898,57	R\$ 1.003.010,51	+
ano 16	-R\$ 262.138,41	-R\$ 150.043,50	R\$ 1.115.105,43	+
ano 17	-R\$ 275.245,33	-R\$ 157.545,67	R\$ 1.232.805,08	+
ano 18	-R\$ 289.007,60	-R\$ 165.422,95	R\$ 1.356.389,73	+
ano 19	-R\$ 303.457,97	-R\$ 173.694,10	R\$ 1.486.153,60	+
ano 20	-R\$ 354.001,21	-R\$ 182.378,81	R\$ 1.657.776,01	+
ano 21	-R\$ 334.562,42	-R\$ 191.497,75	R\$ 1.800.840,68	+
(ii) ano 22	-R\$ 351.290,54	-R\$ 201.072,63	R\$ 1.951.058,58	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 880.998,97	R\$ 504.488,01	R\$ 99.108,04
TIR =	24,48%	24,48%	24,48%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 7.118.693,86	R\$ 3.348.317,74	R\$ 799.106,11
TIR =	34,30%	34,30%	34,30%

Tabela 4-19. Investimento, fluxo de caixa e payback entre T8, 36W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou

agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-19, o *retrofit* se demonstra economicamente viável, com TIR bastante favorável em 24,48%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou ainda 34,30%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T8 de 36W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-18 apresenta *payback* de 3,5 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

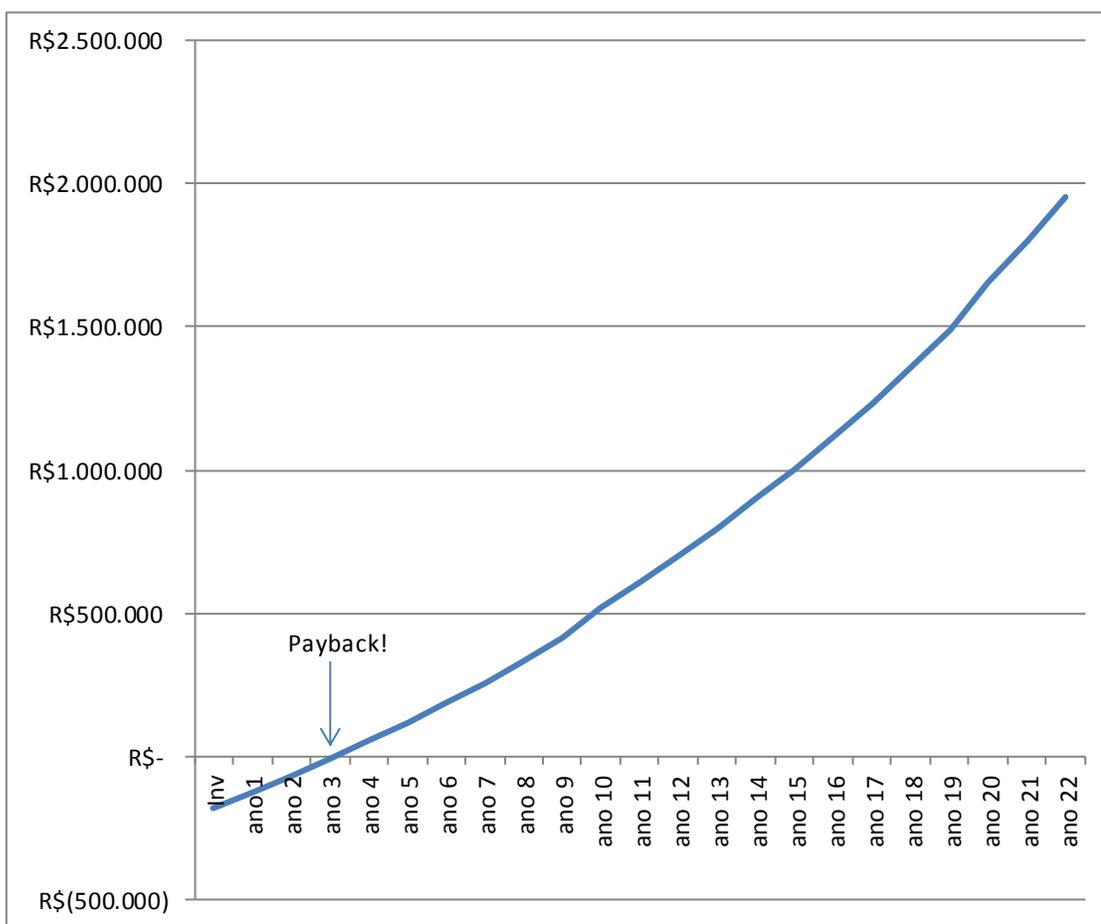


Figura 4-18. *Payback* entre lâmpadas T8, 36W, 3000K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-17 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (429%) e praticamente o mesmo consumo de energia elétrica (apenas 1% maior para esta aplicação), quando comparado à lâmpada fluorescente T8 de 36W, conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)			
	Fluorescente	Catodo Frio	
Período	Consumo	Consumo	Economia
Anual	144.364 kWh	146.248 kWh	-1.884 kWh
			1%

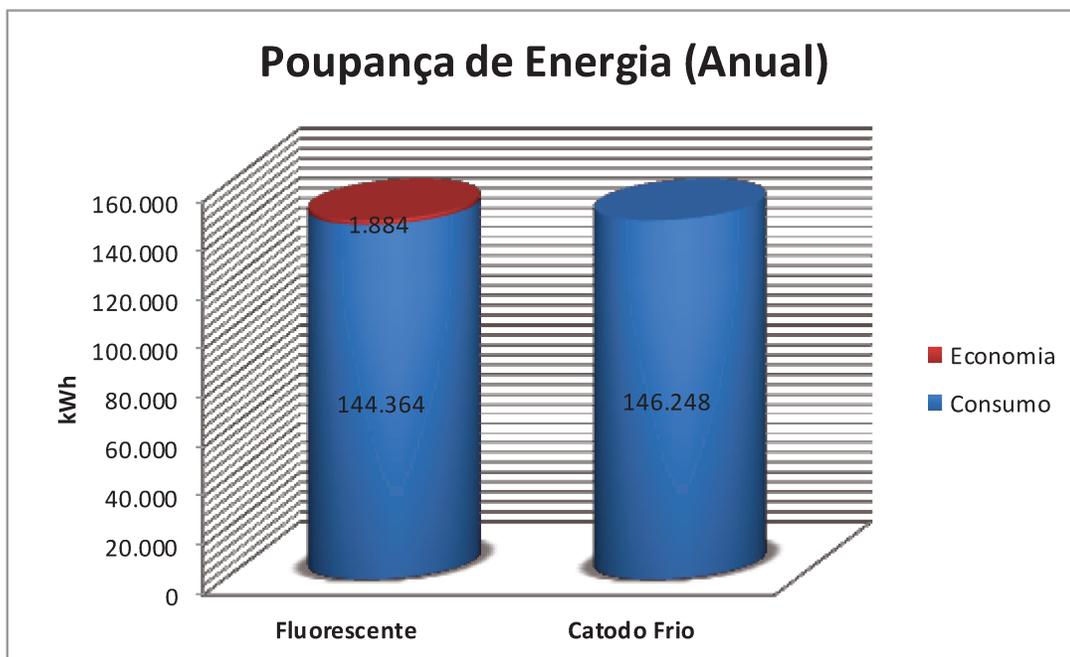


Figura 4-19. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 36W, 3000K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 30% em 10 anos, ou ainda, economia de 39% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-20.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 1.705.205,22	R\$ 1.187.507,01	R\$ 517.698,20	-30%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 5.009.830,81	R\$ 3.058.772,23	R\$ 1.951.058,58	-39%

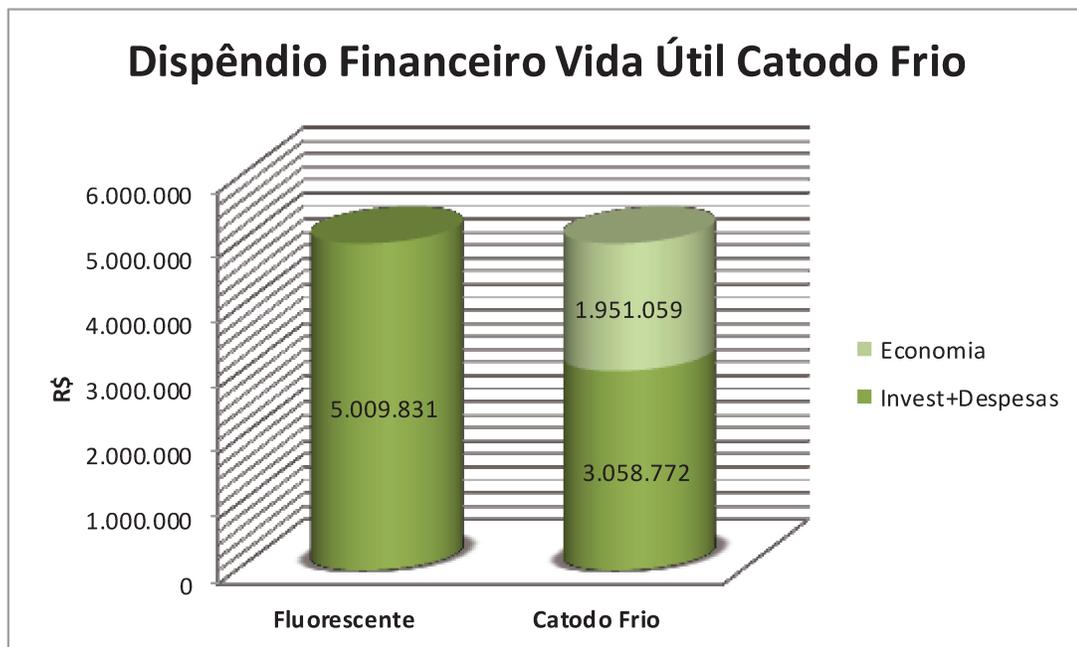
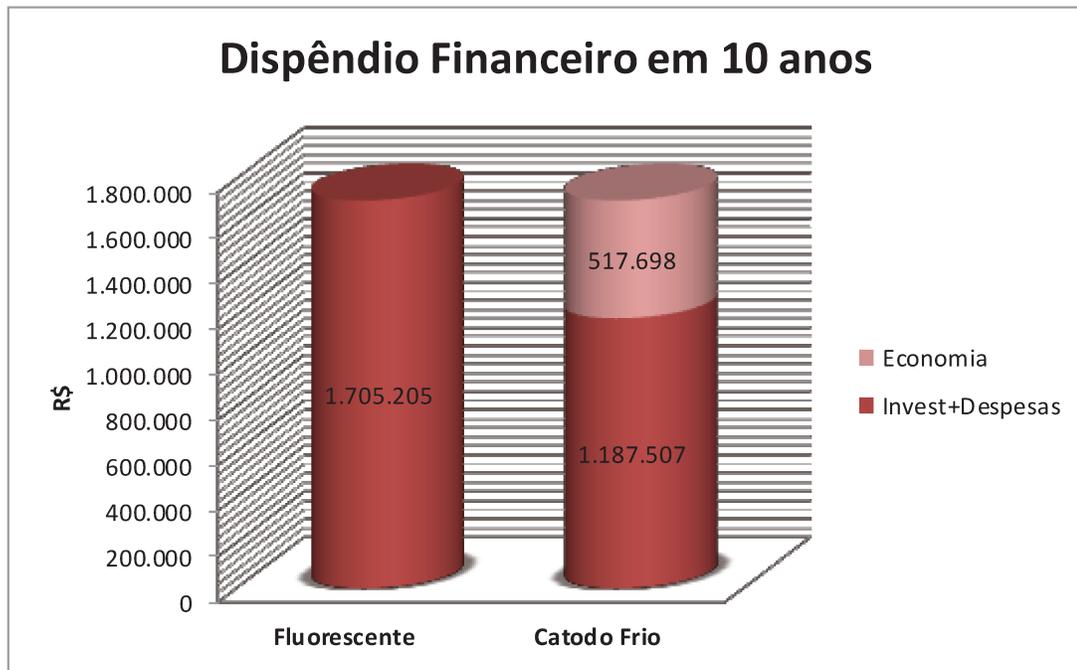


Figura 4-20. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T8, 36W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Tais ganhos econômicos só foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 2300Lm/m em duas linhas paralelas de lâmpadas no catodo frio, ou seja, a mesma emissão da lâmpada T8, de 36W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, pode-se considerar que é possível a realização de retrofit pelo catodo frio nas aplicações com lâmpadas T8, de 36W, e assim, atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T8, 36W, 3000K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em apenas um trimestre, e TIR elevadíssima de 182,87% para 10 anos do investimento, ou ainda, 182,93% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-20. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 1150 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
4	25	TL-D 90 De Luxe 36W/930	T8	2.307	-	-	-	-	-	-	-
4	42	#7	LCF	2.400	1	Não	10,77	25,71	4,8	Viável	100 Lm maior
4	41	#7	LCF	2.700	1	Não	N/A	19,49	5,9	Viável	400 Lm maior
4	40	#7	LCF	1.600	1	Não	53,54	57,14	2,4	Viável	700 Lm menor
4	39	#7	LCF	1.800	1	Sim	44,78	50,17	2,3	Viável	500 Lm menor
4	38	#7	LCF	1.150	2	Não	24,48	34,30	3,5	Viável	Lm equivalente
4	38	#7	LCF	1.150	1	Não	120,49	120,82	0,3	Viável	1150 Lm menor
4	38	#7	LCF	1.150	1	Não	74,88	76,57	0,9	Viável	1150 Lm menor
4	38	#7	LCF	1.150	1	Sim	182,87	182,93	0,3	Viável	1150 Lm menor
4	37	#7	LCF	1.300	2	Não	1,68	20,92	5,6	Viável	300 Lm maior
4	37	#7	LCF	1.300	1	Não	51,90	55,77	2,2	Viável	1000 Lm menor
4	37	#7	LCF	1.300	1	Não	87,93	88,96	0,6	Viável	1000 Lm menor
4	37	#7	LCF	1.300	1	Sim	99,80	100,58	0,8	Viável	1000 Lm menor

Tabela 4-20. Resultados dos comparativos entre T8, 36W, 3000K e catodo frio.

4.5. COMPARATIVO 5 – Lâmpada T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
5	35	TL-D 36W/830 WW G13	T8	26	2.678	83	3.000		-	-
5	42	#7	LCF	20	2.400	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Não
5	41	#7	LCF	18	2.700	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Não
5	40	#7	LCF	20	1.600	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Sim
5	39	#7	LCF	15	1.800	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Sim
5	39	#7	LCF	15	1.800	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Não
5	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Não
5	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Não
5	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Sim
5	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	2	Não
5	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Não
5	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Não
5	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Sim

Tabela 4-21. Comparativo 5: lâmpadas T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 3000K.

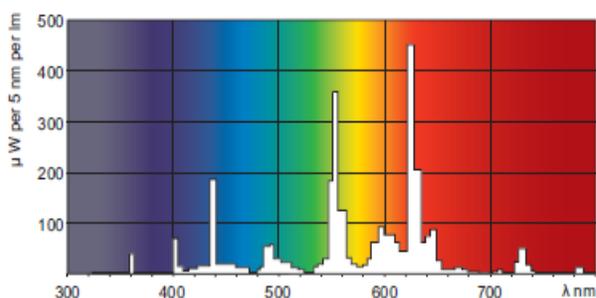


Figura 4-21. Distribuição Espectral de Energia Master TL-D 36W/830
Fonte: PHILIPS (2012)

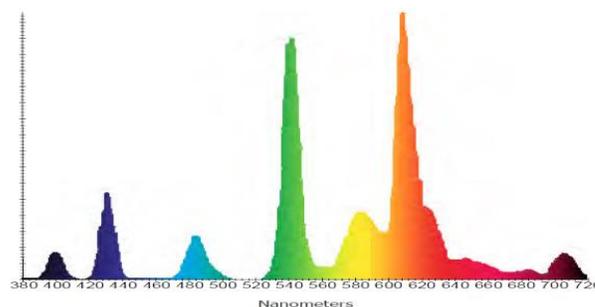


Figura 4-22. Distribuição Espectral de Energia #7 – 3000K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-21, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL-D 36W/830, denominada pelo Código 35 é de 2678 Lm/m. Para a mesma temperatura de cor e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #7 – 3000K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-1, pelos códigos 42, 41, 40, 39, 38 e 37 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm,

considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP, EB3-2120-HP e EB3-5060-HP); ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes), ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T8 de 36W, com maior fluxo luminoso.

No catodo frio, para o Código 39, o fluxo luminoso é de 1800 Lm/m, com tubo de 15 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-2120-HP, com apenas uma linha de lâmpadas para atingir este fluxo luminoso. Mesmo com redução de cerca de 900 Lm/m, esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 900 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #7, código 39, com a lâmpada fluorescente T8, 36W, 3000K, código 35 – conforme demonstrado na tabela 4-22. Esta comparação considera ainda apenas uma linha de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compara-tivo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
5	35	TL-D 36W/830 WW G13	T8	26	2.678	83	3.000		-	-
5	39	#7	LCF	15	1.800	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Não

Tabela 4-22. Dados para o comparativo entre T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio, com redução de 900Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente	Catodo Frio
	Código 35 Família TL-D Lifemax Super 80 Produto TL-D 36W/830 WW G13	
Dimmer <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/> Código	Reator	Conversor
Família	74	94
Produto	Eco Master	Electronic Converters
Quantidade lâmpada por reator	EL 2X40W TL-T 127V 50/60HZ HPF	EB3-2120-HP
Vida Útil da Lâmpada (horas):	2	2
Com Dimmer - Mais eficiente <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/> Tipo	10.000 horas	100.000 horas
Sem Dimmer - Menos eficiente <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> LSF HF	2.000 horas	100.000 horas
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)	40.000 horas	100.000 horas
Lâmpadas:		
Quantidade de uso por dia (horas) <input type="checkbox"/> 12 horas/dia	167 dias	8.333 dias
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="checkbox"/> 365 dias/ano	0,46 anos	22,83 anos
Reatores/ Conversores Eletrônicos:		
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="checkbox"/> 365 dias/ano	9,13 anos	22,83 anos
Consumo do conjunto (W)	36 W	95 W
Comprimento lâmpada (mm)	1.214 mm	1.800 mm
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente	-	1 linha(s) paralela(s)
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)	-	1.000 m
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)	10%	-
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	916 pçs	556 pçs
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	278 pçs
Consumo:		
kWh - consumido pelo sistema	33 kWh	26 kWh
kWh mês - considerado 12 horas/dia <input type="checkbox"/> 30 dias	11.866 kWh	9.508 kWh
kWh ano - considerado 365 dias/ano <input type="checkbox"/> 365 dias	144.364 kWh	115.676 kWh
Custo kWh <input type="checkbox"/> R\$ 0,47		
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)	R\$ 5.576,80	R\$ 4.468,57
Custo energia elétrica total - anual (R\$)	R\$ 67.851,02	R\$ 54.367,63
Diferença custo de energia anual (R\$)	-	-R\$ 13.483,40
Diferença custo de energia anual (%)		-20%
Investimento:		
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	916 pçs	-
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)	458 pçs	-
Custo por lâmpada (R\$)	R\$ 7,93	-
Custo por reator eletrônico (R\$)	R\$ 29,12	-
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)	-	1.000 m
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	278 pçs
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)	-	R\$ 70,00
Custo por conversor eletrônico	-	R\$ 380,00
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)	R\$ 7.255,73	R\$ 70.000,00
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)	R\$ 13.330,71	R\$ 105.640,00
Investimento Inicial ^(B)	R\$ 20.586,44	R\$ 175.640,00
Diferença investimento inicial (R\$)	-	R\$ 62.744,27
Diferença investimento inicial (%)	-	965%
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)	R\$ 15.962,61	-
Correção monetária anual - atualização despesas previstas	5%	5%
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)	R\$ 0,00	R\$ 0,00

^(A) Lâmpada Fluorescente TL-D 36W/830 WW G13 com 1213,6 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-23. Melhor resultado para o comparativo entre T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio

A seguir, na tabela 4-24, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL-D 36W/830 WW G13	Catodo Frio #7	Diferença	
Inv	-R\$ 88.437,46	-R\$ 230.007,63	-R\$ 141.570,16	
ano 1	-R\$ 95.622,83	-R\$ 57.086,01	-R\$ 103.033,34	
ano 2	-R\$ 100.403,97	-R\$ 59.940,31	-R\$ 62.569,68	
ano 3	-R\$ 105.424,17	-R\$ 62.937,32	-R\$ 20.082,83	
ano 4	-R\$ 110.695,38	-R\$ 66.084,19	R\$ 24.528,36	Payback!
ano 5	-R\$ 116.230,15	-R\$ 69.388,40	R\$ 71.370,11	+
ano 6	-R\$ 122.041,66	-R\$ 72.857,82	R\$ 120.553,94	+
ano 7	-R\$ 128.143,74	-R\$ 76.500,71	R\$ 172.196,97	+
ano 8	-R\$ 134.550,92	-R\$ 80.325,74	R\$ 226.422,15	+
ano 9	-R\$ 141.278,47	-R\$ 84.342,03	R\$ 283.358,59	+
(i) ano 10	-R\$ 170.056,71	-R\$ 88.559,13	R\$ 364.856,17	+
ano 11	-R\$ 155.759,51	-R\$ 92.987,09	R\$ 427.628,60	+
ano 12	-R\$ 163.547,49	-R\$ 97.636,45	R\$ 493.539,64	+
ano 13	-R\$ 171.724,86	-R\$ 102.518,27	R\$ 562.746,24	+
ano 14	-R\$ 180.311,11	-R\$ 107.644,18	R\$ 635.413,16	+
ano 15	-R\$ 189.326,66	-R\$ 113.026,39	R\$ 711.713,44	+
ano 16	-R\$ 198.793,00	-R\$ 118.677,71	R\$ 791.828,72	+
ano 17	-R\$ 208.732,65	-R\$ 124.611,59	R\$ 875.949,78	+
ano 18	-R\$ 219.169,28	-R\$ 130.842,17	R\$ 964.276,88	+
ano 19	-R\$ 230.127,74	-R\$ 137.384,28	R\$ 1.057.020,34	+
ano 20	-R\$ 277.004,47	-R\$ 144.253,50	R\$ 1.189.771,31	+
ano 21	-R\$ 253.715,84	-R\$ 151.466,17	R\$ 1.292.020,97	+
(ii) ano 22	-R\$ 266.401,63	-R\$ 159.039,48	R\$ 1.399.383,12	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 534.535,21	R\$ 281.913,57	R\$ 12.938,41
TIR =	20,78%	20,78%	20,78%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 4.975.539,59	R\$ 2.305.005,93	R\$ 510.208,33
TIR =	31,87%	31,87%	31,87%

Tabela 4-24. Investimento, fluxo de caixa e payback entre T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou

agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-24, o *retrofit* se demonstra economicamente viável, com TIR favorável em 20,78%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou ainda 31,87%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T8 de 36W (maior fluxo luminoso), durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-23 apresenta *payback* de 3,9 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

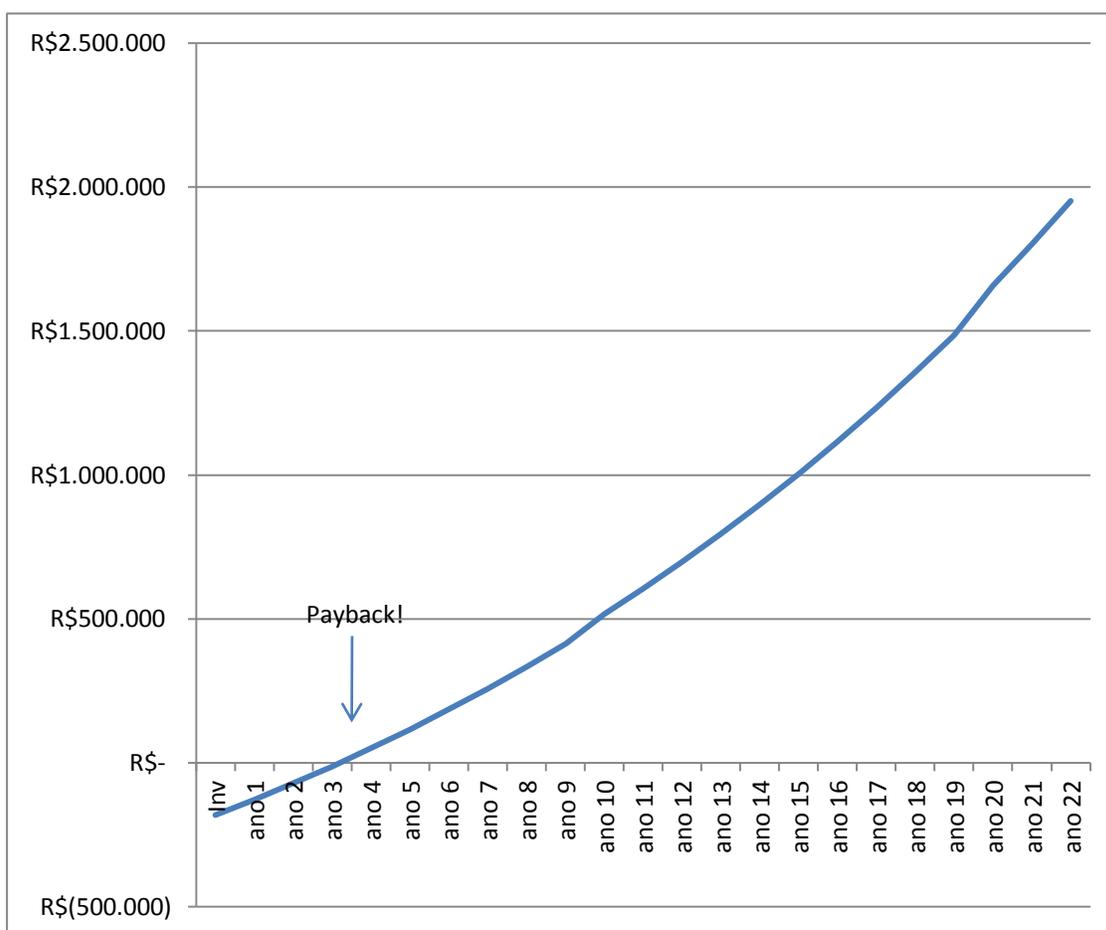


Figura 4-23. *Payback* entre lâmpadas T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-22 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (965%) e menor consumo de energia elétrica (20%) para esta aplicação, quando

comparado à lâmpada fluorescente T8 de 36W (maior fluxo luminoso), conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)				
	Fluorescente	Catodo Frio		
Período	Consumo	Consumo	Economia	%
Anual	144.364 kWh	115.676 kWh	28.688 kWh	-20%

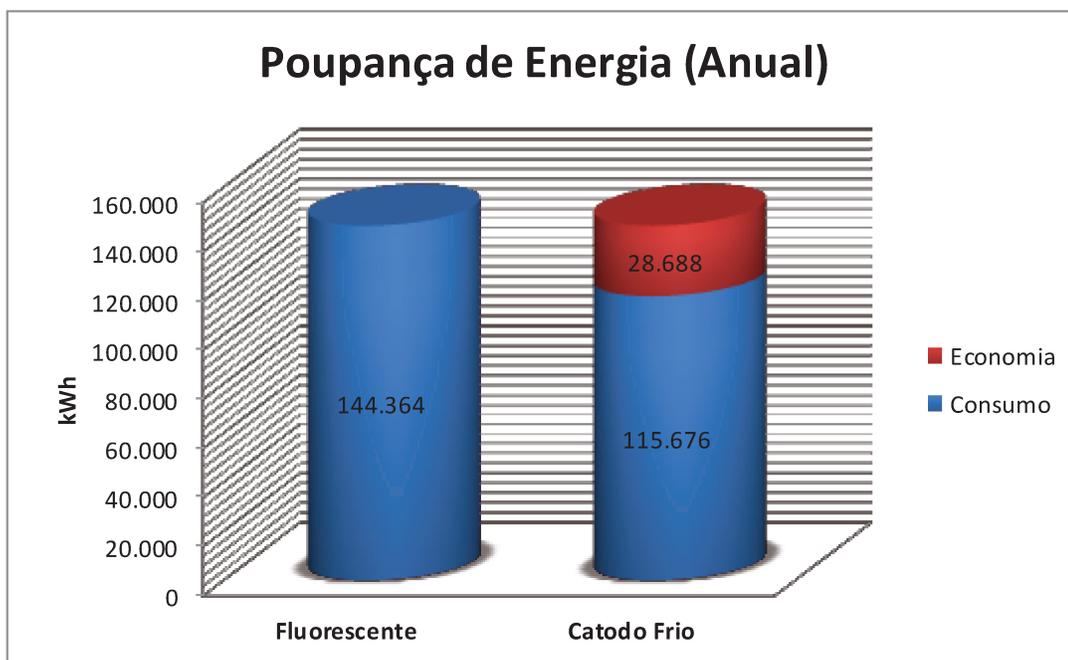


Figura 4-24. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares com reatores eletrônicos dimerizáveis (mais eficientes), mesmo assim, apresentam manutenções a cada 2,3 anos. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 28% em 10 anos, ou ainda, economia de 37% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-25.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 1.312.885,46	R\$ 948.029,29	R\$ 364.856,17	-28%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 3.827.499,70	R\$ 2.428.116,58	R\$ 1.399.383,12	-37%

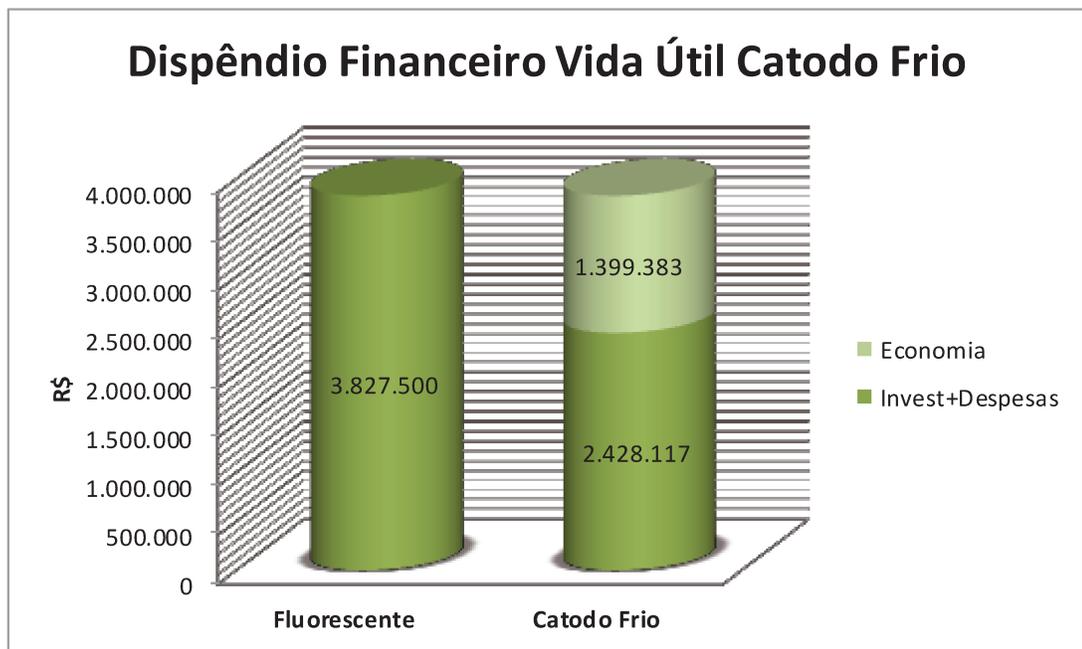
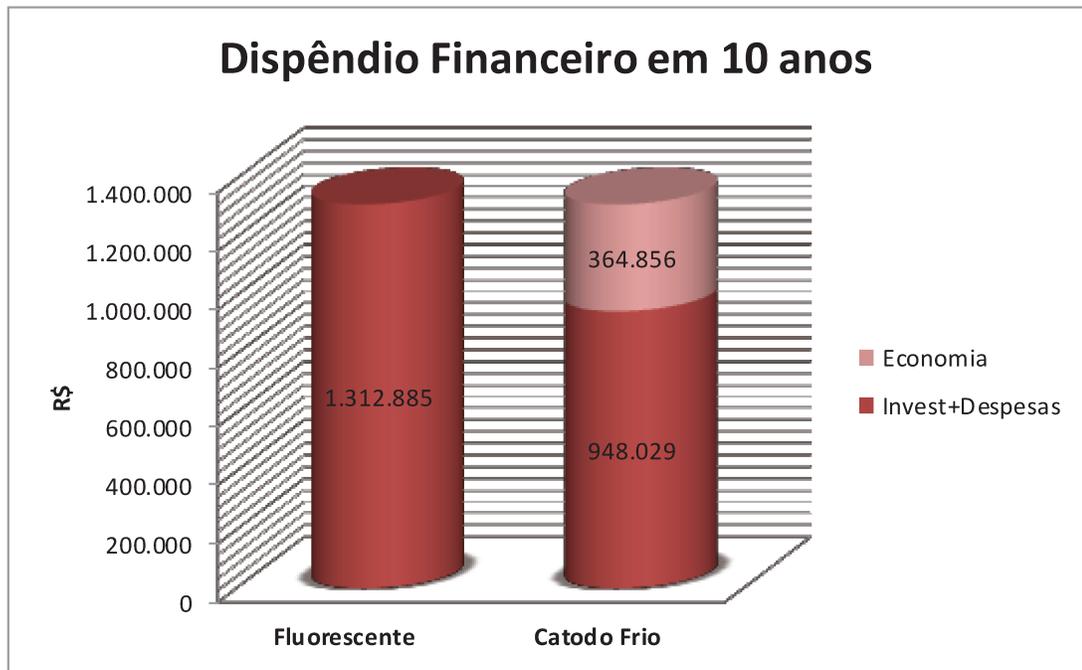


Figura 4-25. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Tais ganhos econômicos foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 1800Lm/m no catodo frio, cerca de 900 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T8, de 36W (maior fluxo luminoso) comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 1 ano, e elevadíssima de TIR de 108,48% para 10 anos do investimento, ou ainda, 109,07% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-25. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 1500 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dímer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
5	35	TL-D 36W/830 WW G13	T8	2.678	-	-	-	-	-	-	-
5	42	#7	LCF	2.400	1	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
5	41	#7	LCF	2.700	1	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
5	40	#7	LCF	1.600	1	Sim	14,21	28,82	4,6	Viável	1100 Lm menor
5	39	#7	LCF	1.800	1	Sim	14,21	28,82	4,6	Viável	900 Lm menor
5	39	#7	LCF	1.800	1	Não	20,78	31,87	3,9	Viável	900 Lm menor
5	38	#7	LCF	1.150	1	Não	47,14	51,75	2,8	Viável	1500 Lm menor
5	38	#7	LCF	1.150	1	Não	71,76	73,62	1,0	Viável	1500 Lm menor
5	38	#7	LCF	1.150	1	Sim	108,48	109,07	1,0	Viável	1500 Lm menor
5	37	#7	LCF	1.300	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
5	37	#7	LCF	1.300	1	Não	27,43	36,46	3,2	Viável	1380 Lm menor
5	37	#7	LCF	1.300	1	Não	49,44	53,62	2,4	Viável	1380 Lm menor
5	37	#7	LCF	1.300	1	Sim	58,93	62,30	2,5	Viável	1380 Lm menor

Tabela 4-25. Resultados dos comparativos entre T8, 36W (maior fluxo luminoso), 3000K e catodo frio.

4.6. COMPARATIVO 6 – Lâmpada T8, 58W, 3000K

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
6	28	TL-D 90 De Luxe 58W/930	T8	26	2.873	91	3.000		-	-
6	42	#7	LCF	20	2.400	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Não
6	41	#7	LCF	18	2.700	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Não
6	40	#7	LCF	20	1.600	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Não
6	40	#7	LCF	20	1.600	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Não
6	40	#7	LCF	20	1.600	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Sim
6	39	#7	LCF	15	1.800	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Não
6	39	#7	LCF	15	1.800	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Não
6	39	#7	LCF	15	1.800	85	3.000	EB3-2120-HP	1	Sim
6	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	2	Não
6	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Não
6	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Não
6	38	#7	LCF	20	1.150	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Sim
6	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	2	Não
6	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Não
6	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Não
6	37	#7	LCF	15	1.300	85	3.000	EB3-5060-HP	1	Sim

Tabela 4-26. Comparativo 6: lâmpadas T8, 58W, 3000K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 3000K.

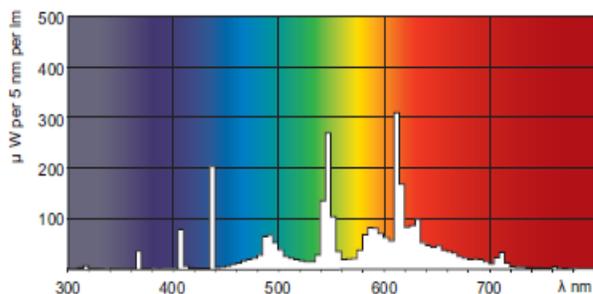


Figura 4-26. Distribuição Espectral de Energia Master TL-D 90 De Luxe 58W/930
Fonte: PHILIPS (2012)

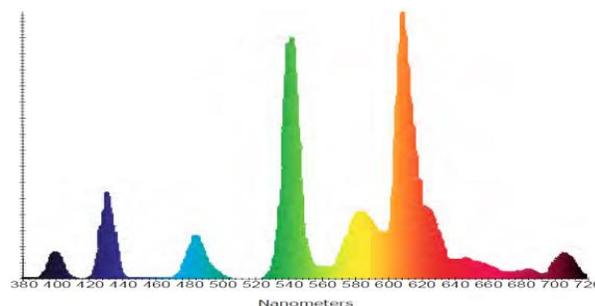


Figura 4-27. Distribuição Espectral de Energia #7 – 3000K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-26, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL-D 90 De Luxe 58W/930, denominada pelo Código 28 é de 2873 Lm/m e IRC de 91. Para a mesma temperatura de cor e IRC 85, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #7 – 3000K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do

vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-1, pelos códigos 42, 41, 40, 39, 38 e 37 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm, considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP, EB3-2120-HP e EB3-5060-HP); ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes), ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T8 de 58W.

No catodo frio, para o Código 41, o fluxo luminoso é de 2700 Lm/m para apenas uma linha de lâmpadas, com tubo de 18 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-9180-HP, ou seja, há uma redução de cerca de 170 Lm/m. Esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 170 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #7, código 41, com a lâmpada fluorescente T8, 58W, 3000K, código 28 – conforme demonstrado na tabela 4-27. Esta comparação considera duas linhas paralelas de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
6	28	TL-D 90 De Luxe 58W/930	T8	26	2.873	91	3.000		-	-
6	41	#7	LCF	18	2.700	85	3.000	EB3-9180-HP	1	Não

Tabela 4-27. Dados para o comparativo entre T8, 58W, 3000K e catodo frio, com redução de 570Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente		Catodo Frio	
	Código	28	41	
Família	Master TL-D 90 De Luxe		Tecnolux LCF	
Produto	TL-D 90 De Luxe 58W/930		#7	
	Reator		Conversor	
Dimmer	não	72	96	
Código	Eco Master	EL 2X55/58/65 TL-D/T 220V 50/60HZ HPF	Electronic Converters	
Família			EB3-9180-HP	
Produto		2	1	
Quantidade lâmpada por reator				
Vida Útil da Lâmpada (horas):				
Com Dimmer - Mais eficiente	não	8.000 horas	100.000 horas	
Sem Dimmer - Menos eficiente	sim	2.000 horas	100.000 horas	
Quantidade lâmpada por reator		40.000 horas	100.000 horas	
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)				
Lâmpadas:				
Quantidade de uso por dia (horas)	12 horas/dia	167 dias	8.333 dias	
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	0,46 anos	22,83 anos	
Reatores/ Conversores Eletrônicos:				
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	9,13 anos	22,83 anos	
Consumo do conjunto (W)		58 W	95 W	
Comprimento lâmpada (mm)		1.514 mm	2.300 mm	
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente		-	1 linha(s) paralela(s)	
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)			1.000 m	
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)				
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		10%	-	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		734 pçs	435 pçs	
		-	435 pçs	
Consumo:				
kWh - consumido pelo sistema		43 kWh	41 kWh	
kWh mês - considerado 12 horas/dia	30 dias	15.322 kWh	14.877 kWh	
kWh ano - considerado 365 dias/ano	365 dias	186.413 kWh	181.004 kWh	
Custo kWh	R\$ 0,47			
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)		R\$ 7.201,16	R\$ 6.992,19	
Custo energia elétrica total - anual (R\$)		R\$ 87.614,14	R\$ 85.071,65	
Diferença custo de energia anual (R\$)		-	-R\$ 2.542,50	
Diferença custo de energia anual (%)			-3%	
Investimento:				
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		734 pçs	-	
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)		367 pçs	-	
Custo por lâmpada (R\$)		R\$ 18,82	-	
Custo por reator eletrônico (R\$)		R\$ 54,11	-	
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)		-	1.000 m	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		-	435 pçs	
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)		-	R\$ 70,00	
Custo por conversor eletrônico		-	R\$ 380,00	
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)		R\$ 13.810,01	R\$ 70.000,00	
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)		R\$ 19.851,94	R\$ 165.300,00	
Investimento Inicial ^(B)		R\$ 33.661,95	R\$ 235.300,00	
Diferença investimento inicial (R\$)		-	R\$ 56.189,99	
Diferença investimento inicial (%)		-	507%	
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)		R\$ 30.382,01	-	
Correção monetária anual - atualização despesas previstas		5%	5%	
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)		R\$ 0,00	R\$ 0,00	

^(A) Lâmpada Fluorescente TL-D 90 De Luxe 58W/930 com 1514,2 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-28. Melhor resultado para o comparativo entre T8, 58W, 3000K e catodo frio, com redução de 170 Lm/m.

A seguir, na tabela 4-29, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL-D 90 De Luxe 58W/930	Catodo Frio #7	Diferença	
Inv	-R\$ 121.276,09	-R\$ 320.371,65	-R\$ 199.095,55	
ano 1	-R\$ 138.396,47	-R\$ 89.325,23	-R\$ 150.024,31	
ano 2	-R\$ 145.316,29	-R\$ 93.791,49	-R\$ 98.499,51	
ano 3	-R\$ 152.582,11	-R\$ 98.481,06	-R\$ 44.398,46	
ano 4	-R\$ 160.211,21	-R\$ 103.405,12	R\$ 12.407,63	Payback!
ano 5	-R\$ 168.221,77	-R\$ 108.575,37	R\$ 72.054,03	+
ano 6	-R\$ 176.632,86	-R\$ 114.004,14	R\$ 134.682,76	+
ano 7	-R\$ 185.464,50	-R\$ 119.704,35	R\$ 200.442,91	+
ano 8	-R\$ 194.737,73	-R\$ 125.689,57	R\$ 269.491,08	+
ano 9	-R\$ 204.474,62	-R\$ 131.974,04	R\$ 341.991,65	+
(i) ano 10	-R\$ 247.035,07	-R\$ 138.572,75	R\$ 450.453,98	+
ano 11	-R\$ 225.433,26	-R\$ 145.501,38	R\$ 530.385,86	+
ano 12	-R\$ 236.704,93	-R\$ 152.776,45	R\$ 614.314,34	+
ano 13	-R\$ 248.540,17	-R\$ 160.415,27	R\$ 702.439,24	+
ano 14	-R\$ 260.967,18	-R\$ 168.436,04	R\$ 794.970,38	+
ano 15	-R\$ 274.015,54	-R\$ 176.857,84	R\$ 892.128,08	+
ano 16	-R\$ 287.716,32	-R\$ 185.700,73	R\$ 994.143,67	+
ano 17	-R\$ 302.102,14	-R\$ 194.985,77	R\$ 1.101.260,04	+
ano 18	-R\$ 317.207,24	-R\$ 204.735,06	R\$ 1.213.732,22	+
ano 19	-R\$ 333.067,60	-R\$ 214.971,81	R\$ 1.331.828,02	+
ano 20	-R\$ 402.394,10	-R\$ 225.720,40	R\$ 1.508.501,72	+
ano 21	-R\$ 367.207,03	-R\$ 237.006,42	R\$ 1.638.702,33	+
(ii) ano 22	-R\$ 385.567,39	-R\$ 248.856,74	R\$ 1.775.412,98	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 519.339,23	R\$ 226.282,15	-R\$ 80.520,24
TIR =	16,43%	16,43%	16,43%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 6.105.627,50	R\$ 2.768.367,45	R\$ 543.049,41
TIR =	29,13%	29,13%	29,13%

Figura 4-29. Investimento, fluxo de caixa e payback entre T8, 58W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou

agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-29, o *retrofit* se demonstra economicamente viável, com TIR bastante favorável em 16,43%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou ainda 29,13%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T8 de 58W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-28 apresenta *payback* de 4,2 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

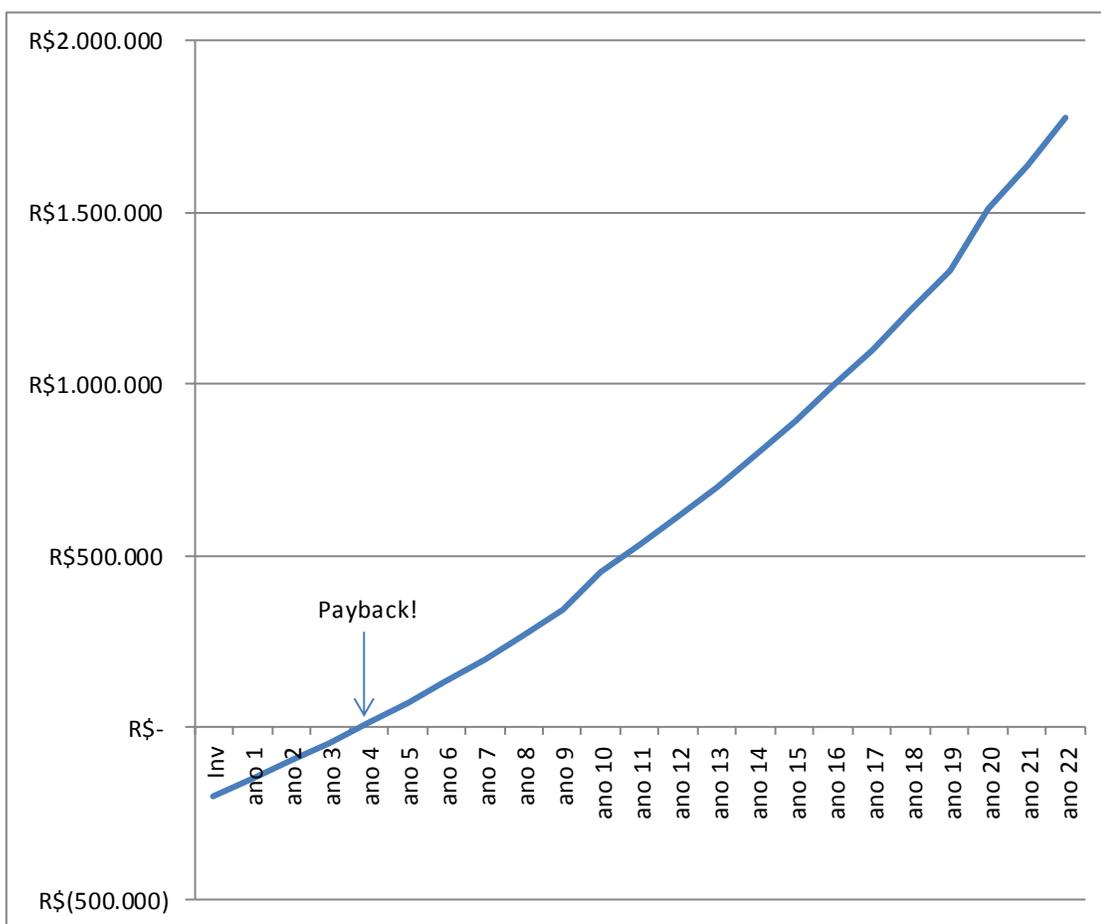


Figura 4-28. *Payback* entre lâmpadas T8, 58W, 3000K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-27 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (507%) e menor consumo de energia elétrica (3%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T8 de 58W, conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)				
	Fluorescente	Catodo Frio		
Período	Consumo	Consumo	Economia	%
Anual	186.413 kWh	181.004 kWh	5.410 kWh	-3%

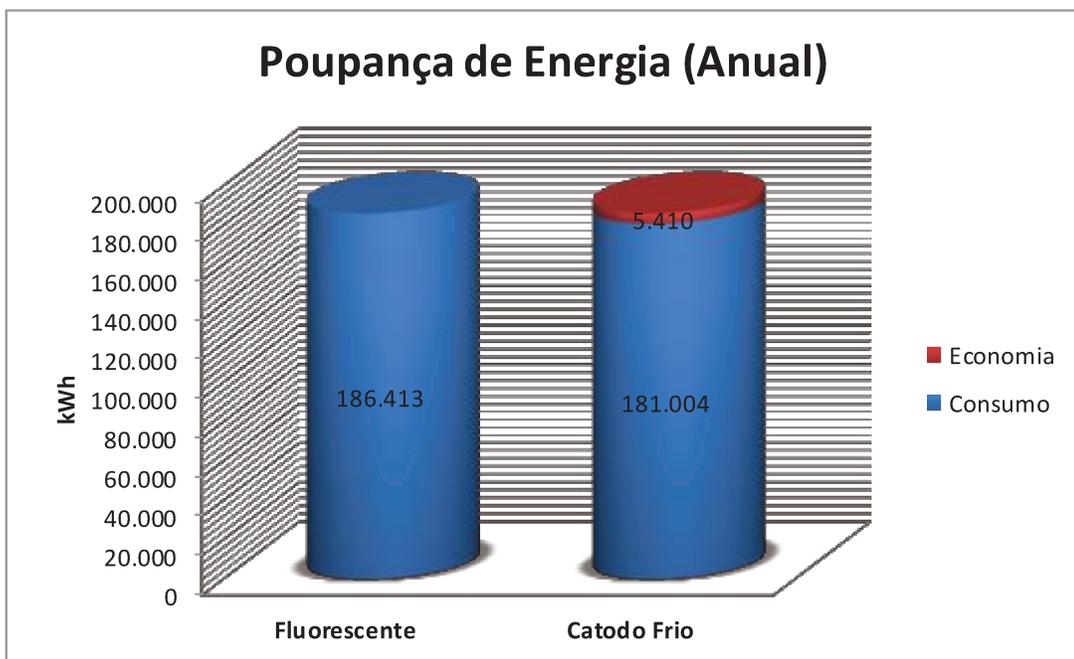


Figura 4-29. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 58W, 3000K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 24% em 10 anos, ou ainda, economia de 32% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-30.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 1.894.348,73	R\$ 1.443.894,75	R\$ 450.453,98	-24%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 5.535.271,65	R\$ 3.759.858,67	R\$ 1.775.412,98	-32%

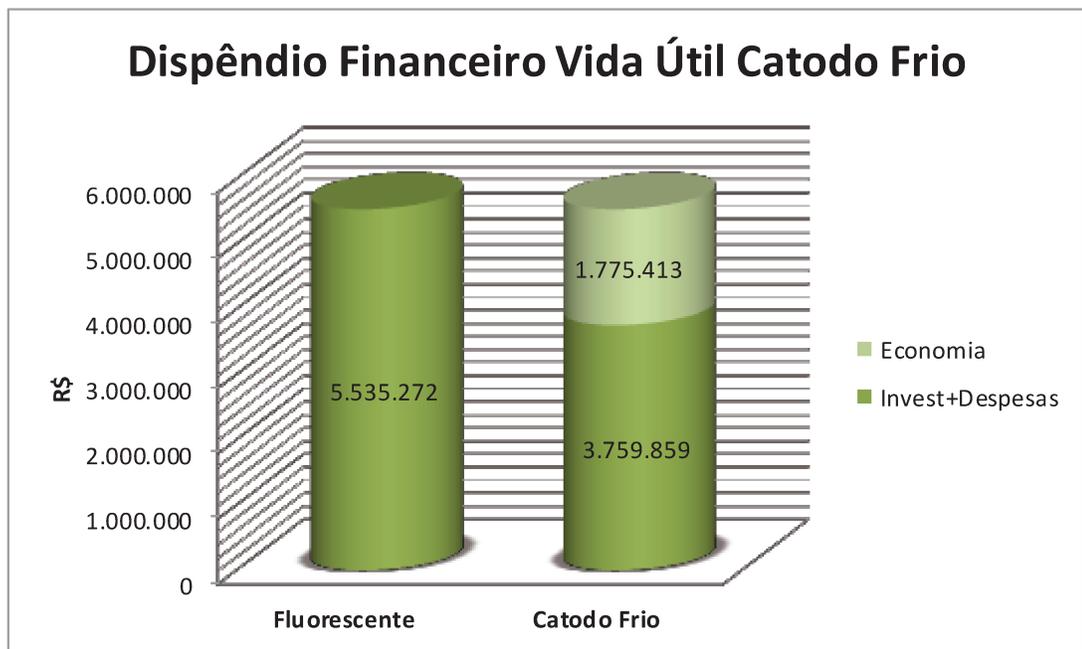
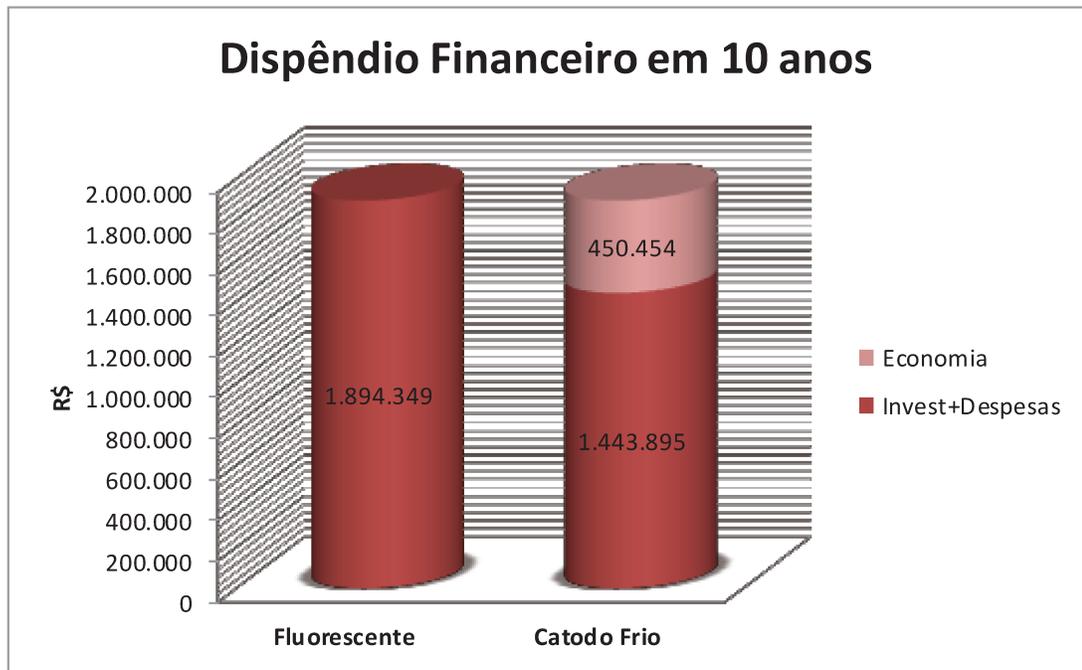


Figura 4-30. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T8, 58W, 3000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Tais ganhos econômicos só foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 2300 Lm/m em apenas uma linha de lâmpadas no catodo frio, cerca de 170 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T8, de 58W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T8, 58W, 3000K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 1 ano, e TIR elevadíssima de 287,11% para 10 anos do investimento, ou ainda, 287,12% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-30. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 1700 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
6	28	TL-D 90 De Luxe 58W/930	T8	2.873	-	-	-	-	-	-	-
6	42	#7	LCF	2.400	1	Não	27,31	36,32	3,4	Viável	470 Lm menor
6	41	#7	LCF	2.700	1	Não	16,43	29,13	4,2	Viável	170 Lm menor
6	40	#7	LCF	1.600	1	Não	50,41	54,51	2,2	Viável	1200 Lm menor
6	40	#7	LCF	1.600	1	Não	78,38	79,84	1,8	Viável	1200 Lm menor
6	40	#7	LCF	1.600	1	Sim	70,33	72,43	1,9	Viável	1200 Lm menor
6	39	#7	LCF	1.800	1	Não	50,41	54,51	2,2	Viável	1000 Lm menor
6	39	#7	LCF	1.800	1	Não	78,38	79,84	1,9	Viável	1000 Lm menor
6	39	#7	LCF	1.800	1	Sim	70,33	72,43	1,9	Viável	1000 Lm menor
6	38	#7	LCF	1.150	2	Não	41,26	46,87	2,8	Viável	570 Lm menor
6	38	#7	LCF	1.150	1	Não	134,99	135,21	1,3	Viável	1700 Lm menor
6	38	#7	LCF	1.150	1	Não	194,72	194,76	1,0	Viável	1700 Lm menor
6	38	#7	LCF	1.150	1	Sim	287,11	287,12	1,0	Viável	1700 Lm menor
6	37	#7	LCF	1.300	2	Não	18,56	30,45	4,1	Viável	270 Lm menor
6	37	#7	LCF	1.300	1	Não	91,05	92,00	1,8	Viável	1500 Lm menor
6	37	#7	LCF	1.300	1	Não	131,84	132,07	1,2	Viável	1500 Lm menor
6	37	#7	LCF	1.300	1	Sim	146,20	146,36	1,2	Viável	1500 Lm menor

Tabela 4-30. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T8, 58W, 3000K e catodo frio.

4.7. COMPARATIVO 7 – Lâmpada T5, 28W, 4000K

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
7	4	TL5 HE Eco 25=28W/840	T5	16	2.493	85	4.000		-	-
7	18	TL5 ESS 28W/840	T5	16	2.493	82	4.000		-	-
7	48	#25 B	LCF	20	2.100	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não
7	47	#25 B	LCF	18	2.325	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não
7	46	#25 B	LCF	20	1.400	85	4.500	EB3-2120-HP	2	Não
7	46	#25 B	LCF	20	1.400	85	4.500	EB3-2120-HP	1	Não
7	45	#25 B	LCF	15	1.550	85	4.500	EB3-2120-HP	1	Não
7	44	#25 B	LCF	20	1.000	85	4.500	EB3-5060-HP	2	Não
7	44	#25 B	LCF	20	1.000	85	4.500	EB3-5060-HP	1	Não
7	43	#25 B	LCF	15	1.150	85	4.500	EB3-5060-HP	2	Não
7	43	#25 B	LCF	15	1.150	85	4.500	EB3-5060-HP	1	Não
7	43	#25 B	LCF	15	1.150	85	4.500	EB3-5060-HP	1	Sim

Tabela 4-31. Comparativo 7: lâmpadas T5, 28W, 4000K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 4000K.

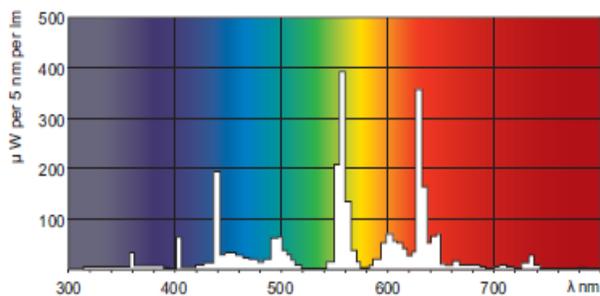


Figura 4-31. Distribuição Espectral de Energia Master TL5 High Efficiency Eco 25=28W/840
Fonte: PHILIPS (2012)

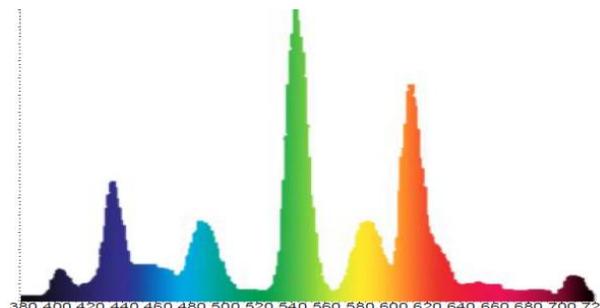


Figura 4-32. Distribuição Espectral de Energia #25 B – 4500K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-31, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL5 HE Eco 25=28W/840, denominada pelo Código 4 e pela lâmpada fluorescente TL5 ESS 28W/840, Código 18, é de 2493 Lm/m. Para temperatura de cor próxima e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #25 B – 4500K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-31, pelos códigos 48, 47, 46, 45, 44 e 43 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm, considerando o uso de

diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP, EB3-2120-HP e EB3-5060-HP); ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes), ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T5 de 28W.

No catodo frio, para o Código 44, o fluxo luminoso é de 1000 Lm/m, com tubo de 20 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-5060-HP, com apenas uma linha de lâmpadas para atingir este fluxo luminoso. Em duas linhas paralelas de lâmpadas de catodo frio essa emissão luminosa dobra, chegando a 200 Lm/m. Mesmo com redução de cerca de 490 Lm/m, esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 940 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #25 B, código 44, com a lâmpada fluorescente T5, 28W, 4000K, código 4 – conforme demonstrado na tabela 4-32. Esta comparação considera duas linhas de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compara- rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
7	4	TL5 HE Eco 25=28W/840	T5	16	2.493	85	4.000		-	-
7	44	#25 B	LCF	20	1.000	85	4.500	EB3-5060-HP	2	Não

Tabela 4-32. Dados para o comparativo entre T5, 28W, 4000K e catodo frio, com redução de 490 Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente	Catodo Frio
	Código 4 Família Master TL5 High Efficiency Eco Produto TL5 HE Eco 25=28W/840	
Dimmer <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/> Código	Reator	Conversor
Família	62	93
Produto	Basic T5	Electronic Converters
Quantidade lâmpada por reator	EL 2X28W TL5 220V 50/60HZ HPF	EB3-5060-HP
Vida Útil da Lâmpada (horas):	2	3
Com Dimmer - Mais eficiente <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/> Tipo	16.000 horas	100.000 horas
Sem Dimmer - Menos eficiente <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> LSF HF	2.000 horas	100.000 horas
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)	40.000 horas	100.000 horas
Lâmpadas:		
Quantidade de uso por dia (horas) <input type="text"/> 12 horas/dia	167 dias	8.333 dias
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="text"/> 365 dias/ano	0,46 anos	22,83 anos
Reatores/ Conversores Eletrônicos:		
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="text"/> 365 dias/ano	9,13 anos	22,83 anos
Consumo do conjunto (W)	25 W	90 W
Comprimento lâmpada (mm)	1.163 mm	1.800 mm
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente	-	2 linha(s) paralela(s)
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)	-	1.000 m
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)	10%	-
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	955 pçs	1.111 pçs
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	371 pçs
Consumo:		
kWh - consumido pelo sistema	24 kWh	33 kWh
kWh mês - considerado 12 horas/dia <input type="text"/> 30 dias	8.597 kWh	12.020 kWh
kWh ano - considerado 365 dias/ano <input type="text"/> 365 dias	104.597 kWh	146.248 kWh
Custo kWh <input type="text"/> R\$ 0,47		
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)	R\$ 4.040,58	R\$ 5.649,59
Custo energia elétrica total - anual (R\$)	R\$ 49.160,36	R\$ 68.736,65
Diferença custo de energia anual (R\$)	-	R\$ 19.576,29
Diferença custo de energia anual (%)		40%
Investimento:		
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	955 pçs	-
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)	478 pçs	-
Custo por lâmpada (R\$)	R\$ 15,91	-
Custo por reator eletrônico (R\$)	R\$ 35,55	-
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)	-	1.000 m
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	371 pçs
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)	-	R\$ 70,00
Custo por conversor eletrônico	-	R\$ 380,00
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)	R\$ 15.197,54	R\$ 70.000,00
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)	R\$ 16.980,62	R\$ 140.980,00
Investimento Inicial ^(B)	R\$ 32.178,15	R\$ 210.980,00
Diferença investimento inicial (R\$)	-	R\$ 54.802,46
Diferença investimento inicial (%)	-	461%
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)	R\$ 33.434,59	-
Correção monetária anual - atualização despesas previstas	5%	5%
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)	R\$ 0,00	R\$ 0,00

^(A) Lâmpada Fluorescente TL5 HE Eco 25=28W/840 com 1163,2 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-33. Resultado para o comparativo entre T5, 28W, 4000K e catodo frio, com redução de 490Lm/m.

A seguir, na tabela 4-34, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL5 HE Eco 25=28W/840	Catodo Frio #25 B	Diferença	
Inv	-R\$ 81.338,52	-R\$ 279.716,65	-R\$ 198.378,14	
ano 1	-R\$ 102.682,11	-R\$ 72.173,49	-R\$ 167.869,51	
ano 2	-R\$ 107.816,22	-R\$ 75.782,16	-R\$ 135.835,45	
ano 3	-R\$ 113.207,03	-R\$ 79.571,27	-R\$ 102.199,69	
ano 4	-R\$ 118.867,38	-R\$ 83.549,83	-R\$ 66.882,15	
ano 5	-R\$ 124.810,75	-R\$ 87.727,32	-R\$ 29.798,72	
ano 6	-R\$ 131.051,29	-R\$ 92.113,69	R\$ 9.138,88	Payback!
ano 7	-R\$ 137.603,85	-R\$ 96.719,37	R\$ 50.023,35	+
ano 8	-R\$ 144.484,04	-R\$ 101.555,34	R\$ 92.952,05	+
ano 9	-R\$ 151.708,25	-R\$ 106.633,11	R\$ 138.027,19	+
(i) ano 10	-R\$ 186.953,29	-R\$ 111.964,77	R\$ 213.015,71	+
ano 11	-R\$ 167.258,34	-R\$ 117.563,00	R\$ 262.711,05	+
ano 12	-R\$ 175.621,26	-R\$ 123.441,15	R\$ 314.891,15	+
ano 13	-R\$ 184.402,32	-R\$ 129.613,21	R\$ 369.680,26	+
ano 14	-R\$ 193.622,44	-R\$ 136.093,87	R\$ 427.208,83	+
ano 15	-R\$ 203.303,56	-R\$ 142.898,57	R\$ 487.613,82	+
ano 16	-R\$ 213.468,74	-R\$ 150.043,50	R\$ 551.039,06	+
ano 17	-R\$ 224.142,17	-R\$ 157.545,67	R\$ 617.635,57	+
ano 18	-R\$ 235.349,28	-R\$ 165.422,95	R\$ 687.561,89	+
ano 19	-R\$ 247.116,75	-R\$ 173.694,10	R\$ 760.984,54	+
ano 20	-R\$ 304.527,21	-R\$ 182.378,81	R\$ 883.132,95	+
ano 21	-R\$ 272.446,21	-R\$ 191.497,75	R\$ 964.081,41	+
(ii) ano 22	-R\$ 286.068,52	-R\$ 201.072,63	R\$ 1.049.077,30	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	-R\$ 323.086,18	-R\$ 389.360,55	-R\$ 436.179,78
TIR =	-4,44%	-4,44%	-4,44%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 2.798.501,53	R\$ 1.019.996,65	-R\$ 95.747,56
TIR =	18,20%	18,20%	18,20%

Tabela 4-34. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpadas T5, 28W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou

agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-34, o *retrofit* se demonstra economicamente inviável, com TIR desfavorável no período de 10 anos a partir do investimento inicial. Mas, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T5 de 28W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio, a TIR atinge 18,20%.

A seguir, a figura 4-33 apresenta *payback* de 6,2 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

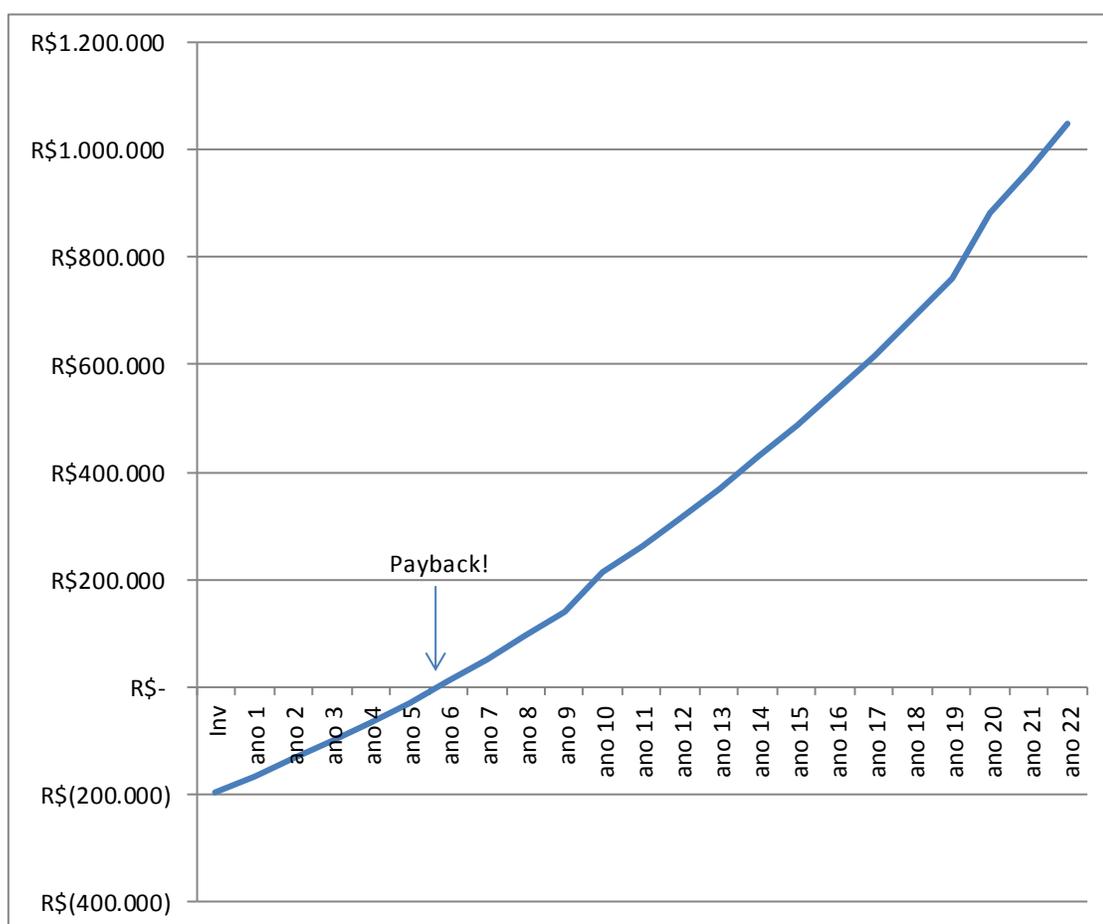


Figura 4-33. *Payback* entre lâmpadas T5, 28W, 4000K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-33 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (461%) e maior consumo de energia elétrica (40%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T5 de 28W, conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)			
	Fluorescente	Catodo Frio	
Período	Consumo	Consumo	Economia
Anual	104.597 kWh	146.248 kWh	-41.652 kWh
			40%

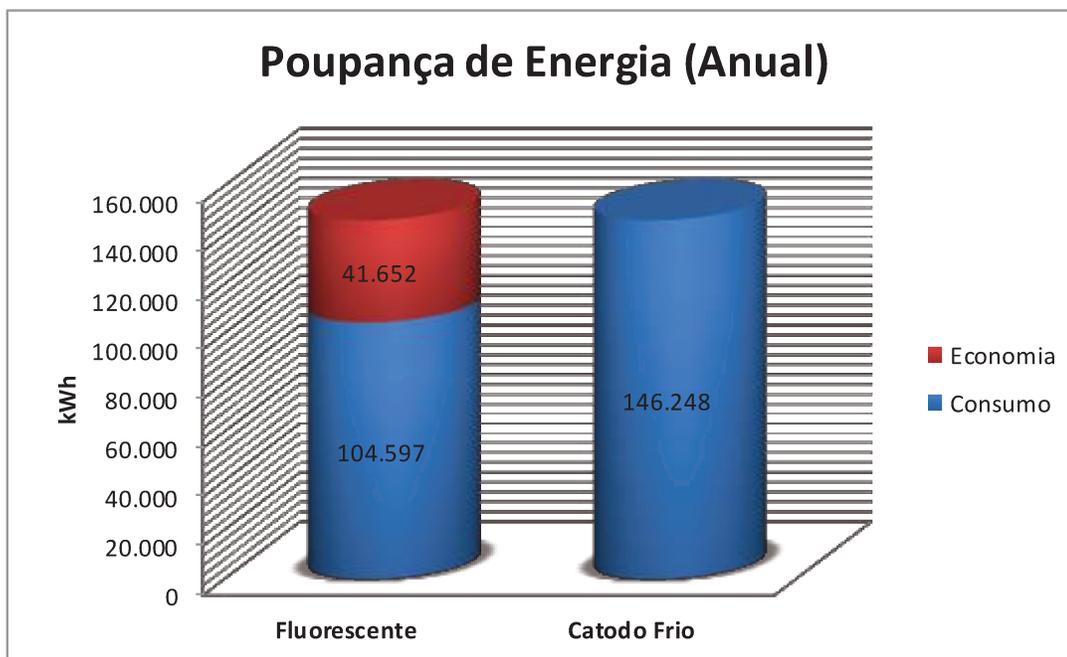


Figura 4-34. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 28W, 4000K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 15% em 10 anos, ou ainda, economia de 26% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-35.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 1.400.522,73	R\$ 1.187.507,01	R\$ 213.015,71	-15%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 4.107.849,54	R\$ 3.058.772,23	R\$ 1.049.077,30	-26%

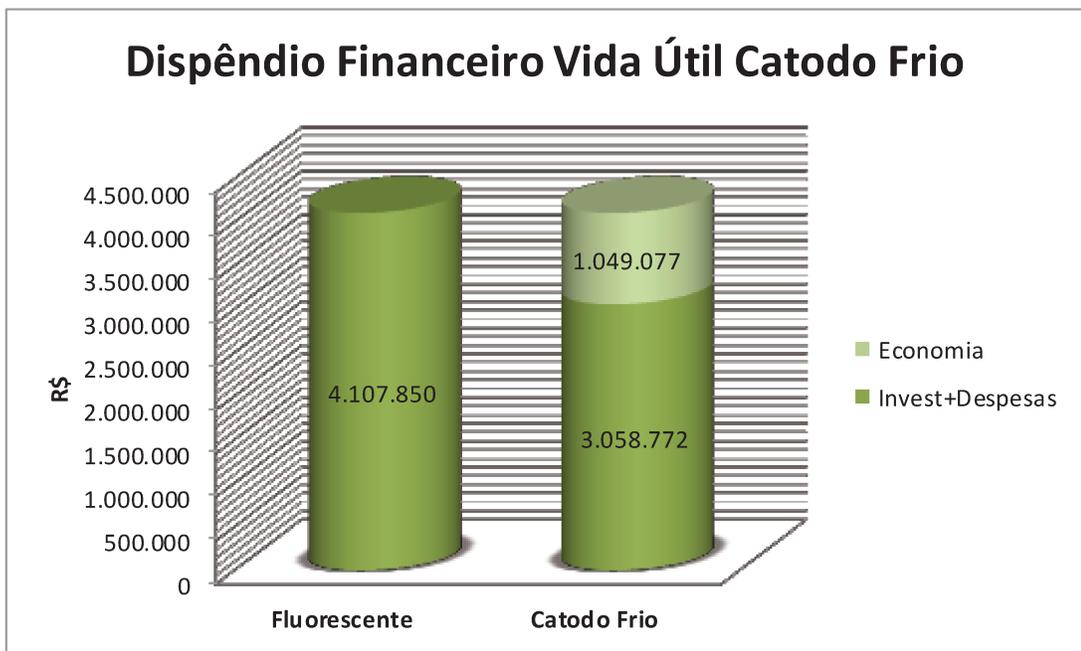
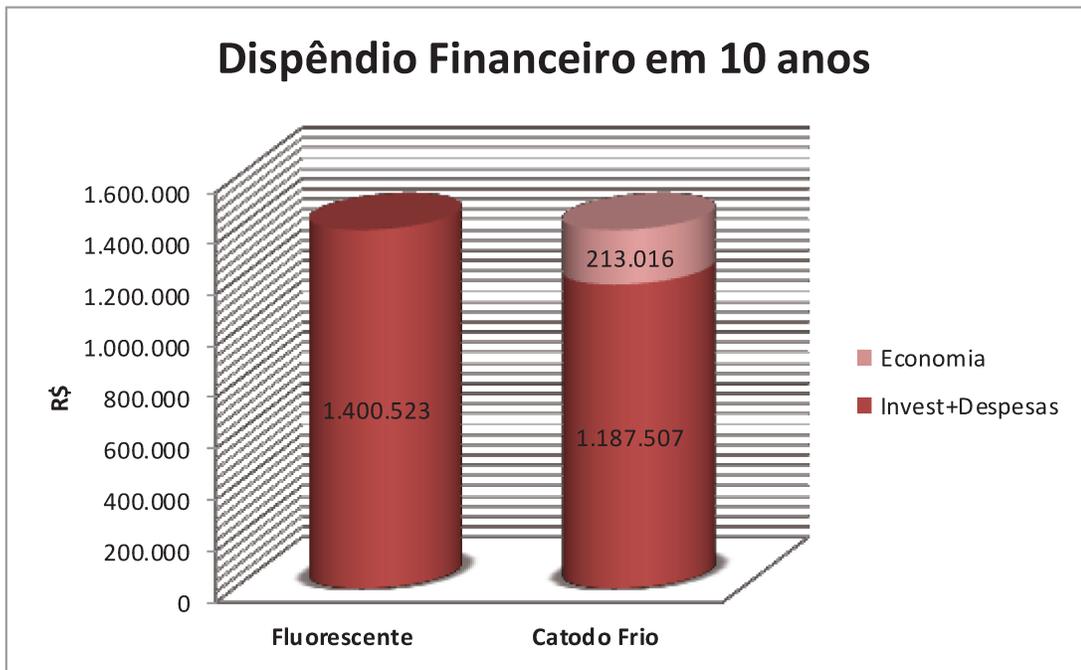


Figura 4-35. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T5, 28W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Tais ganhos econômicos foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 2000Lm/m no catodo frio, cerca de 490 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T5, de 28W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T5, 28W, 4000K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 2,4 anos, e TIR de 53,12% para 10 anos do investimento, ou ainda, 56,79% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-35. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 1340 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
7	4	TL5 HE Eco 25=28W/840	T5	2.493	-	-	-	-	-	-	-
7	18	TL5 ESS 28W/840	T5	2.493	-	-	-	-	-	-	-
7	48	#25 B	LCF	2.100	1	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
7	47	#25 B	LCF	2.325	1	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
7	46	#25 B	LCF	1.400	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
7	46	#25 B	LCF	1.400	1	Não	26,18	35,53	3,7	Viável	1100 Lm menor
7	45	#25 B	LCF	1.550	1	Não	26,18	35,53	3,7	Viável	940 Lm menor
7	44	#25 B	LCF	1.000	2	Não	N/A	18,20	6,2	Viável	490 Lm menor
7	44	#25 B	LCF	1.000	1	Não	74,26	75,96	1,8	Viável	1490 Lm menor
7	43	#25 B	LCF	1.150	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
7	43	#25 B	LCF	1.150	1	Não	53,12	56,79	2,4	Viável	1340 Lm menor
7	43	#25 B	LCF	1.150	1	Sim	11,15	27,03	4,2	Viável	1340 Lm menor

Tabela 4-35. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T5, 28W, 4000K e catodo frio.

4.8. COMPARATIVO 8 – Lâmpada T5, 54W, 4000K

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
8	7	TL5 HO Eco 50=54W/840	T5	16	4.298	85	4.000		-	-
8	12	TL5 HO 54W/840	T5	16	4.298	85	4.000		-	-
8	48	#25 B	LCF	20	2.100	85	4.500	EB3-9180-HP	2	Não
8	48	#25 B	LCF	20	2.100	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não
8	47	#25 B	LCF	18	2.325	85	4.500	EB3-9180-HP	2	Não
8	47	#25 B	LCF	18	2.325	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não
8	46	#25 B	LCF	20	1.400	85	4.500	EB3-2120-HP	3	Não
8	45	#25 B	LCF	15	1.550	85	4.500	EB3-2120-HP	3	Não
8	45	#25 B	LCF	15	1.550	85	4.500	EB3-2120-HP	2	Não

Tabela 4-36. Comparativo 8: lâmpadas T5, 54W, 4000K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 4000K.

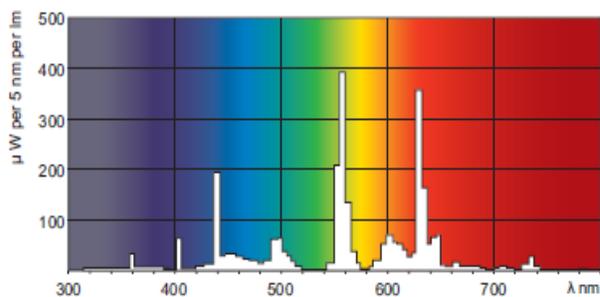


Figura 4-36. Distribuição Espectral de Energia Master TL5 HO 50=54W/840
Fonte: PHILIPS (2012)

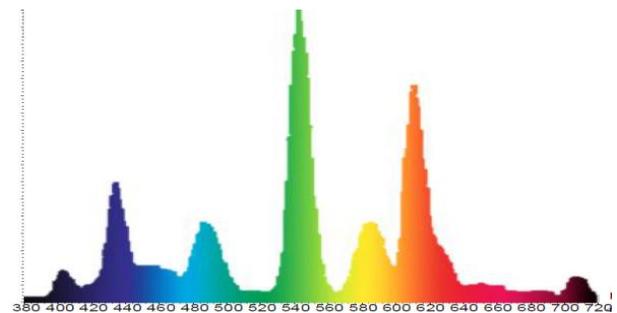


Figura 4-37. Distribuição Espectral de Energia #25 B – 4500K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-36, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL5 HO 50=54W/840, denominada pelo Código 7 e pela lâmpada fluorescente TL5 HO 54W/840, Código 12, é de 4298 Lm/m. Para temperatura de cor aproximada e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #25 B – 4500K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-1, pelos códigos 48, 47, 46 e 45 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm, considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP e EB3-2120-HP); ora com apenas uma linha de

lâmpadas, ora com duas ou até mesmo três linhas de lâmpadas paralelas; considerando o uso de reatores eletrônicos sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T5 de 54W.

No catodo frio, para o Código 45, o fluxo luminoso é de 1550 Lm/m para apenas uma linha de lâmpadas, com tubo de 15 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-2120-HP. Com duas linhas paralelas de lâmpadas o fluxo luminoso dobra de valor, atingindo 3100Lm/m. Portanto, há uma redução de cerca de 1200 Lm/m. Esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 1200 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #25 B, código 45, com a lâmpada fluorescente T5, 54W, 4000K, código 7 – conforme demonstrado na tabela 4-37. Esta comparação considera duas linhas de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
8	7	TL5 HO Eco 50=54W/840	T5	16	4.298	85	4.000		-	-
8	45	#25 B	LCF	15	1.550	85	4.500	EB3-2120-HP	2	Não

Tabela 4-37. Dados para o comparativo entre T5, 54W, 4000K e catodo frio, com redução de 1200Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente		Catodo Frio
	Código	7	45
Família	Master TL5 High Output Eco	Tecnolux LCF	
Produto	TL5 HO Eco 50=54W/840	#25 B	
Dimmer	não	Código	
		63	
		Basic T5	
		EL 2X54W TL5 220V 50/60HZ HPF	
Quantidade lâmpada por reator	2	Reator	
		94	
		Electronic Converters	
		EB3-2120-HP	
		2	
Vida Útil da Lâmpada (horas):			
Com Dimmer - Mais eficiente	não	LSF HF	100.000 horas
Sem Dimmer - Menos eficiente	sim	LLMF HF	100.000 horas
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)			
			100.000 horas
Lâmpadas:			
Quantidade de uso por dia (horas)	12 horas/dia		8.333 dias
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano		22,83 anos
Reatores/ Conversores Eletrônicos:			
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	9,13 anos	22,83 anos
Consumo do conjunto (W)		50 W	95 W
Comprimento lâmpada (mm)		1.163 mm	1.800 mm
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente		-	2 linha(s) paralela(s)
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)			1.000 m
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)			-
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		10%	-
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		955 pçs	1.111 pçs
		-	556 pçs
Consumo:			
kWh - consumido pelo sistema		48 kWh	53 kWh
kWh mês - considerado 12 horas/dia	30 dias	17.194 kWh	19.015 kWh
kWh ano - considerado 365 dias/ano	365 dias	209.193 kWh	231.352 kWh
Custo kWh	R\$ 0,47		
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)		R\$ 8.081,16	R\$ 8.937,14
Custo energia elétrica total - anual (R\$)		R\$ 98.320,72	R\$ 108.735,25
Diferença custo de energia anual (R\$)		-	R\$ 10.414,53
Diferença custo de energia anual (%)			11%
Investimento:			
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		955 pçs	-
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)		478 pçs	-
Custo por lâmpada (R\$)		R\$ 20,03	-
Custo por reator eletrônico (R\$)		R\$ 37,25	-
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)		-	1.000 m
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		-	556 pçs
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)		-	R\$ 70,00
Custo por conversor eletrônico		-	R\$ 380,00
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)		R\$ 19.133,04	R\$ 70.000,00
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)		R\$ 17.792,55	R\$ 211.280,00
Investimento Inicial ^(B)		R\$ 36.925,59	R\$ 281.280,00
Diferença investimento inicial (R\$)		-	R\$ 50.866,96
Diferença investimento inicial (%)		-	366%
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)		R\$ 42.092,69	-
Correção monetária anual - atualização despesas previstas		5%	5%
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)		R\$ 0,00	R\$ 0,00

^(A) Lâmpada Fluorescente TL5 HO Eco 50=54W/840 com 1163,2 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-38. Resultado para o comparativo entre T5, 54W, 4000K e catodo frio, com redução de 1200Lm/m.

A seguir, na tabela 4-39, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL5 HO Eco 50=54W/840	Catodo Frio #25 B	Diferença	
Inv	-R\$ 135.246,32	-R\$ 390.015,25	-R\$ 254.768,93	
ano 1	-R\$ 167.523,78	-R\$ 114.172,01	-R\$ 201.417,16	
ano 2	-R\$ 175.899,97	-R\$ 119.880,62	-R\$ 145.397,80	
ano 3	-R\$ 184.694,97	-R\$ 125.874,65	-R\$ 86.577,48	
ano 4	-R\$ 193.929,72	-R\$ 132.168,38	-R\$ 24.816,13	
ano 5	-R\$ 203.626,21	-R\$ 138.776,80	R\$ 40.033,28	Payback!
ano 6	-R\$ 213.807,52	-R\$ 145.715,64	R\$ 108.125,16	+
ano 7	-R\$ 224.497,89	-R\$ 153.001,42	R\$ 179.621,63	+
ano 8	-R\$ 235.722,79	-R\$ 160.651,49	R\$ 254.692,93	+
ano 9	-R\$ 247.508,93	-R\$ 168.684,06	R\$ 333.517,79	+
(i) ano 10	-R\$ 288.866,57	-R\$ 177.118,27	R\$ 445.266,09	+
ano 11	-R\$ 272.878,59	-R\$ 185.974,18	R\$ 532.170,51	+
ano 12	-R\$ 286.522,52	-R\$ 195.272,89	R\$ 623.420,14	+
ano 13	-R\$ 300.848,65	-R\$ 205.036,53	R\$ 719.232,25	+
ano 14	-R\$ 315.891,08	-R\$ 215.288,36	R\$ 819.834,97	+
ano 15	-R\$ 331.685,64	-R\$ 226.052,78	R\$ 925.467,83	+
ano 16	-R\$ 348.269,92	-R\$ 237.355,42	R\$ 1.036.382,33	+
ano 17	-R\$ 365.683,41	-R\$ 249.223,19	R\$ 1.152.842,55	+
ano 18	-R\$ 383.967,58	-R\$ 261.684,35	R\$ 1.275.125,79	+
ano 19	-R\$ 403.165,96	-R\$ 274.768,57	R\$ 1.403.523,18	+
ano 20	-R\$ 470.533,20	-R\$ 288.506,99	R\$ 1.585.549,39	+
ano 21	-R\$ 444.490,47	-R\$ 302.932,34	R\$ 1.727.107,52	+
(ii) ano 22	-R\$ 466.715,00	-R\$ 318.078,96	R\$ 1.875.743,55	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 226.754,95	-R\$ 30.040,38	-R\$ 287.444,78
TIR =	9,27%	9,27%	9,27%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 6.047.464,72	R\$ 2.612.851,75	R\$ 357.964,89
TIR =	24,89%	24,89%	24,89%

Tabela 4-39. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpadas T5, 54W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou

agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-39, o *retrofit* se demonstra economicamente inviável, com TIR desfavorável em apenas 9,27%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou de maneira mais favorável com 24,89%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T5 de 54W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-38 apresenta *payback* de 4,9 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

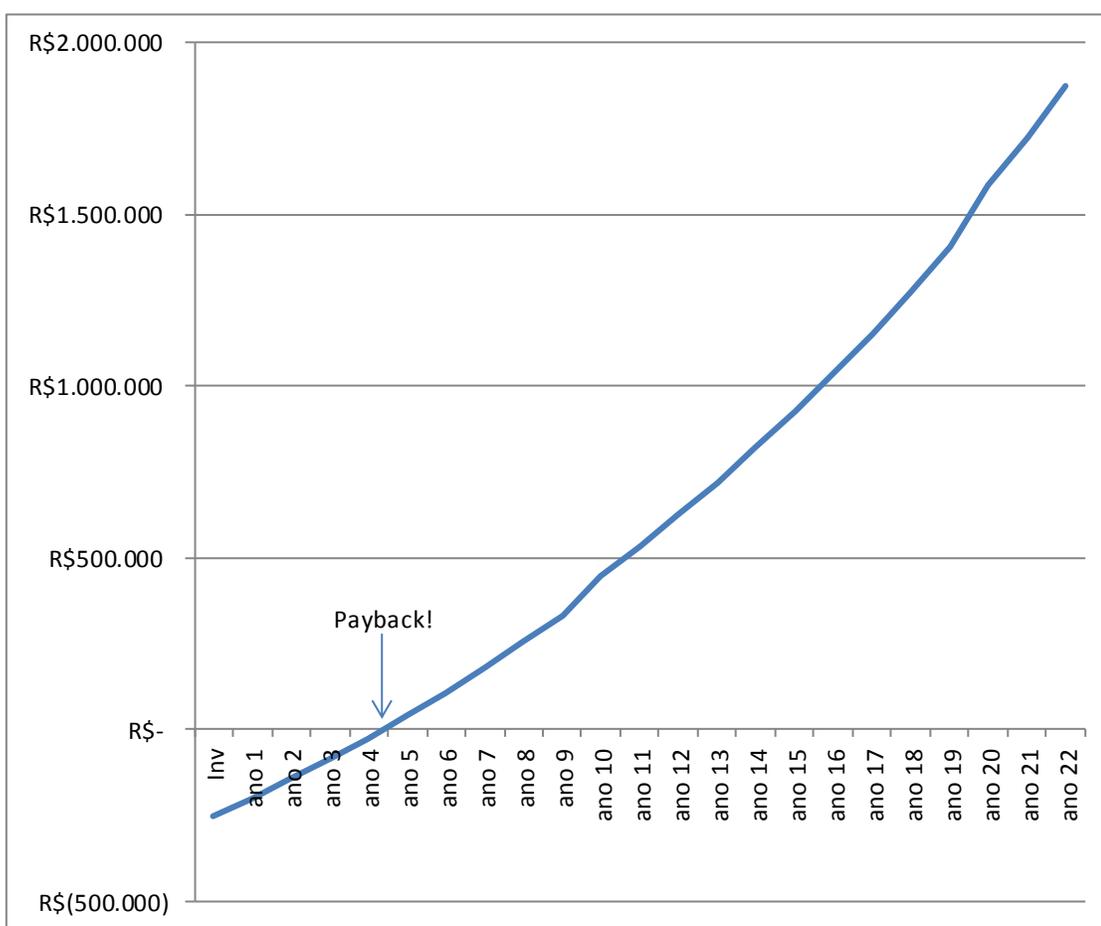


Figura 4-38. *Payback* entre lâmpadas T5, 54W, 4000K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-38 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (366%) e maior consumo de energia elétrica (11%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T5 de 54W, conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)				
	Fluorescente	Catodo Frio		
Período	Consumo	Consumo	Economia	%
Anual	209.193 kWh	231.352 kWh	-22.159 kWh	11%

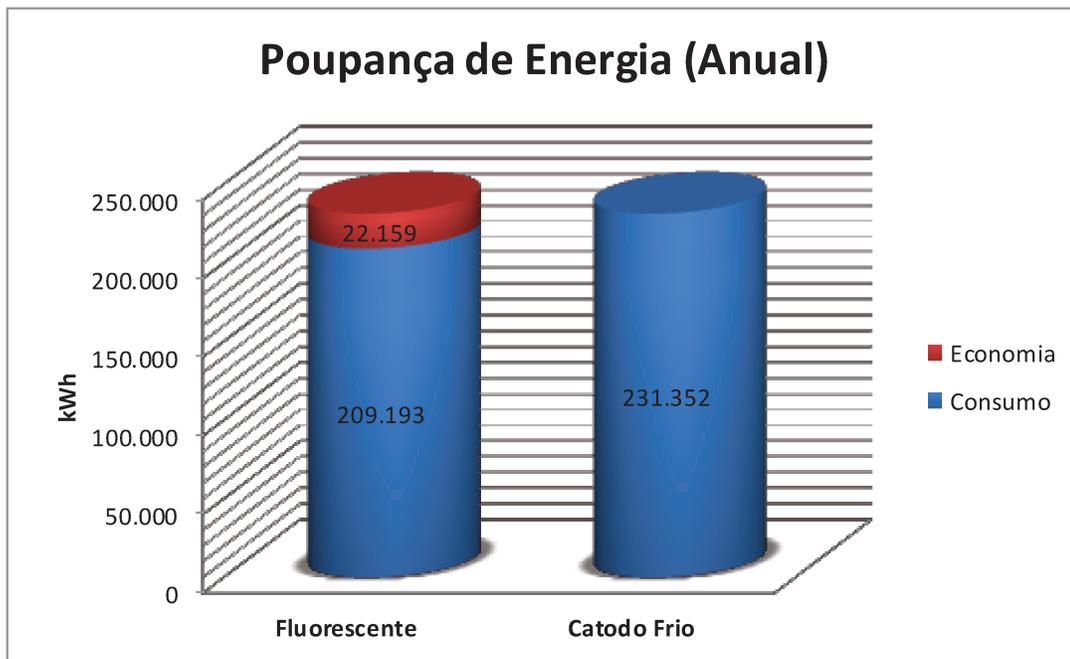


Figura 4-39. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 54W, 4000K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 20% em 10 anos, ou ainda, economia de 28% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-40.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 2.271.324,68	R\$ 1.826.058,58	R\$ 445.266,09	-20%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 6.661.976,71	R\$ 4.786.233,15	R\$ 1.875.743,55	-28%

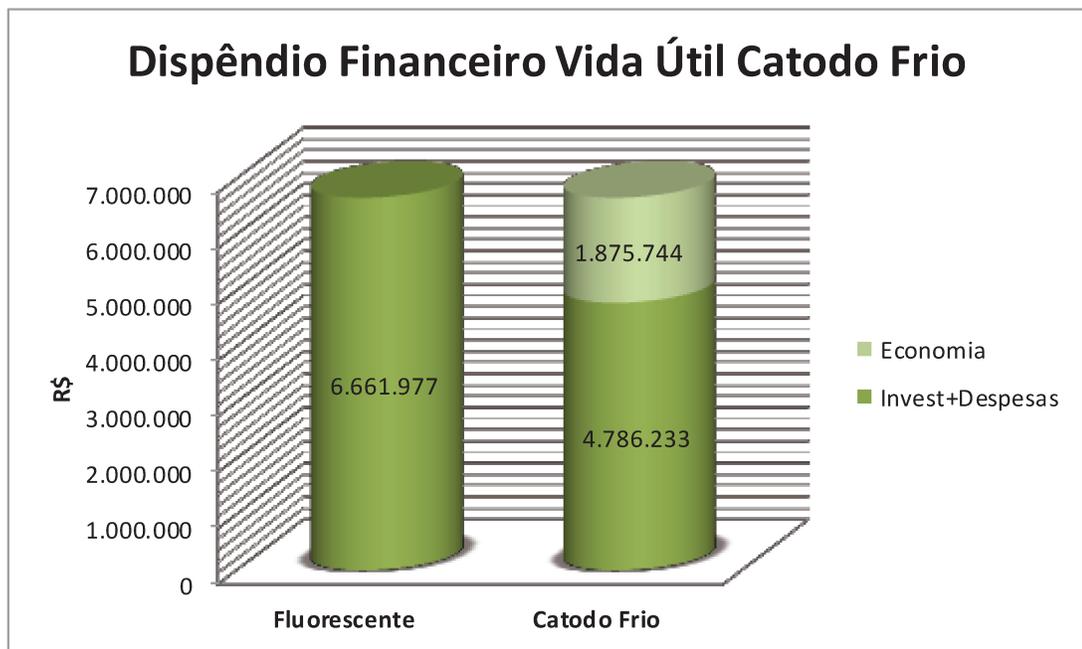
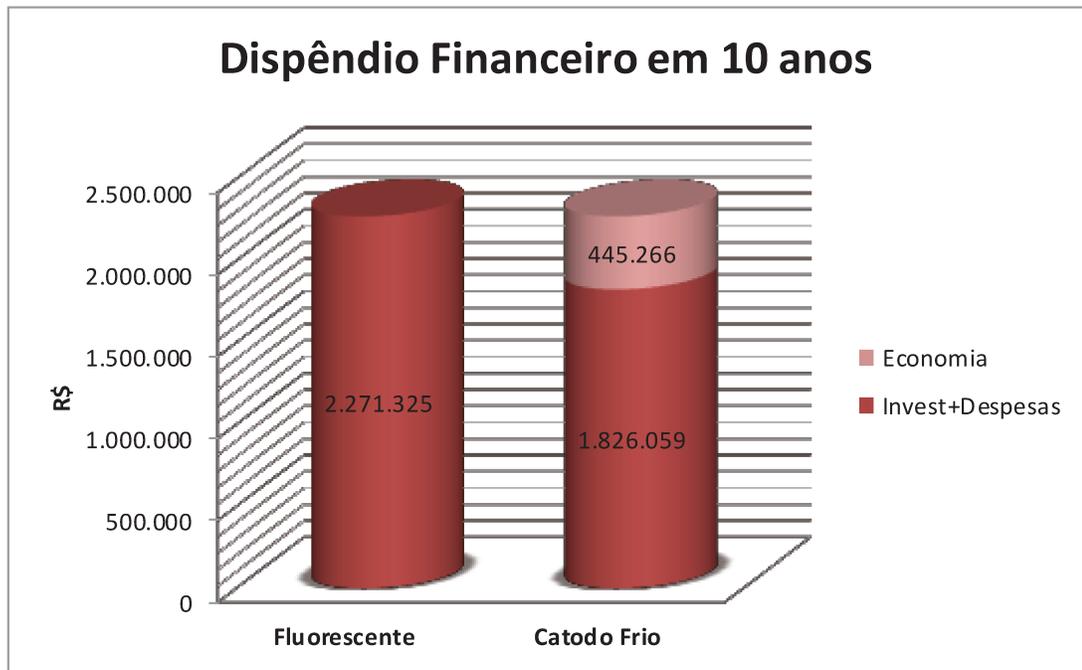


Figura 4-40. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T5, 54W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

A emissão luminosa de 4298 Lm/m é bastante eficiente nas fluorescentes tubulares de 54W. Assim, tais ganhos econômicos só foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 3100Lm/m em duas linhas paralelas de lâmpadas no catodo frio, cerca de 1200 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T5, de 54W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T5, 54W, 4000K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 2,4 anos, e TIR de 53.17% para 10 anos do investimento, ou ainda, 56.82% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-40. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 2200 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
8	7	TL5 HO Eco 50=54W/840	T5	4.298	-	-	-	-	-	-	-
8	12	TL5 HO 54W/840	T5	4.298	-	-	-	-	-	-	-
8	48	#25 B	LCF	2.100	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
8	48	#25 B	LCF	2.100	1	Não	53,17	56,82	2,4	Viável	2200 Lm menor
8	47	#25 B	LCF	2.325	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
8	47	#25 B	LCF	2.325	1	Não	41,79	47,27	2,8	Viável	1975 Lm menor
8	46	#25 B	LCF	1.400	3	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
8	45	#25 B	LCF	1.550	3	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
8	45	#25 B	LCF	1.550	2	Não	9,27	24,89	4,9	Viável	1200 Lm menor

Tabela 4-40. Resultados dos comparativos entre T5, 54W, 4000K e catodo frio.

4.9. COMPARATIVO 9 – Lâmpada T5, 80W, 4000K

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
9	10	TL5 HO Eco 73=80W/840	T5	16	4.784	85	4.000		-	-
9	48	#25 B	LCF	20	2.100	85	4.500	EB3-9180-HP	2	Não
9	48	#25 B	LCF	20	2.100	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não
9	47	#25 B	LCF	18	2.325	85	4.500	EB3-9180-HP	2	Não
9	47	#25 B	LCF	18	2.325	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não

Tabela 4-41. Comparativo 9: lâmpadas T5, 80W, 4000K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 4000K.

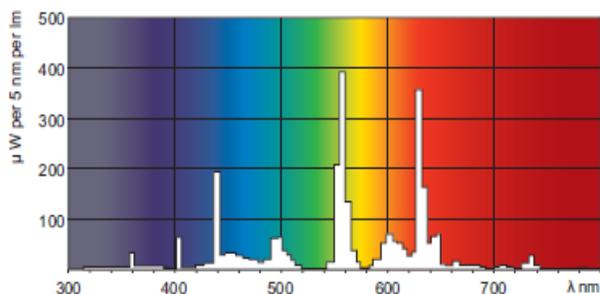


Figura 4-41. Distribuição Espectral de Energia Master TL5 HO Eco 73=80W/840
Fonte: PHILIPS (2012)

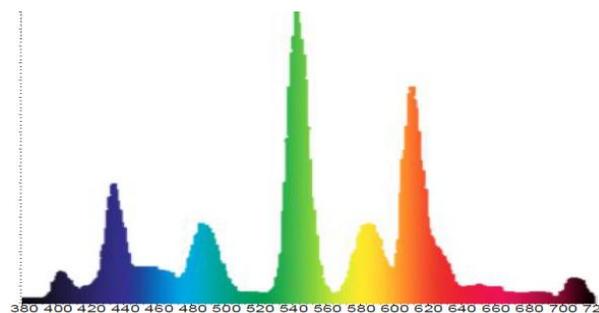


Figura 4-42. Distribuição Espectral de Energia #25 B – 4500K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-41, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL5 HO 73=80W/840, denominada pelo Código 10 é de 4784 Lm/m. Para temperatura de cor aproximada e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #25 B – 4500K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-41, pelos códigos 48 e 47 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20 e 18 mm, considerando o uso do conversor eletrônico EB3-9180-HP; ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas; considerando o uso de reatores eletrônicos sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T5 de 80W.

No catodo frio, para o Código 47, o fluxo luminoso é de 1800 Lm/m, com tubo de 18 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-9180-HP, com apenas uma linha de lâmpadas para atingir este fluxo luminoso. Mesmo com redução de cerca de 2450 Lm/m, esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 2450 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #25 B, código 47, com a lâmpada fluorescente T5, 80W, 4000K, código 10 – conforme demonstrado na tabela 4-42. Esta comparação considera ainda apenas uma linha de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
9	10	TL5 HO Eco 73=80W/840	T5	16	4.784	85	4.000		-	-
9	47	#25 B	LCF	18	2.325	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não

Tabela 4-42. Dados para o comparativo entre T5, 80W, 4000K e catodo frio, com redução de 2450Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente		Catodo Frio	
	Código	10	47	
Família	Master TL5 High Output Eco		Tecnolux LCF	
Produto	TL5 HO Eco 73=80W/840		#25 B	
	Reator		Conversor	
Dimmer	não	65	96	
Código		ECO MASTER MULTITENSÃO TL5	Electronic Converters	
Família		EL 1/2X54W TL5 120-277V 50/60HZ HPF	EB3-9180-HP	
Produto		1	1	
Quantidade lâmpada por reator				
Vida Útil da Lâmpada (horas):				
Com Dimmer - Mais eficiente	não	16.000 horas	100.000 horas	
Sem Dimmer - Menos eficiente	sim	2.000 horas	100.000 horas	
Quantidade lâmpada por reator				
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)		40.000 horas	100.000 horas	
Lâmpadas:				
Quantidade de uso por dia (horas)	12 horas/dia	167 dias	8.333 dias	
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	0,46 anos	22,83 anos	
Reatores/ Conversores Eletrônicos:				
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	9,13 anos	22,83 anos	
Consumo do conjunto (W)		73 W	95 W	
Comprimento lâmpada (mm)		1.463 mm	2.300 mm	
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente		-	1 linha(s) paralela(s)	
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)			1.000 m	
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)				
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		10%	-	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		759 pçs	435 pçs	
		-	435 pçs	
Consumo:				
kWh - consumido pelo sistema		55 kWh	41 kWh	
kWh mês - considerado 12 horas/dia	30 dias	19.956 kWh	14.877 kWh	
kWh ano - considerado 365 dias/ano	365 dias	242.801 kWh	181.004 kWh	
Custo kWh	R\$ 0,47			
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)		R\$ 9.379,44	R\$ 6.992,19	
Custo energia elétrica total - anual (R\$)		R\$ 114.116,55	R\$ 85.071,65	
Diferença custo de energia anual (R\$)		-	-R\$ 29.044,90	
Diferença custo de energia anual (%)			-25%	
Investimento:				
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		759 pçs	-	
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)		759 pçs	-	
Custo por lâmpada (R\$)		R\$ 22,80	-	
Custo por reator eletrônico (R\$)		R\$ 58,98	-	
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)		-	1.000 m	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		-	435 pçs	
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)		-	R\$ 70,00	
Custo por conversor eletrônico		-	R\$ 380,00	
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)		R\$ 17.313,65	R\$ 70.000,00	
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)		R\$ 44.784,14	R\$ 165.300,00	
Investimento Inicial ^(B)		R\$ 62.097,79	R\$ 235.300,00	
Diferença investimento inicial (R\$)		-	R\$ 52.686,35	
Diferença investimento inicial (%)		-	404%	
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)		R\$ 38.090,03	-	
Correção monetária anual - atualização despesas previstas		5%	5%	
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)		R\$ 0,00	R\$ 0,00	

^(A) Lâmpada Fluorescente TL5 HO Eco 73=80W/840 com 1463,2 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-43. Resultado para o comparativo entre T5, 80W, 4000K e catodo frio, com redução de 2450Lm/m.

A seguir, na tabela 4-44, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL5 HO Eco 73=80W/840	Catodo Frio #25 B	Diferença	
Inv	-R\$ 176.214,33	-R\$ 320.371,65	-R\$ 144.157,31	
ano 1	-R\$ 177.996,24	-R\$ 89.325,23	-R\$ 55.486,30	
ano 2	-R\$ 186.896,05	-R\$ 93.791,49	R\$ 37.618,27	Payback!
ano 3	-R\$ 196.240,86	-R\$ 98.481,06	R\$ 135.378,06	+
ano 4	-R\$ 206.052,90	-R\$ 103.405,12	R\$ 238.025,84	+
ano 5	-R\$ 216.355,54	-R\$ 108.575,37	R\$ 345.806,02	+
ano 6	-R\$ 227.173,32	-R\$ 114.004,14	R\$ 458.975,20	+
ano 7	-R\$ 238.531,99	-R\$ 119.704,35	R\$ 577.802,83	+
ano 8	-R\$ 250.458,59	-R\$ 125.689,57	R\$ 702.571,86	+
ano 9	-R\$ 262.981,52	-R\$ 131.974,04	R\$ 833.579,33	+
(i) ano 10	-R\$ 349.079,23	-R\$ 138.572,75	R\$ 1.044.085,81	+
ano 11	-R\$ 289.937,12	-R\$ 145.501,38	R\$ 1.188.521,55	+
ano 12	-R\$ 304.433,98	-R\$ 152.776,45	R\$ 1.340.179,08	+
ano 13	-R\$ 319.655,68	-R\$ 160.415,27	R\$ 1.499.419,48	+
ano 14	-R\$ 335.638,46	-R\$ 168.436,04	R\$ 1.666.621,90	+
ano 15	-R\$ 352.420,38	-R\$ 176.857,84	R\$ 1.842.184,44	+
ano 16	-R\$ 370.041,40	-R\$ 185.700,73	R\$ 2.026.525,11	+
ano 17	-R\$ 388.543,47	-R\$ 194.985,77	R\$ 2.220.082,81	+
ano 18	-R\$ 407.970,65	-R\$ 204.735,06	R\$ 2.423.318,40	+
ano 19	-R\$ 428.369,18	-R\$ 214.971,81	R\$ 2.636.715,77	+
ano 20	-R\$ 568.613,28	-R\$ 225.720,40	R\$ 2.979.608,65	+
ano 21	-R\$ 472.277,02	-R\$ 237.006,42	R\$ 3.214.879,25	+
(ii) ano 22	-R\$ 495.890,87	-R\$ 248.856,74	R\$ 3.461.913,37	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 2.827.803,76	R\$ 1.954.892,79	R\$ 976.370,81
TIR =	64,18%	64,18%	64,18%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 14.199.783,49	R\$ 7.162.543,15	R\$ 2.269.699,05
TIR =	66,69%	66,69%	66,69%

Tabela 4-44. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpadas T5, 80W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou

agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-44, o *retrofit* se demonstra economicamente viável, com TIR bastante favorável em 64.18%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou ainda 66.69%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T5 de 80W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-43 apresenta *payback* de 1,8 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

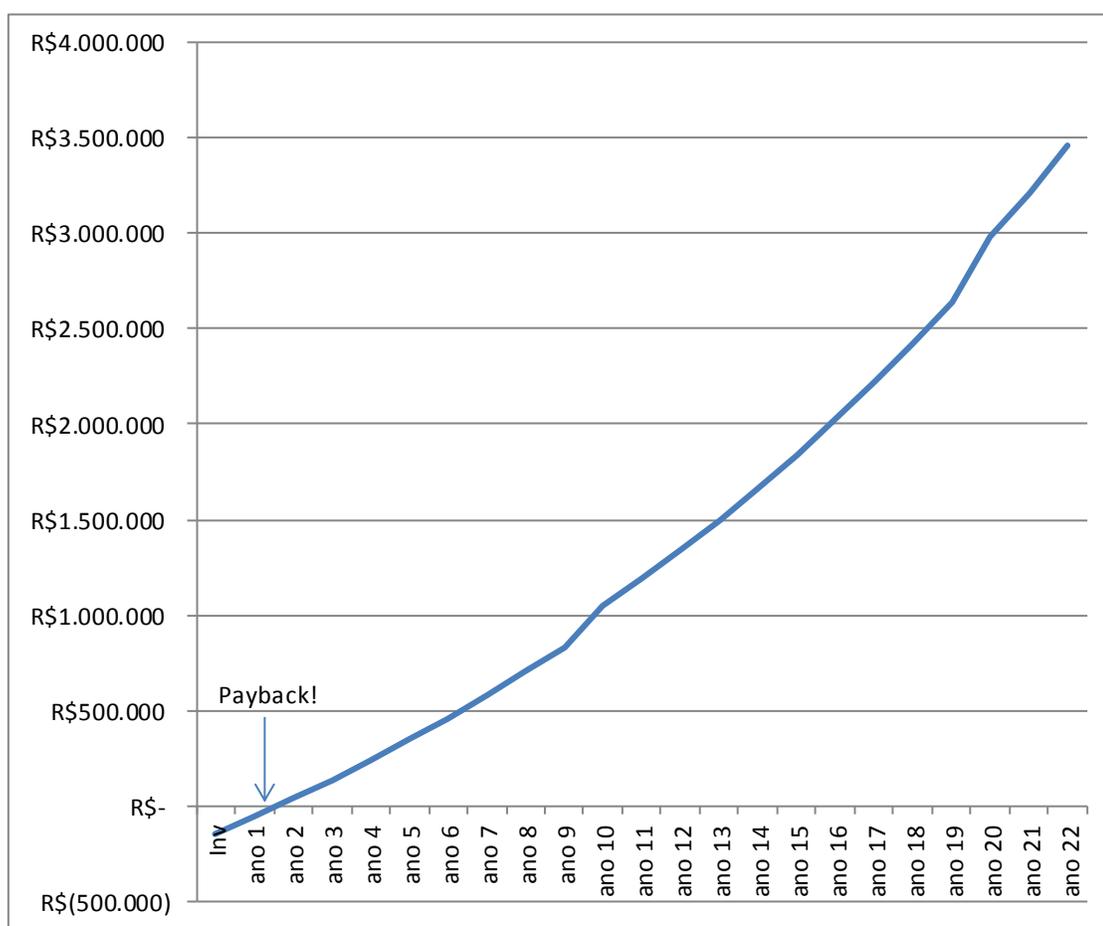


Figura 4-43. *Payback* entre lâmpadas T5, 80W, 4000K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-43 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (404%) e menor consumo de energia elétrica (25%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T5 de 80W, conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)			
	Fluorescente	Catodo Frio	
Período	Consumo	Consumo	Economia
Anual	242.801 kWh	181.004 kWh	61.798 kWh
			%
			-25%

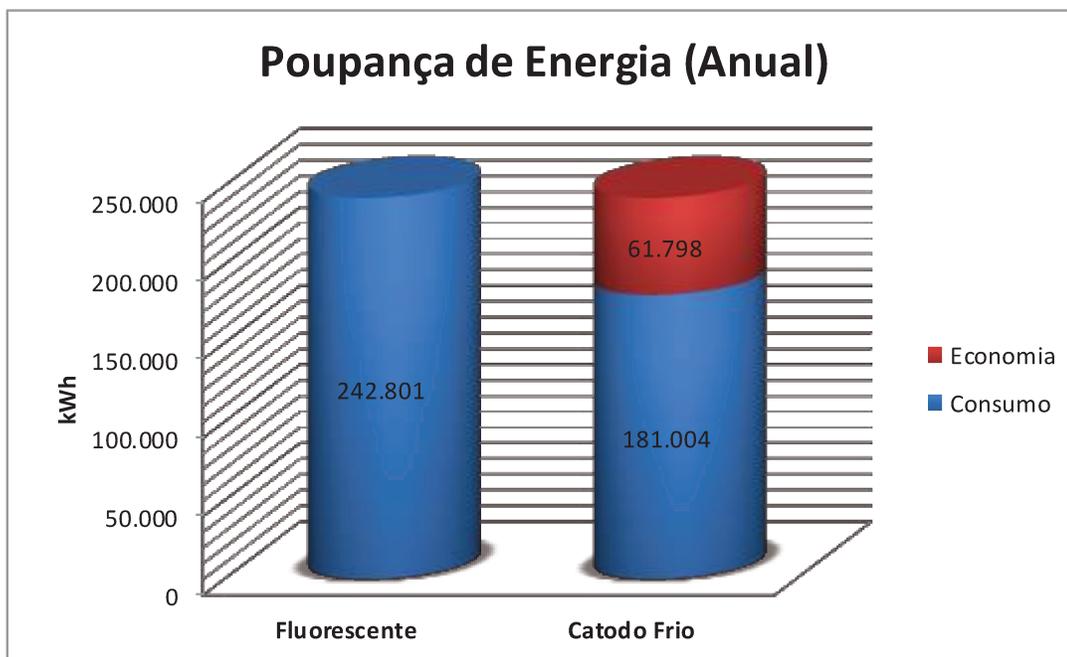


Figura 4-44. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 80W, 4000K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 42% em 10 anos, ou ainda, economia de 48% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-45.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 2.487.980,57	R\$ 1.443.894,75	R\$ 1.044.085,81	-42%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 7.221.772,05	R\$ 3.759.858,67	R\$ 3.461.913,37	-48%

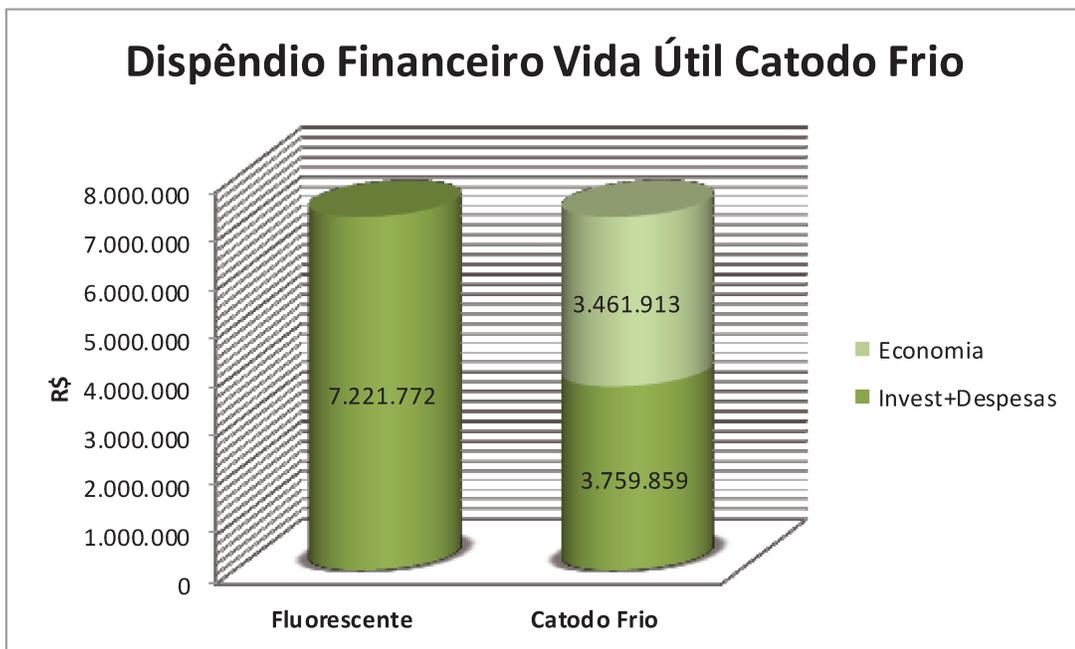
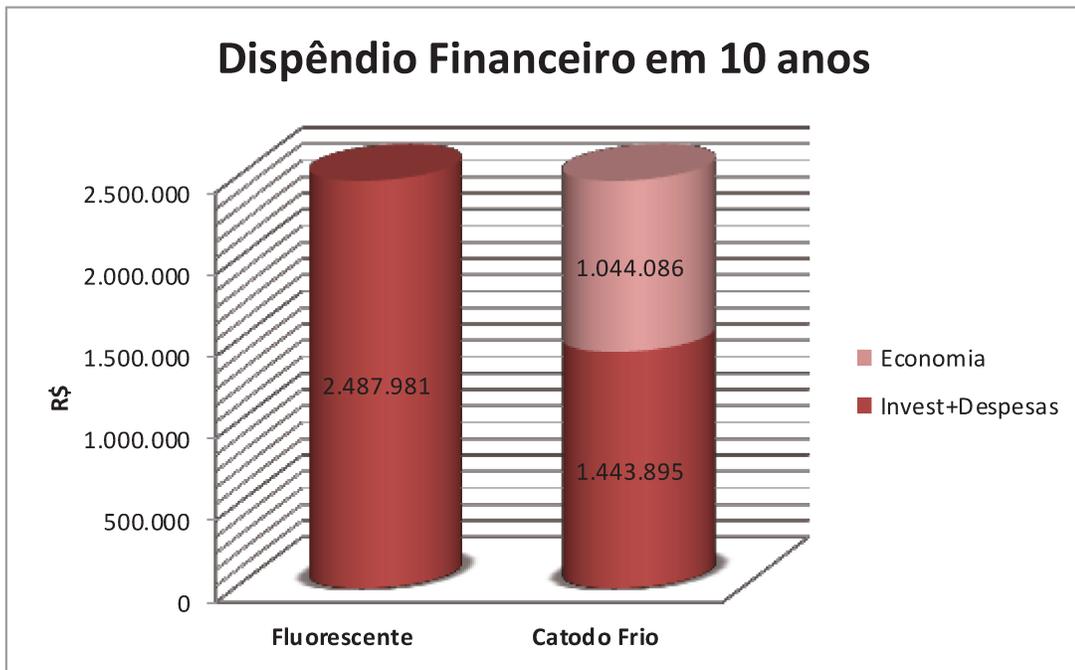


Figura 4-45. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T5, 80W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

A emissão luminosa de 4784 Lm/m é bastante eficiente nas fluorescentes tubulares de 80W. Assim, tais ganhos econômicos só foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 2325Lm/m em apenas uma linha de lâmpadas no catodo frio, cerca de 2450 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T5, de 80W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T5, 80W, 4000K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 1,8 anos, e TIR de 81,05% para 10 anos do investimento, ou ainda, 82,41% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-45. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 2680 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
9	10	TL5 HO Eco 73=80W/840	T5	4.784	-	-	-	-	-	-	-
9	48	#25 B	LCF	2.100	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
9	48	#25 B	LCF	2.100	1	Não	81,05	82,41	1,8	Viável	2680 Lm menor
9	47	#25 B	LCF	2.325	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
9	47	#25 B	LCF	2.325	1	Não	64,18	66,69	1,8	Viável	2450 Lm menor

Tabela 4-45. Resultados dos comparativos entre T5, 80W, 4000K e catodo frio.

4.10. COMPARATIVO 10 – Lâmpada T8, 36W, 4000K

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
10	26	TL-D 90 De Luxe 36W/940	T8	26	2.307	91	4.000		-	-
10	36	TL-D 36W/840 CW G13	T8	26	2.678	82	4.000		-	-
10	48	#25 B	LCF	20	2.100	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não
10	47	#25 B	LCF	18	2.325	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não
10	46	#25 B	LCF	20	1.400	85	4.500	EB3-2120-HP	2	Não
10	46	#25 B	LCF	20	1.400	85	4.500	EB3-2120-HP	1	Não
10	46	#25 B	LCF	20	1.400	85	4.500	EB3-2120-HP	1	Sim
10	45	#25 B	LCF	15	1.550	85	4.500	EB3-2120-HP	2	Não
10	45	#25 B	LCF	15	1.550	85	4.500	EB3-2120-HP	1	Não
10	45	#25 B	LCF	15	1.550	85	4.500	EB3-2120-HP	1	Sim
10	44	#25 B	LCF	20	1.000	85	4.500	EB3-5060-HP	2	Não
10	44	#25 B	LCF	20	1.000	85	4.500	EB3-5060-HP	1	Não
10	44	#25 B	LCF	20	1.000	85	4.500	EB3-5060-HP	1	Sim
10	43	#25 B	LCF	15	1.150	85	4.500	EB3-5060-HP	2	Não
10	43	#25 B	LCF	15	1.150	85	4.500	EB3-5060-HP	1	Não
10	43	#25 B	LCF	15	1.150	85	4.500	EB3-5060-HP	1	Sim

Tabela 4-46. Comparativo 10: lâmpadas T8, 36W, 4000K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 4000K.

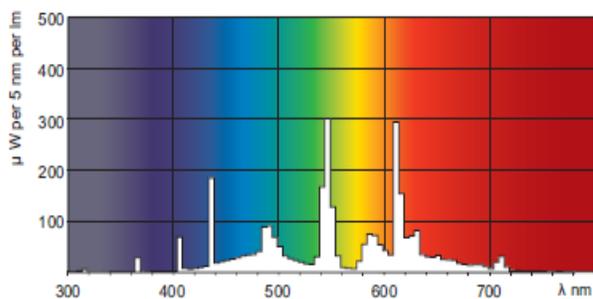


Figura 4-46. Distribuição Espectral de Energia Master TL-D 90 De Luxe 36W/940
Fonte: PHILIPS (2012)

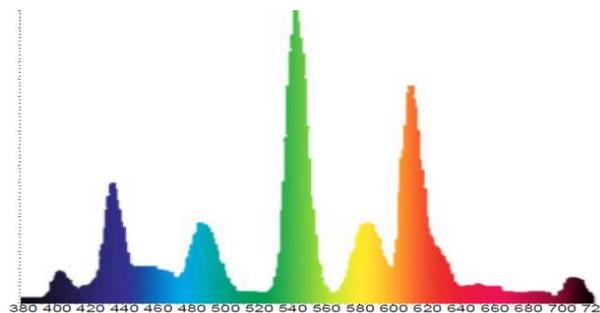


Figura 4-47. Distribuição Espectral de Energia #25 B – 4500K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-46, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL-D 90 De Luxe 36W/940, denominada pelo Código 26 é de 2307 Lm/m. Para temperatura de cor aproximada e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #25 B – 4500K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos

no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-1, pelos códigos 48, 47, 46, 45, 44 e 43 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm, considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP, EB3-2120-HP e EB3-5060-HP); ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes), ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T8 de 36W.

No catodo frio, para o Código 48, o fluxo luminoso é de 2100 Lm/m, com tubo de 20 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-9180-HP, com apenas uma linha de lâmpadas para atingir este fluxo luminoso. Mesmo com redução de cerca de 200 Lm/m, esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 200 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #25 B, código 48, com a lâmpada fluorescente T8, 36W, 4000K, código 26 – conforme demonstrado na tabela 4-47. Esta comparação considera ainda apenas uma linha de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
10	26	TL-D 90 De Luxe 36W/940	T8	26	2.307	91	4.000		-	-
10	48	#25 B	LCF	20	2.100	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não

Tabela 4-47. Dados para o comparativo entre T8, 36W, 4000K e catodo frio, com redução de 200Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente		Catodo Frio	
	Código	26	48	
Família	Master TL-D 90 De Luxe		Tecnolux LCF	
Produto	TL-D 90 De Luxe 36W/940		#25 B	
Dimmer	não			
Código	Reator		Conversor	
Família	74	97		
Produto	Eco Master		Electronic Converters	
Quantidade lâmpada por reator	EL 2X40W TL-T 127V 50/60HZ HPF		EB3-9180-HP	
	2	1		
Vida Útil da Lâmpada (horas):				
Com Dimmer - Mais eficiente	não	8.000 horas	100.000 horas	
Sem Dimmer - Menos eficiente	sim	2.000 horas	100.000 horas	
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)		40.000 horas	100.000 horas	
Lâmpadas:				
Quantidade de uso por dia (horas)	12 horas/dia	167 dias	8.333 dias	
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	0,46 anos	22,83 anos	
Reatores/ Conversores Eletrônicos:				
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	9,13 anos	22,83 anos	
Consumo do conjunto (W)		36 W	95 W	
Comprimento lâmpada (mm)		1.214 mm	2.500 mm	
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente		-	1 linha(s) paralela(s)	
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)			1.000 m	
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)				
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		10%	-	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		916 pçs	400 pçs	
		-	400 pçs	
Consumo:				
kWh - consumido pelo sistema		33 kWh	38 kWh	
kWh mês - considerado 12 horas/dia	30 dias	11.866 kWh	13.680 kWh	
kWh ano - considerado 365 dias/ano	365 dias	144.364 kWh	166.440 kWh	
Custo kWh	R\$ 0,47			
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)		R\$ 5.576,80	R\$ 6.429,60	
Custo energia elétrica total - anual (R\$)		R\$ 67.851,02	R\$ 78.226,80	
Diferença custo de energia anual (R\$)		-	R\$ 10.375,78	
Diferença custo de energia anual (%)			15%	
Investimento:				
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		916 pçs	-	
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)		458 pçs	-	
Custo por lâmpada (R\$)		R\$ 17,83	-	
Custo por reator eletrônico (R\$)		R\$ 29,12	-	
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)		-	1.000 m	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		-	400 pçs	
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)		-	R\$ 70,00	
Custo por conversor eletrônico		-	R\$ 380,00	
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)		R\$ 16.324,25	R\$ 70.000,00	
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)		R\$ 13.330,71	R\$ 152.000,00	
Investimento Inicial ^(B)		R\$ 29.654,96	R\$ 222.000,00	
Diferença investimento inicial (R\$)		-	R\$ 53.675,75	
Diferença investimento inicial (%)		-	429%	
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)		R\$ 35.913,35	-	
Correção monetária anual - atualização despesas previstas		5%	5%	
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)		R\$ 0,00	R\$ 0,00	

^(A) Lâmpada Fluorescente TL-D 90 De Luxe 36W/940 com 1213,6 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-48. Resultado para o comparativo entre T8, 36W, 4000K e catodo frio, com redução de 200Lm/m.

A seguir, na tabela 4-49, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL-D 90 De Luxe 36W/940	Catodo Frio #25 B	Diferença	
Inv	-R\$ 97.505,98	-R\$ 300.226,80	-R\$ 202.720,82	
ano 1	-R\$ 126.093,06	-R\$ 82.138,14	-R\$ 158.765,90	
ano 2	-R\$ 132.397,71	-R\$ 86.245,05	-R\$ 112.613,24	
ano 3	-R\$ 139.017,59	-R\$ 90.557,30	-R\$ 64.152,94	
ano 4	-R\$ 145.968,47	-R\$ 95.085,16	-R\$ 13.269,63	
ano 5	-R\$ 153.266,90	-R\$ 99.839,42	R\$ 40.157,84	Payback!
ano 6	-R\$ 160.930,24	-R\$ 104.831,39	R\$ 96.256,69	+
ano 7	-R\$ 168.976,76	-R\$ 110.072,96	R\$ 155.160,48	+
ano 8	-R\$ 177.425,59	-R\$ 115.576,61	R\$ 217.009,46	+
ano 9	-R\$ 186.296,87	-R\$ 121.355,44	R\$ 281.950,90	+
(i) ano 10	-R\$ 217.326,04	-R\$ 127.423,21	R\$ 371.853,72	+
ano 11	-R\$ 205.392,30	-R\$ 133.794,37	R\$ 443.451,64	+
ano 12	-R\$ 215.661,92	-R\$ 140.484,09	R\$ 518.629,47	+
ano 13	-R\$ 226.445,01	-R\$ 147.508,30	R\$ 597.566,18	+
ano 14	-R\$ 237.767,26	-R\$ 154.883,71	R\$ 680.449,73	+
ano 15	-R\$ 249.655,63	-R\$ 162.627,90	R\$ 767.477,46	+
ano 16	-R\$ 262.138,41	-R\$ 170.759,29	R\$ 858.856,58	+
ano 17	-R\$ 275.245,33	-R\$ 179.297,26	R\$ 954.804,65	+
ano 18	-R\$ 289.007,60	-R\$ 188.262,12	R\$ 1.055.550,12	+
ano 19	-R\$ 303.457,97	-R\$ 197.675,23	R\$ 1.161.332,87	+
ano 20	-R\$ 354.001,21	-R\$ 207.558,99	R\$ 1.307.775,09	+
ano 21	-R\$ 334.562,42	-R\$ 217.936,94	R\$ 1.424.400,57	+
(ii) ano 22	-R\$ 351.290,54	-R\$ 228.833,79	R\$ 1.546.857,32	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 248.072,48	R\$ 25.683,39	-R\$ 199.907,20
TIR =	10,77%	10,77%	10,77%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 5.067.056,30	R\$ 2.214.817,23	R\$ 335.187,72
TIR =	25,71%	25,71%	25,71%

Tabela 4-49. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpadas T8, 36W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou

agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-49, o *retrofit* se demonstra economicamente viável, com TIR favorável em 10,77%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou ainda 25,71%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T8 de 36W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-48 apresenta *payback* de 4,9 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

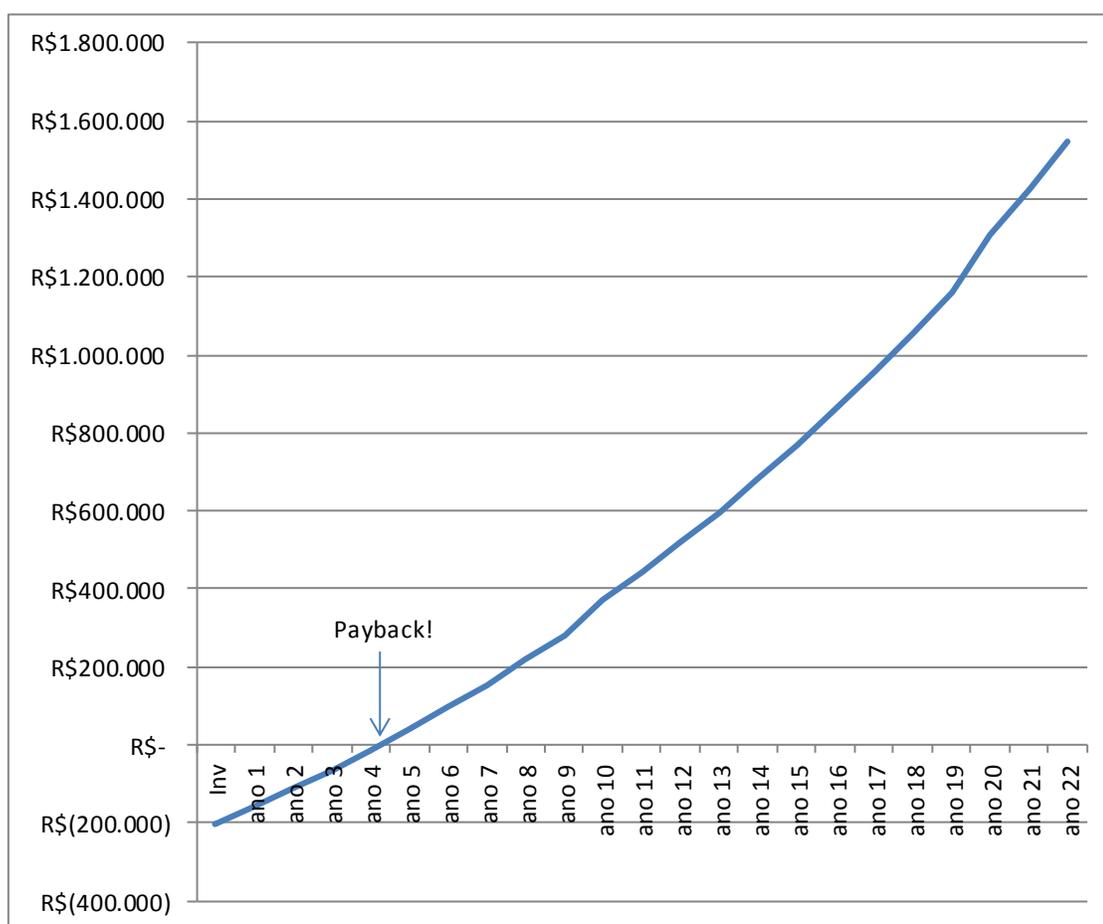


Figura 4-48. *Payback* entre lâmpadas T8, 36W, 4000K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-48 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (429%) e maior consumo de energia elétrica (15%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T8 de 36W, conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)			
	Fluorescente	Catodo Frio	
Período	Consumo	Consumo	Economia
Anual	144.364 kWh	166.440 kWh	-22.076 kWh
			15%

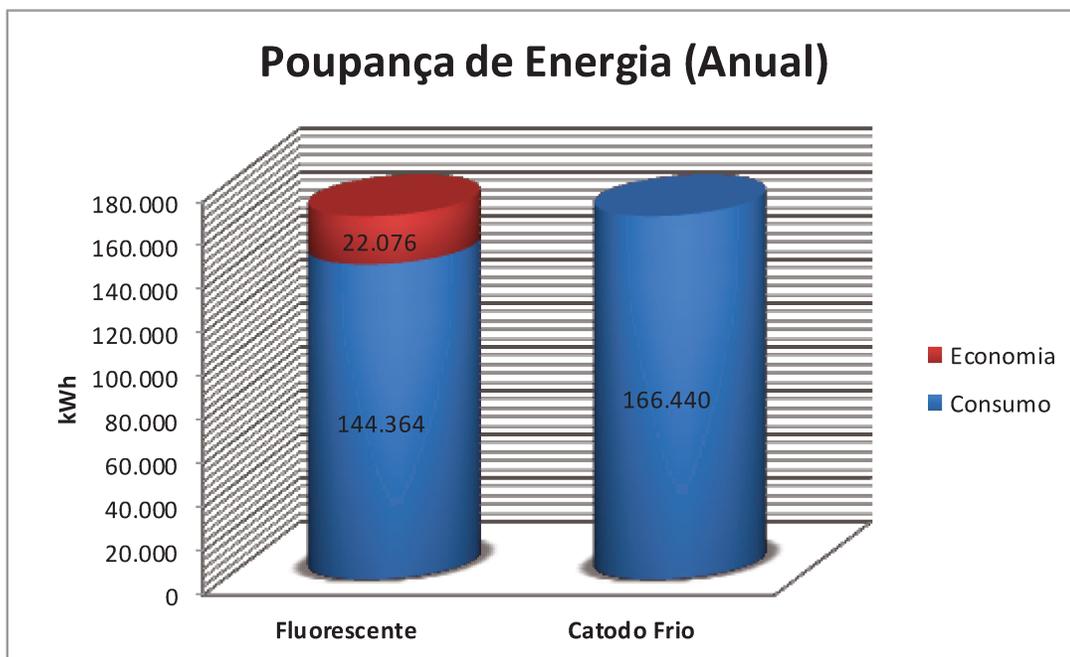


Figura 4-49. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 36W, 4000K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 22% em 10 anos, ou ainda, economia de 31% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-50.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 1.705.205,22	R\$ 1.333.351,50	R\$ 371.853,72	-22%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 5.009.830,81	R\$ 3.462.973,49	R\$ 1.546.857,32	-31%

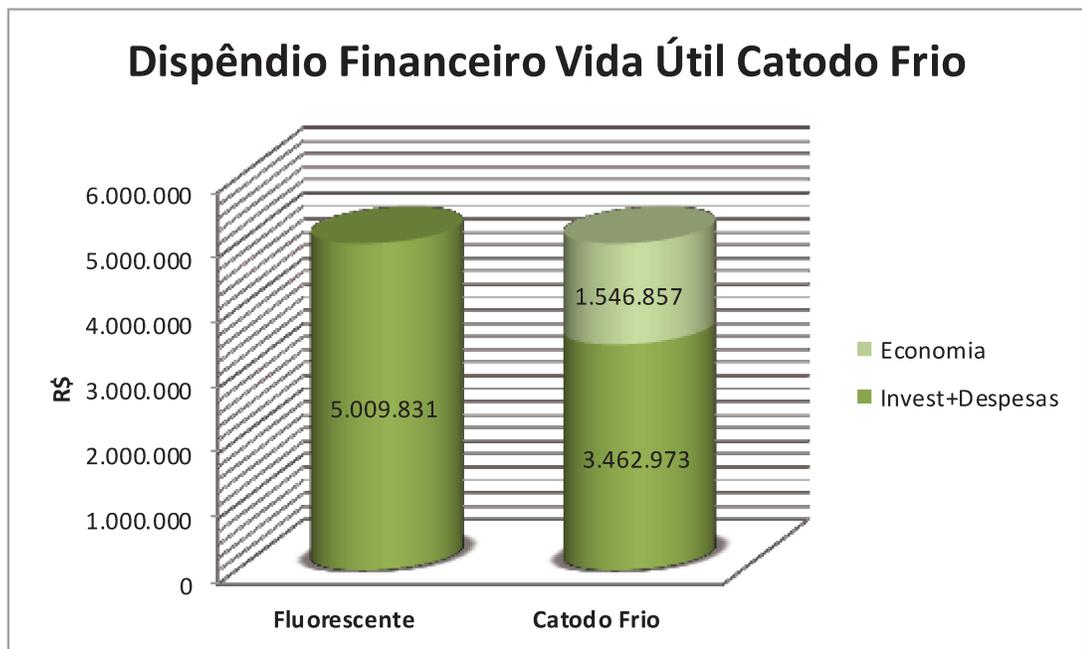
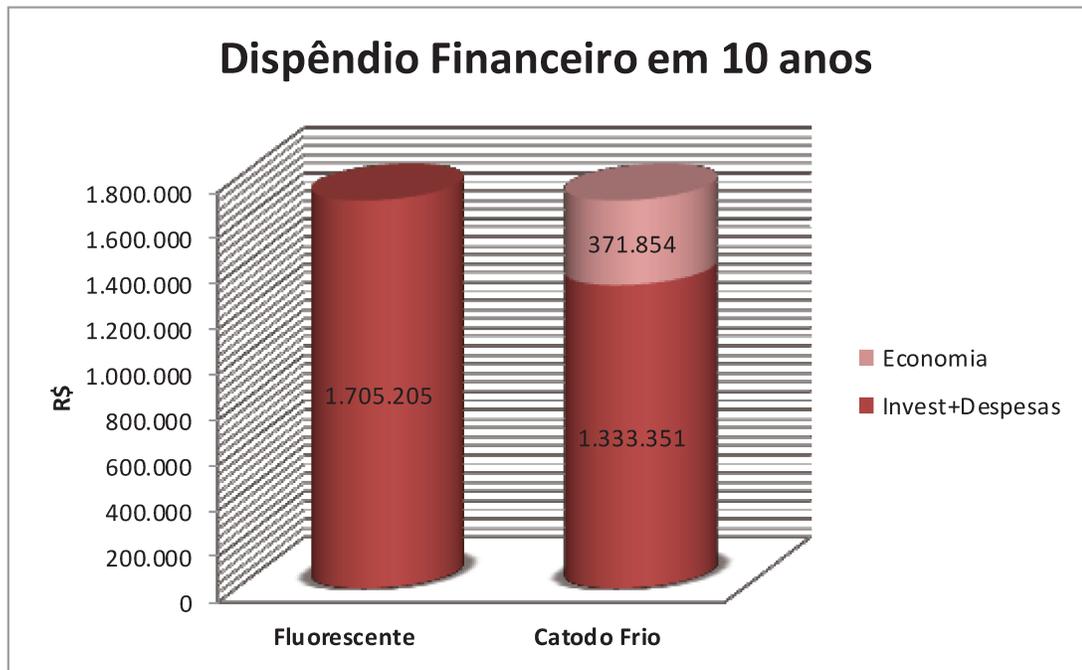


Figura 4-50. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T8, 36W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Tais ganhos econômicos foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 2100Lm/m no catodo frio, cerca de 200 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T8, de 36W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T8, 36W, 4000K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 1,2 ano, e TIR de 182,87% para 10 anos do investimento, ou ainda, 182,93% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-50. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 1300 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
10	26	TL-D 90 De Luxe 36W/940	T8	2.307	-	-	-	-	-	-	-
10	36	TL-D 36W/840 CW G13	T8	2.678	-	-	-	-	-	-	-
10	48	#25 B	LCF	2.100	1	Não	10,77	25,71	4,9	Viável	200 Lm menor
10	47	#25 B	LCF	2.325	1	Não	N/A	19,49	5,9	Viável	Lm equivalente
10	46	#25 B	LCF	1.400	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
10	46	#25 B	LCF	1.400	1	Não	53,54	57,14	2,4	Viável	900 Lm menor
10	46	#25 B	LCF	1.400	1	Sim	44,78	50,17	2,4	Viável	900 Lm menor
10	45	#25 B	LCF	1.550	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
10	45	#25 B	LCF	1.550	1	Não	53,54	57,14	2,4	Viável	TIR menor TMA
10	45	#25 B	LCF	1.550	1	Sim	44,78	50,17	2,4	Viável	750 Lm menor
10	44	#25 B	LCF	1.000	2	Não	24,48	34,30	3,5	Viável	1300 Lm menor
10	44	#25 B	LCF	1.000	1	Não	120,49	120,82	1,2	Viável	1300 Lm menor
10	44	#25 B	LCF	1.000	1	Sim	182,87	182,93	1,2	Viável	1300 Lm menor
10	43	#25 B	LCF	1.150	2	Não	N/A	20,92	5,6	Viável	1150 Lm menor
10	43	#25 B	LCF	1.150	1	Não	87,93	88,96	1,8	Viável	1150 Lm menor
10	43	#25 B	LCF	1.150	1	Sim	99,80	100,58	1,8	Viável	1150 Lm menor

Tabela 4-50. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T8, 36W, 4000K e catodo frio.

4.11. COMPARATIVO 11 – Lâmpada T8, 58W, 4000K

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
11	29	TL-D 90 De Luxe 58W/940	T8	26	3.038	91	4.000	-	-	-
11	48	#25 B	LCF	20	2.100	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não
11	47	#25 B	LCF	18	2.325	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não
11	46	#25 B	LCF	20	1.400	85	4.500	EB3-2120-HP	2	Não
11	45	#25 B	LCF	15	1.550	85	4.500	EB3-2120-HP	2	Não
11	45	#25 B	LCF	15	1.550	85	4.500	EB3-2120-HP	1	Não
11	45	#25 B	LCF	15	1.550	85	4.500	EB3-2120-HP	1	Sim

Tabela 4-51. Comparativo 11: lâmpadas T8, 58W, 4000K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 4000K.

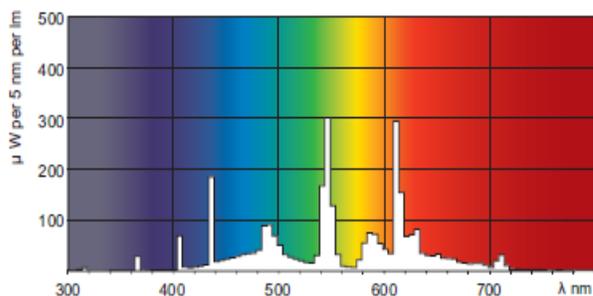


Figura 4-51. Distribuição Espectral de Energia Master TL-D 90 De Luxe 58W/940
Fonte: PHILIPS (2012)

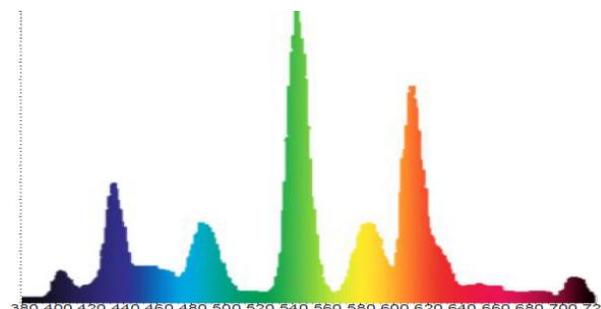


Figura 4-52. Distribuição Espectral de Energia #25 B – 4500K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-51, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL-D 90 De Luxe 58W/940, denominada pelo Código 29 é de 3038 Lm/m. Para temperatura de cor e IRC aproximados, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #25 B – 4500K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-1, pelos códigos 48, 47, 46 e 45 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm, considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP e EB3-2120-HP); ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando

o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes), ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T8 de 58W.

No catodo frio, para o Código 47, o fluxo luminoso é de 2325 Lm/m, com tubo de 18 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-9180-HP, com apenas uma linha de lâmpadas para atingir este fluxo luminoso. Mesmo com redução de cerca de 710 Lm/m, esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 710 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #25 B, código 45, com a lâmpada fluorescente T8, 58W, 4000K, código 29 – conforme demonstrado na tabela 4-52. Esta comparação considera ainda apenas uma linha de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
11	29	TL-D 90 De Luxe 58W/940	T8	26	3.038	91	4.000	-	-	-
11	47	#25 B	LCF	18	2.325	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não

Tabela 4-52. Dados para o comparativo entre T8, 58W, 4000K e catodo frio, com redução de 710Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente		Catodo Frio	
	Código	29	47	
Família	Master TL-D 90 De Luxe		Tecnolux LCF	
Produto	TL-D 90 De Luxe 58W/940		#25 B	
	Reator		Conversor	
Dimmer	não	72	96	
Código	Eco Master		Electronic Converters	
Família	EL 2X55/58/65 TL-D/T 220V 50/60HZ HPF		EB3-9180-HP	
Produto	2		1	
Quantidade lâmpada por reator				
Vida Útil da Lâmpada (horas):				
Com Dimmer - Mais eficiente	não	8.000 horas	100.000 horas	
Sem Dimmer - Menos eficiente	sim	2.000 horas	100.000 horas	
Quantidade lâmpada por reator				
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)		40.000 horas	100.000 horas	
Lâmpadas:				
Quantidade de uso por dia (horas)	12 horas/dia	167 dias	8.333 dias	
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	0,46 anos	22,83 anos	
Reatores/ Conversores Eletrônicos:				
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	9,13 anos	22,83 anos	
Consumo do conjunto (W)		58 W	95 W	
Comprimento lâmpada (mm)		1.514 mm	2.300 mm	
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente		-	1 linha(s) paralela(s)	
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)			1.000 m	
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)				
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		10%	-	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		734 pçs	435 pçs	
		-	435 pçs	
Consumo:				
kWh - consumido pelo sistema		43 kWh	41 kWh	
kWh mês - considerado 12 horas/dia	30 dias	15.322 kWh	14.877 kWh	
kWh ano - considerado 365 dias/ano	365 dias	186.413 kWh	181.004 kWh	
Custo kWh	R\$ 0,47			
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)		R\$ 7.201,16	R\$ 6.992,19	
Custo energia elétrica total - anual (R\$)		R\$ 87.614,14	R\$ 85.071,65	
Diferença custo de energia anual (R\$)		-	-R\$ 2.542,50	
Diferença custo de energia anual (%)			-3%	
Investimento:				
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		734 pçs	-	
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)		367 pçs	-	
Custo por lâmpada (R\$)		R\$ 18,82	-	
Custo por reator eletrônico (R\$)		R\$ 54,11	-	
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)		-	1.000 m	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		-	435 pçs	
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)		-	R\$ 70,00	
Custo por conversor eletrônico		-	R\$ 380,00	
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)		R\$ 13.810,01	R\$ 70.000,00	
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)		R\$ 19.851,94	R\$ 165.300,00	
Investimento Inicial ^(B)		R\$ 33.661,95	R\$ 235.300,00	
Diferença investimento inicial (R\$)		-	R\$ 56.189,99	
Diferença investimento inicial (%)		-	507%	
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)		R\$ 30.382,01	-	
Correção monetária anual - atualização despesas previstas		5%	5%	
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)		R\$ 0,00	R\$ 0,00	

^(A) Lâmpada Fluorescente TL-D 90 De Luxe 58W/940 com 1514,2 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-53. Resultado para o comparativo entre T8, 58W, 4000K e catodo frio, com redução de 710 Lm/m.

A seguir, na tabela 4-54, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL-D 90 De Luxe 58W/940	Catodo Frio #25 B	Diferença	
Inv	-R\$ 121.276,09	-R\$ 320.371,65	-R\$ 199.095,55	
ano 1	-R\$ 138.396,47	-R\$ 89.325,23	-R\$ 150.024,31	
ano 2	-R\$ 145.316,29	-R\$ 93.791,49	-R\$ 98.499,51	
ano 3	-R\$ 152.582,11	-R\$ 98.481,06	-R\$ 44.398,46	
ano 4	-R\$ 160.211,21	-R\$ 103.405,12	R\$ 12.407,63	Payback!
ano 5	-R\$ 168.221,77	-R\$ 108.575,37	R\$ 72.054,03	+
ano 6	-R\$ 176.632,86	-R\$ 114.004,14	R\$ 134.682,76	+
ano 7	-R\$ 185.464,50	-R\$ 119.704,35	R\$ 200.442,91	+
ano 8	-R\$ 194.737,73	-R\$ 125.689,57	R\$ 269.491,08	+
ano 9	-R\$ 204.474,62	-R\$ 131.974,04	R\$ 341.991,65	+
(i) ano 10	-R\$ 247.035,07	-R\$ 138.572,75	R\$ 450.453,98	+
ano 11	-R\$ 225.433,26	-R\$ 145.501,38	R\$ 530.385,86	+
ano 12	-R\$ 236.704,93	-R\$ 152.776,45	R\$ 614.314,34	+
ano 13	-R\$ 248.540,17	-R\$ 160.415,27	R\$ 702.439,24	+
ano 14	-R\$ 260.967,18	-R\$ 168.436,04	R\$ 794.970,38	+
ano 15	-R\$ 274.015,54	-R\$ 176.857,84	R\$ 892.128,08	+
ano 16	-R\$ 287.716,32	-R\$ 185.700,73	R\$ 994.143,67	+
ano 17	-R\$ 302.102,14	-R\$ 194.985,77	R\$ 1.101.260,04	+
ano 18	-R\$ 317.207,24	-R\$ 204.735,06	R\$ 1.213.732,22	+
ano 19	-R\$ 333.067,60	-R\$ 214.971,81	R\$ 1.331.828,02	+
ano 20	-R\$ 402.394,10	-R\$ 225.720,40	R\$ 1.508.501,72	+
ano 21	-R\$ 367.207,03	-R\$ 237.006,42	R\$ 1.638.702,33	+
(ii) ano 22	-R\$ 385.567,39	-R\$ 248.856,74	R\$ 1.775.412,98	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 519.339,23	R\$ 226.282,15	-R\$ 80.520,24
TIR =	16,43%	16,43%	16,43%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 6.105.627,50	R\$ 2.768.367,45	R\$ 543.049,41
TIR =	29,13%	29,13%	29,13%

Tabela 4-54. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpadas T8, 58W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou

agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-54, o *retrofit* se demonstra economicamente viável, com TIR favorável em 16,43%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou ainda 29,13%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T8 de 58W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-53 apresenta *payback* de 4,4 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

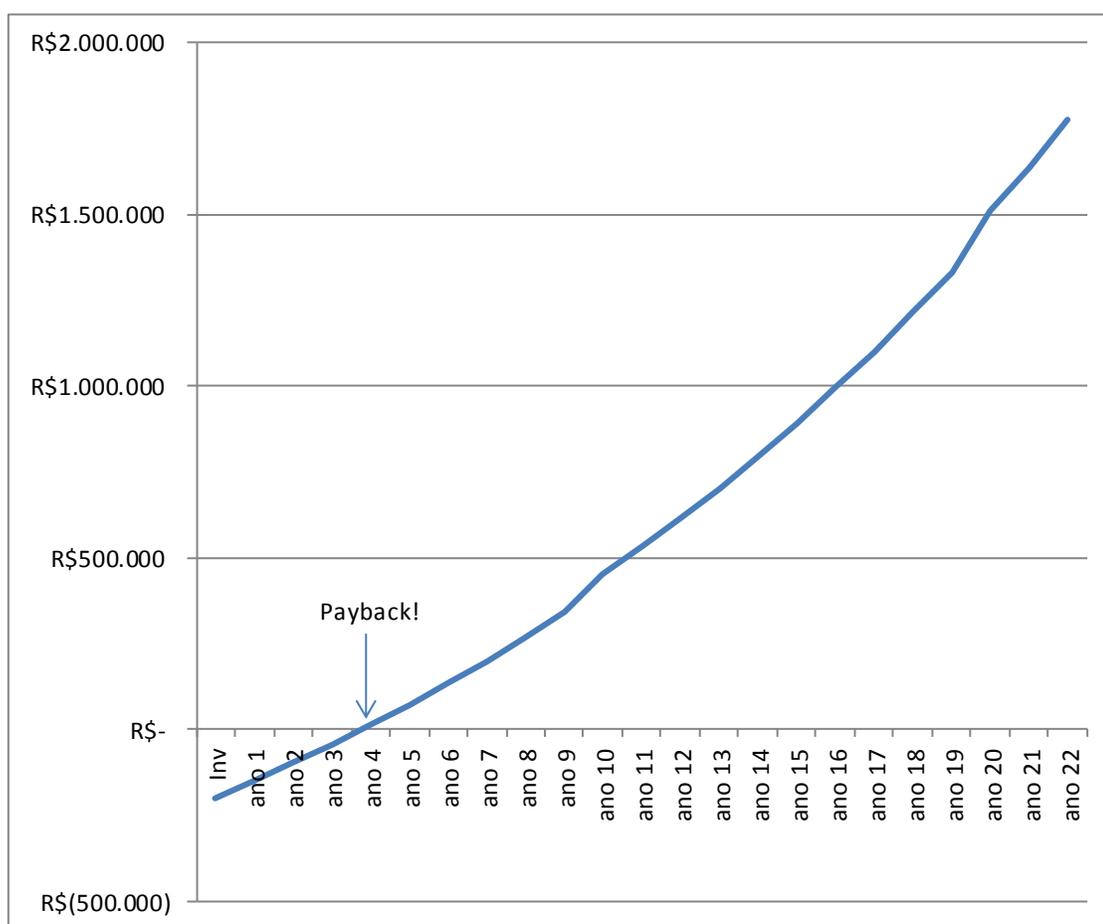


Figura 4-53. *Payback* entre lâmpadas T8, 58W, 4000K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-53 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (507%) e menor consumo de energia elétrica (3%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T8 de 58W, conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)				
	Fluorescente	Catodo Frio		
Período	Consumo	Consumo	Economia	%
Anual	186.413 kWh	181.004 kWh	5.410 kWh	-3%

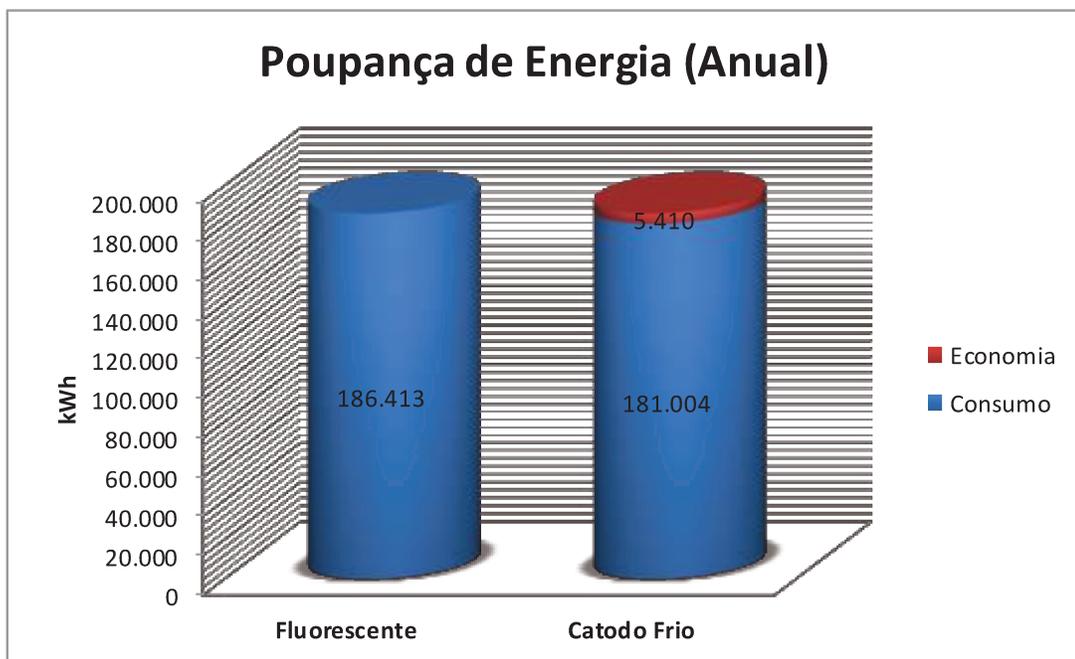


Figura 4-54. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 58W, 4000K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 24% em 10 anos, ou ainda, economia de 32% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-55.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 1.894.348,73	R\$ 1.443.894,75	R\$ 450.453,98	-24%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 5.535.271,65	R\$ 3.759.858,67	R\$ 1.775.412,98	-32%

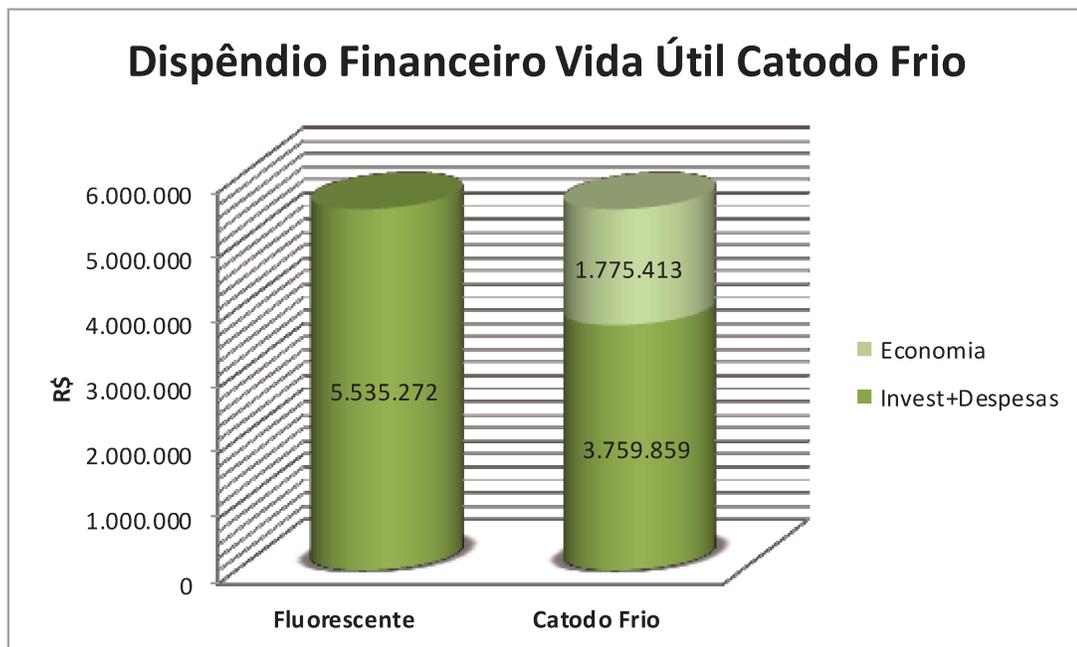
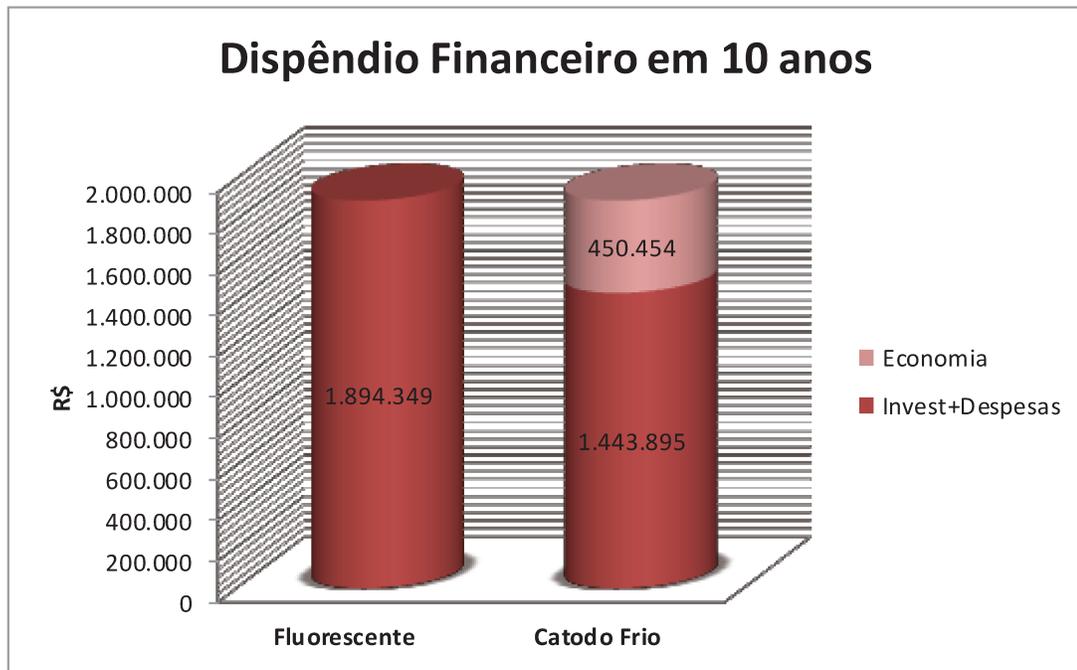


Figura 4-55. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T8, 58W, 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Tais ganhos econômicos foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 2325Lm/m no catodo frio, cerca de 710 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T8, de 58W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T8, 58W, 4000K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 1,9 ano, e TIR de 78,38% para 10 anos do investimento, ou ainda, 79,84% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-55. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 1500 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
11	29	TL-D 90 De Luxe 58W/940	T8	3.038	-	-	-	-	-	-	-
11	48	#25 B	LCF	2.100	1	Não	27,31	36,32	3,5	Viável	940 Lm menor
11	47	#25 B	LCF	2.325	1	Não	16,43	29,13	4,4	Viável	710 Lm menor
11	46	#25 B	LCF	1.400	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
11	45	#25 B	LCF	1.550	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
11	45	#25 B	LCF	1.550	1	Não	78,38	79,84	1,9	Viável	1500 Lm menor
11	45	#25 B	LCF	1.550	1	Sim	70,33	72,43	1,9	Viável	1500 Lm menor

Tabela 4-55. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T8, 58W, 4000K e catodo frio.

4.12. COMPARATIVO 12 – Lâmpada T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
12	21	TL-D 58W/840/GP	T8	26	3.461	85	4.000		-	-
12	48	#25 B	LCF	20	2.100	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não
12	47	#25 B	LCF	18	2.325	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não
12	46	#25 B	LCF	20	1.400	85	4.500	EB3-2120-HP	2	Não
12	46	#25 B	LCF	20	1.400	85	4.500	EB3-2120-HP	1	Não
12	46	#25 B	LCF	20	1.400	85	4.500	EB3-2120-HP	1	Sim
12	45	#25 B	LCF	15	1.550	85	4.500	EB3-2120-HP	2	Não
12	45	#25 B	LCF	15	1.550	85	4.500	EB3-2120-HP	1	Não
12	45	#25 B	LCF	15	1.550	85	4.500	EB3-2120-HP	1	Sim

Tabela 4-56. Comparativo 12: lâmpadas T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 4000K.

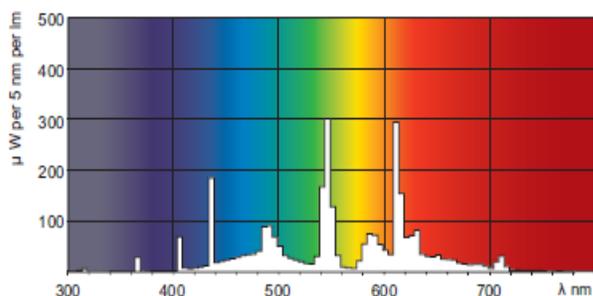


Figura 4-56. Distribuição Espectral de Energia Master TL-D 58W/840
Fonte: PHILIPS (2012)

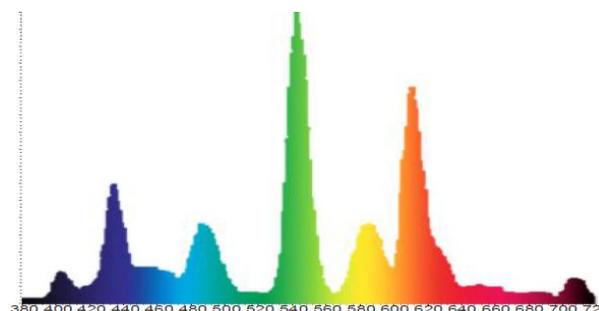


Figura 4-57. Distribuição Espectral de Energia #25 B – 4500K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-56, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL-D 58W/840, denominada pelo Código 21 é de 3461 Lm/m. Para temperatura de cor aproximada e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #25 B – 4500K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-1, pelos códigos 48, 47, 46 e 45 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm, considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP e EB3-2120-HP); ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando

o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes), ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T8 de 58W (maior fluxo luminoso).

No catodo frio, para o Código 47, o fluxo luminoso é de 2325 Lm/m, com tubo de 18 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-9180-HP, com apenas uma linha de lâmpadas para atingir este fluxo luminoso. Mesmo com redução de cerca de 1130 Lm/m, esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 1130 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #25 B, código 47, com a lâmpada fluorescente T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K, código 21 – conforme demonstrado na tabela 4-57. Esta comparação considera ainda apenas uma linha de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
12	21	TL-D 58W/840/GP	T8	26	3.461	85	4.000		-	-
12	47	#25 B	LCF	18	2.325	85	4.500	EB3-9180-HP	1	Não

Tabela 4-57. Dados para o comparativo entre T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio, com redução de 1130Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente	Catodo Frio
Código	21	47
Família	Master TL-D Super 80	Tecnolux LCF
Produto	TL-D 58W/840/GP	#25 B
Dimmer <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	Reator	Conversor
Código	72	96
Família	Eco Master	Electronic Converters
Produto	EL 2X55/58/65 TL-D/T 220V 50/60HZ HPF	EB3-9180-HP
Quantidade lâmpada por reator	2	1
Vida Útil da Lâmpada (horas):		
Com Dimmer - Mais eficiente <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	8.000 horas	100.000 horas
Sem Dimmer - Menos eficiente <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/>	2.000 horas	100.000 horas
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)	40.000 horas	100.000 horas
Lâmpadas:		
Quantidade de uso por dia (horas) <input type="checkbox"/> 12 horas/dia <input type="checkbox"/>	167 dias	8.333 dias
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="checkbox"/> 365 dias/ano <input type="checkbox"/>	0,46 anos	22,83 anos
Reatores/ Conversores Eletrônicos:		
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="checkbox"/> 365 dias/ano <input type="checkbox"/>	9,13 anos	22,83 anos
Consumo do conjunto (W)	58 W	95 W
Comprimento lâmpada (mm)	1.514 mm	2.300 mm
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente	-	1 linha(s) paralela(s)
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)	-	1.000 m
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)	10%	-
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	734 pçs	435 pçs
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	435 pçs
Consumo:		
kWh - consumido pelo sistema	43 kWh	41 kWh
kWh mês - considerado 12 horas/dia <input type="checkbox"/> 30 dias <input type="checkbox"/>	15.322 kWh	14.877 kWh
kWh ano - considerado 365 dias/ano <input type="checkbox"/> 365 dias <input type="checkbox"/>	186.413 kWh	181.004 kWh
Custo kWh <input type="checkbox"/> R\$ 0,47 <input type="checkbox"/>		
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)	R\$ 7.201,16	R\$ 6.992,19
Custo energia elétrica total - anual (R\$)	R\$ 87.614,14	R\$ 85.071,65
Diferença custo de energia anual (R\$)	-	-R\$ 2.542,50
Diferença custo de energia anual (%)		-3%
Investimento:		
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	734 pçs	-
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)	367 pçs	-
Custo por lâmpada (R\$)	R\$ 18,59	-
Custo por reator eletrônico (R\$)	R\$ 54,11	-
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)	-	1.000 m
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	435 pçs
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)	-	R\$ 70,00
Custo por conversor eletrônico	-	R\$ 380,00
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)	R\$ 13.637,56	R\$ 70.000,00
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)	R\$ 19.851,94	R\$ 165.300,00
Investimento Inicial ^(B)	R\$ 33.489,51	R\$ 235.300,00
Diferença investimento inicial (R\$)	-	R\$ 56.362,44
Diferença investimento inicial (%)	-	513%
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)	R\$ 30.002,64	-
Correção monetária anual - atualização despesas previstas	5%	5%
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)	R\$ 0,00	R\$ 0,00

^(A) Lâmpada Fluorescente TL-D 58W/840/GP com 1514,2 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-58. Resultado para o comparativo entre T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio.

A seguir, na tabela 4-59, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL-D 58W/840/GP	Catodo Frio #25 B	Diferença	
Inv	-R\$ 121.103,65	-R\$ 320.371,65	-R\$ 199.267,99	
ano 1	-R\$ 137.817,07	-R\$ 89.325,23	-R\$ 150.776,16	
ano 2	-R\$ 144.707,92	-R\$ 93.791,49	-R\$ 99.859,73	
ano 3	-R\$ 151.943,31	-R\$ 98.481,06	-R\$ 46.397,48	
ano 4	-R\$ 159.540,48	-R\$ 103.405,12	R\$ 9.737,89	Payback!
ano 5	-R\$ 167.517,50	-R\$ 108.575,37	R\$ 68.680,02	+
ano 6	-R\$ 175.893,38	-R\$ 114.004,14	R\$ 130.569,26	+
ano 7	-R\$ 184.688,05	-R\$ 119.704,35	R\$ 195.552,96	+
ano 8	-R\$ 193.922,45	-R\$ 125.689,57	R\$ 263.785,85	+
ano 9	-R\$ 203.618,57	-R\$ 131.974,04	R\$ 335.430,38	+
(i) ano 10	-R\$ 246.136,23	-R\$ 138.572,75	R\$ 442.993,86	+
ano 11	-R\$ 224.489,48	-R\$ 145.501,38	R\$ 521.981,95	+
ano 12	-R\$ 235.713,95	-R\$ 152.776,45	R\$ 604.919,45	+
ano 13	-R\$ 247.499,65	-R\$ 160.415,27	R\$ 692.003,82	+
ano 14	-R\$ 259.874,63	-R\$ 168.436,04	R\$ 783.442,42	+
ano 15	-R\$ 272.868,36	-R\$ 176.857,84	R\$ 879.452,94	+
ano 16	-R\$ 286.511,78	-R\$ 185.700,73	R\$ 980.263,99	+
ano 17	-R\$ 300.837,37	-R\$ 194.985,77	R\$ 1.086.115,59	+
ano 18	-R\$ 315.879,24	-R\$ 204.735,06	R\$ 1.197.259,77	+
ano 19	-R\$ 331.673,20	-R\$ 214.971,81	R\$ 1.313.961,16	+
ano 20	-R\$ 400.929,98	-R\$ 225.720,40	R\$ 1.489.170,74	+
ano 21	-R\$ 365.669,70	-R\$ 237.006,42	R\$ 1.617.834,02	+
(ii) ano 22	-R\$ 383.953,19	-R\$ 248.856,74	R\$ 1.752.930,47	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 491.434,53	R\$ 205.730,07	-R\$ 92.609,71
TIR =	15,88%	15,88%	15,88%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 6.000.781,39	R\$ 2.712.427,36	R\$ 522.102,89
TIR =	28,79%	28,79%	28,79%

Tabela 4-59. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpadas T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou

agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-59, o *retrofit* se demonstra economicamente viável, com TIR favorável em 15,88%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou ainda 28,79%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T8 de 58W (maior fluxo luminoso), durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-58 apresenta *payback* de 4,2 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

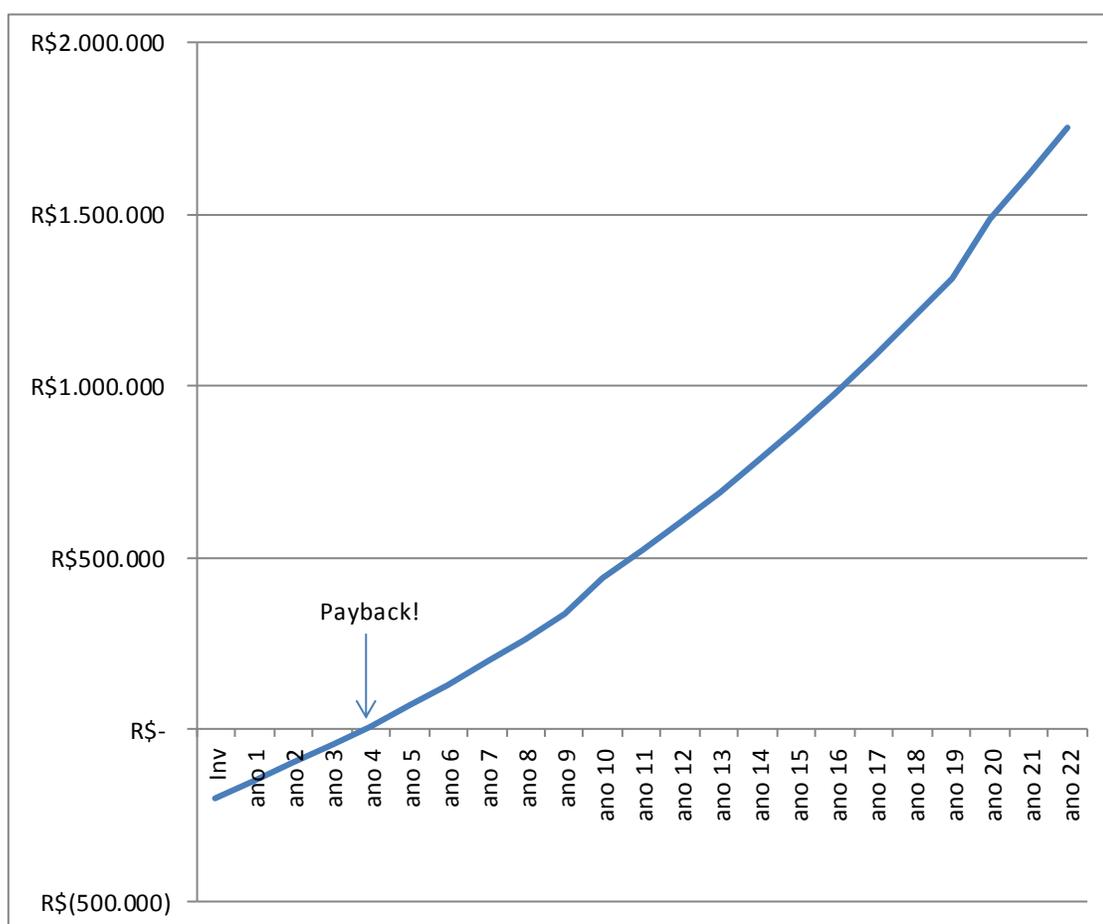


Figura 4-58. *Payback* entre lâmpadas T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-58 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (513%) e menor consumo de energia elétrica (3%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T8 de 58W (maior fluxo luminoso), conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)				
	Fluorescente	Catodo Frio		
Período	Consumo	Consumo	Economia	%
Anual	186.413 kWh	181.004 kWh	5.410 kWh	-3%

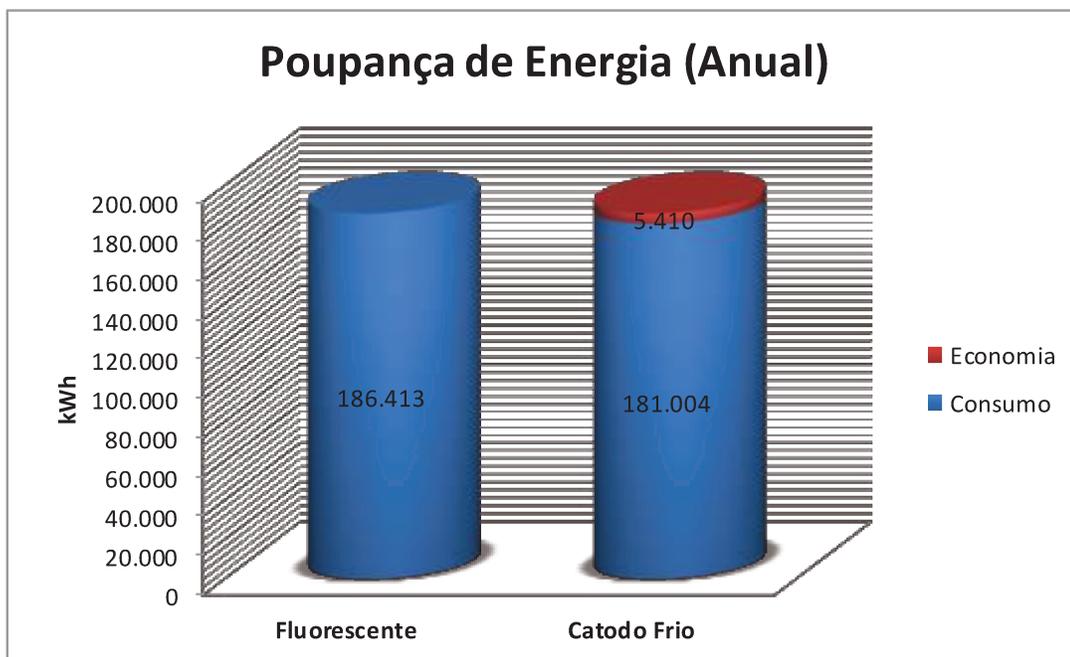


Figura 4-59. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 23% em 10 anos, ou ainda, economia de 32% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-60.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 1.886.888,61	R\$ 1.443.894,75	R\$ 442.993,86	-23%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 5.512.789,14	R\$ 3.759.858,67	R\$ 1.752.930,47	-32%

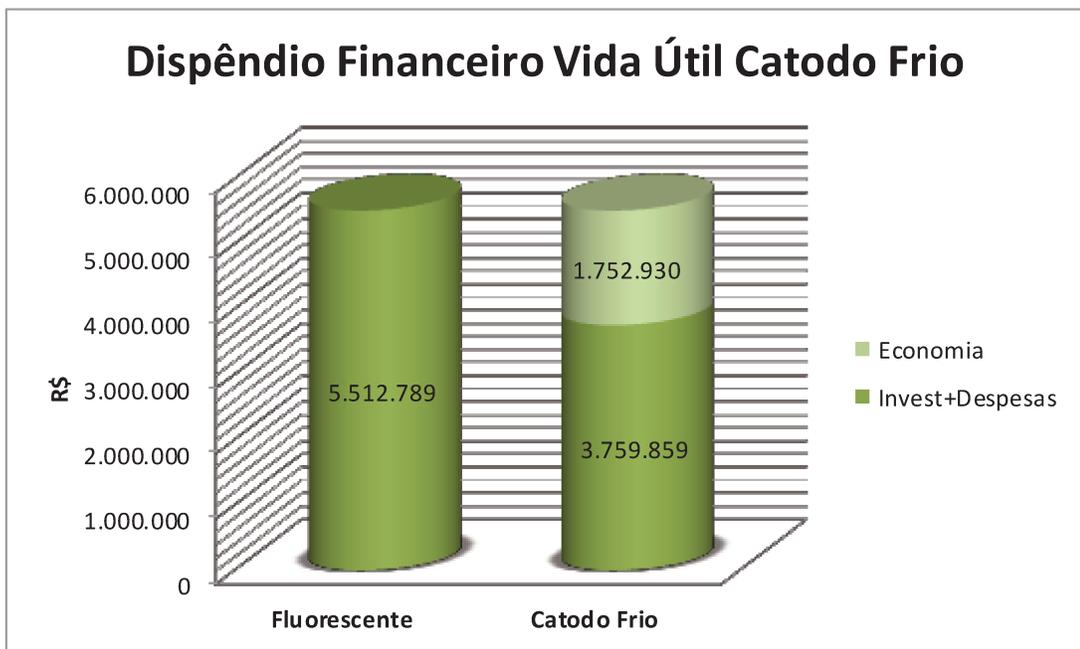
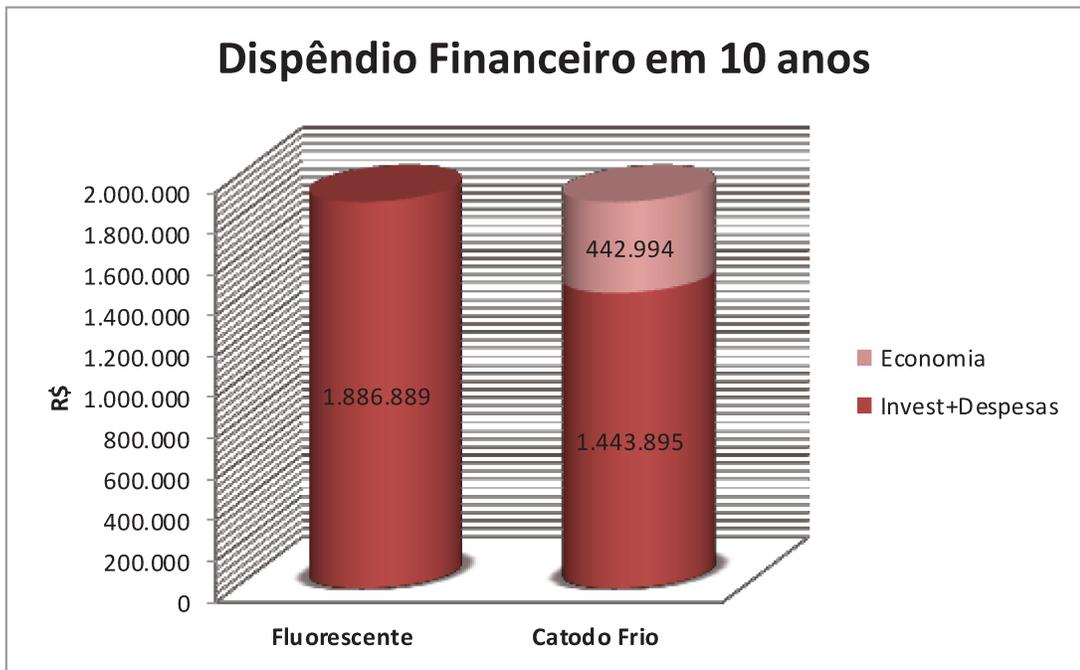


Figura 4-60. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Tais ganhos econômicos foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 2325Lm/m no catodo frio, cerca de 1130 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T8, de 58W (maior fluxo luminoso) comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T5, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 1,9 ano, e TIR de 77,69% para 10 anos do investimento, ou ainda, 79,19% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-60. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 1900 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
12	21	TL-D 58W/840/GP	T8	3.461	-	-	-	-	-	-	-
12	48	#25 B	LCF	2.100	1	Não	26,78	35,95	3,6	Viável	1360 Lm menor
12	47	#25 B	LCF	2.325	1	Não	15,88	28,79	4,2	Viável	1130 Lm menor
12	46	#25 B	LCF	1.400	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
12	46	#25 B	LCF	1.400	1	Não	77,69	79,19	1,9	Viável	2000 Lm menor
12	46	#25 B	LCF	1.400	1	Sim	69,91	72,04	1,9	Viável	2000 Lm menor
12	45	#25 B	LCF	1.550	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
12	45	#25 B	LCF	1.550	1	Não	77,69	79,19	1,9	Viável	1900 Lm menor
12	45	#25 B	LCF	1.550	1	Sim	69,91	72,04	1,9	Viável	1900 Lm menor

Tabela 4-60. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T8, 58W (maior fluxo luminoso), 4000K e catodo frio.

4.13. COMPARATIVO 13 – Lâmpada T5, 28W, 6500K

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
13	5	TL5 HE Eco 25=28W/865	T5	16	2.321	85	6.500		-	-
13	19	TL5 ESS 28W/865	T5	16	2.321	80	6.500		-	-
13	54	#66	LCF	20	2.475	85	6.500	EB3-9180-HP	1	Não
13	53	#66	LCF	18	2.700	85	6.500	EB3-9180-HP	1	Não
13	52	#66	LCF	20	1.650	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Não
13	51	#66	LCF	15	1.800	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Não
13	50	#66	LCF	20	1.100	85	6.500	EB3-5060-HP	2	Não
13	50	#66	LCF	20	1.100	85	6.500	EB3-5060-HP	1	Não
13	50	#66	LCF	20	1.100	85	6.500	EB3-5060-HP	1	Sim
13	49	#66	LCF	15	1.300	85	6.500	EB3-5060-HP	2	Não
13	49	#66	LCF	15	1.300	85 <td 6.500	EB3-5060-HP	1	Não	
13	49	#66	LCF	15	1.300	85	6.500	EB3-5060-HP	1	Sim

Tabela 4-61. Comparativo 13: lâmpadas T5, 28W, 6500K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 6500K.

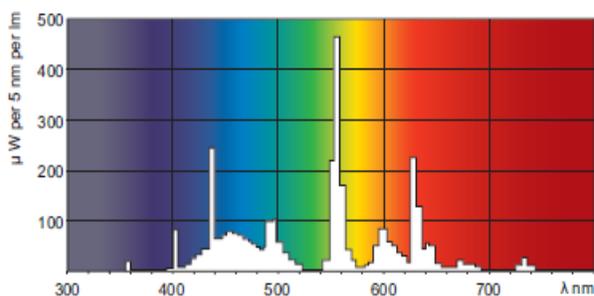


Figura 4-61. Distribuição Espectral de Energia Master TL5 High Efficiency Eco 25=28W/865
Fonte: PHILIPS (2012)

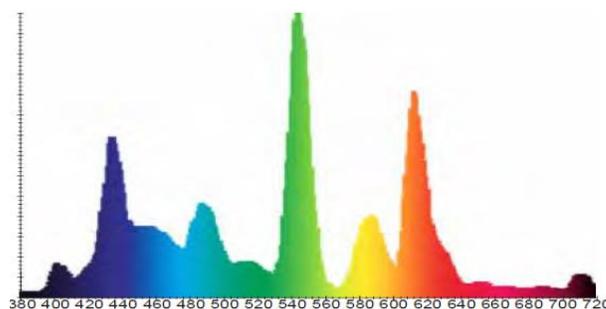


Figura 4-62. Distribuição Espectral de Energia #66 – 6500K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-61, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL5 HE Eco 25=28W/865, denominada pelo Código 5 e pela lâmpada fluorescente TL5 ESS 28W/865, Código 19, é de 2321 Lm/m. Para a mesma temperatura de cor e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #66 – 6500K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-1, pelos códigos 54, 53, 52, 51, 50 e 49 –

alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm, considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP, EB3-2120-HP e EB3-5060-HP); ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes), ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T5 de 28W.

No catodo frio, para o Código 51, o fluxo luminoso é de 1800 Lm/m, com tubo de 15 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-2120-HP, com apenas uma linha de lâmpadas para atingir este fluxo luminoso. Mesmo com redução de cerca de 520 Lm/m, esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 520 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #66, código 51, com a lâmpada fluorescente T5, 28W, 6500K, código 5 – conforme demonstrado na tabela 4-62. Esta comparação considera ainda apenas uma linha de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compara-tivo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
13	5	TL5 HE Eco 25=28W/865	T5	16	2.321	85	6.500		-	-
13	51	#66	LCF	15	1.800	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Não

Tabela 4-62. Dados para o comparativo entre T5, 28W, 6500K e catodo frio, com redução de 520Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente		Catodo Frio
	Código	5	51
Família	Master TL5 High Efficiency Eco	Tecnolux LCF	
Produto	TL5 HE Eco 25=28W/865	#66	
Dimmer <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	Reator	Conversor	
Código	62	94	
Família	Basic T5	Electronic Converters	
Produto	EL 2X28W TL5 220V 50/60HZ HPF	EB3-2120-HP	
Quantidade lâmpada por reator	2	2	
Vida Útil da Lâmpada (horas):			
Com Dimmer - Mais eficiente <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	16.000 horas	100.000 horas	
Sem Dimmer - Menos eficiente <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/>	2.000 horas	100.000 horas	
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)	40.000 horas	100.000 horas	
Lâmpadas:			
Quantidade de uso por dia (horas) <input type="checkbox"/> 12 horas/dia <input type="checkbox"/>	167 dias	8.333 dias	
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="checkbox"/> 365 dias/ano <input type="checkbox"/>	0,46 anos	22,83 anos	
Reatores/ Conversores Eletrônicos:			
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="checkbox"/> 365 dias/ano <input type="checkbox"/>	9,13 anos	22,83 anos	
Consumo do conjunto (W)	25 W	95 W	
Comprimento lâmpada (mm)	1.163 mm	1.800 mm	
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente	-	1 linha(s) paralela(s)	
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)	-	1.000 m	
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)	10%	-	
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	955 pçs	556 pçs	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	278 pçs	
Consumo:			
kWh - consumido pelo sistema	24 kWh	26 kWh	
kWh mês - considerado 12 horas/dia <input type="checkbox"/> 30 dias <input type="checkbox"/>	8.597 kWh	9.508 kWh	
kWh ano - considerado 365 dias/ano <input type="checkbox"/> 365 dias <input type="checkbox"/>	104.597 kWh	115.676 kWh	
Custo kWh <input type="checkbox"/> R\$ 0,47 <input type="checkbox"/>			
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)	R\$ 4.040,58	R\$ 4.468,57	
Custo energia elétrica total - anual (R\$)	R\$ 49.160,36	R\$ 54.367,63	
Diferença custo de energia anual (R\$)	-	R\$ 5.207,26	
Diferença custo de energia anual (%)		11%	
Investimento:			
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	955 pçs	-	
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)	478 pçs	-	
Custo por lâmpada (R\$)	R\$ 15,91	-	
Custo por reator eletrônico (R\$)	R\$ 35,55	-	
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)	-	1.000 m	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	278 pçs	
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)	-	R\$ 70,00	
Custo por conversor eletrônico	-	R\$ 380,00	
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)	R\$ 15.197,54	R\$ 70.000,00	
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)	R\$ 16.980,62	R\$ 105.640,00	
Investimento Inicial ^(B)	R\$ 32.178,15	R\$ 175.640,00	
Diferença investimento inicial (R\$)	-	R\$ 54.802,46	
Diferença investimento inicial (%)	-	461%	
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)	R\$ 33.434,59	-	
Correção monetária anual - atualização despesas previstas	5%	5%	
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)	R\$ 0,00	R\$ 0,00	

^(A) Lâmpada Fluorescente TL5 HE Eco 25=28W/865 com 1163,2 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-63. Resultado para o comparativo entre T5, 28W, 6500K e catodo frio, com redução de 520Lm/m.

A seguir, na tabela 4-64, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL5 HE Eco 25=28W/865	Catodo Frio #66	Diferença	
Inv	-R\$ 81.338,52	-R\$ 230.007,63	-R\$ 148.669,11	
ano 1	-R\$ 102.682,11	-R\$ 57.086,01	-R\$ 103.073,00	
ano 2	-R\$ 107.816,22	-R\$ 59.940,31	-R\$ 55.197,09	
ano 3	-R\$ 113.207,03	-R\$ 62.937,32	-R\$ 4.927,39	
ano 4	-R\$ 118.867,38	-R\$ 66.084,19	R\$ 47.855,80	Payback!
ano 5	-R\$ 124.810,75	-R\$ 69.388,40	R\$ 103.278,16	+
ano 6	-R\$ 131.051,29	-R\$ 72.857,82	R\$ 161.471,62	+
ano 7	-R\$ 137.603,85	-R\$ 76.500,71	R\$ 222.574,77	+
ano 8	-R\$ 144.484,04	-R\$ 80.325,74	R\$ 286.733,06	+
ano 9	-R\$ 151.708,25	-R\$ 84.342,03	R\$ 354.099,28	+
(i) ano 10	-R\$ 186.953,29	-R\$ 88.559,13	R\$ 452.493,44	+
ano 11	-R\$ 167.258,34	-R\$ 92.987,09	R\$ 526.764,69	+
ano 12	-R\$ 175.621,26	-R\$ 97.636,45	R\$ 604.749,50	+
ano 13	-R\$ 184.402,32	-R\$ 102.518,27	R\$ 686.633,55	+
ano 14	-R\$ 193.622,44	-R\$ 107.644,18	R\$ 772.611,81	+
ano 15	-R\$ 203.303,56	-R\$ 113.026,39	R\$ 862.888,98	+
ano 16	-R\$ 213.468,74	-R\$ 118.677,71	R\$ 957.680,01	+
ano 17	-R\$ 224.142,17	-R\$ 124.611,59	R\$ 1.057.210,59	+
ano 18	-R\$ 235.349,28	-R\$ 130.842,17	R\$ 1.161.717,70	+
ano 19	-R\$ 247.116,75	-R\$ 137.384,28	R\$ 1.271.450,16	+
ano 20	-R\$ 304.527,21	-R\$ 144.253,50	R\$ 1.431.723,88	+
ano 21	-R\$ 272.446,21	-R\$ 151.466,17	R\$ 1.552.703,92	+
(ii) ano 22	-R\$ 286.068,52	-R\$ 159.039,48	R\$ 1.679.732,96	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 797.928,33	R\$ 468.876,60	R\$ 113.422,72
TIR =	26,18%	26,18%	26,18%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 6.169.090,95	R\$ 2.918.513,90	R\$ 716.909,34
TIR =	35,53%	35,53%	35,53%

Tabela 4-64. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpadas T5, 28W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois

dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-64, o *retrofit* se demonstra economicamente viável, com TIR bastante favorável em 26,18%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou ainda 35,53%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T5 de 28W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-63 apresenta *payback* de 3,7 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

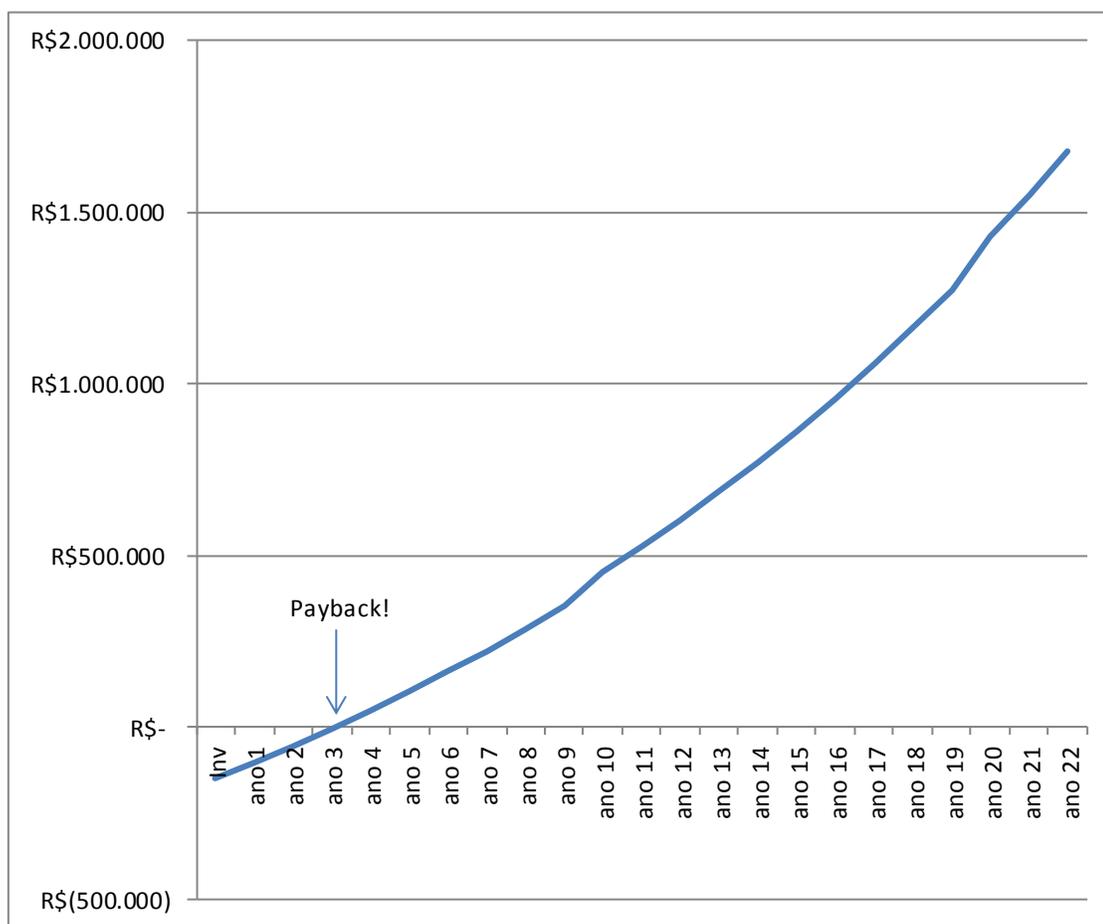


Figura 4-63. *Payback* entre lâmpadas T5, 28W, 6500K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-63 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (461%) e maior consumo de energia elétrica (11%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T5 de 28W, conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)			
	Fluorescente	Catodo Frio	
Período	Consumo	Consumo	Economia
Anual	104.597 kWh	115.676 kWh	-11.079 kWh
			11%

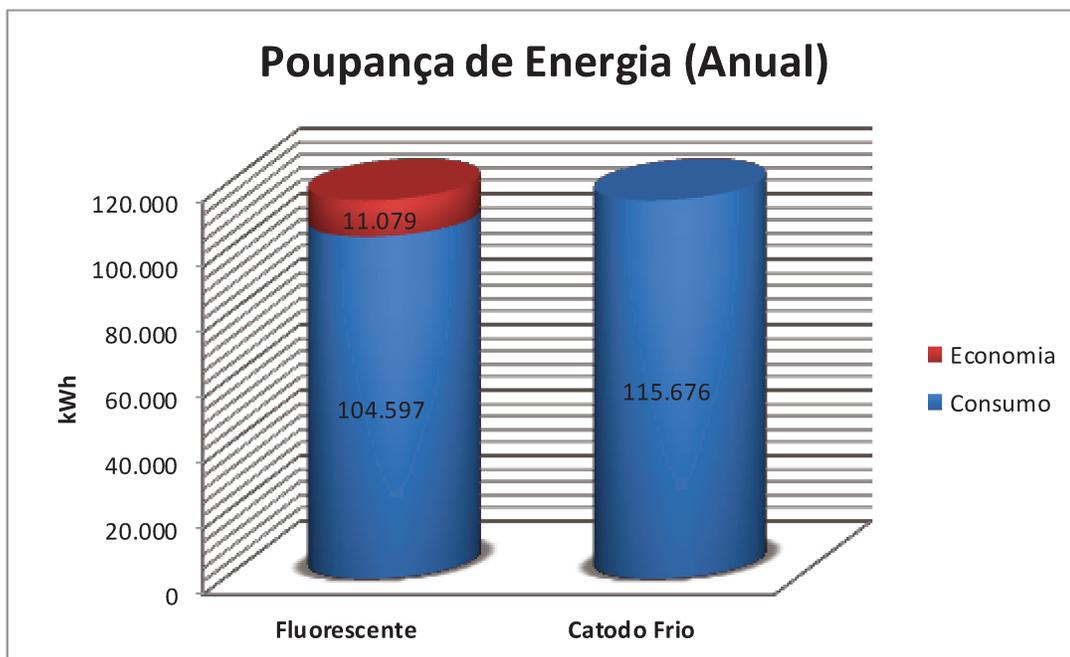


Figura 4-64. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 28W, 6500K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 32% em 10 anos, ou ainda, economia de 41% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-65.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 1.400.522,73	R\$ 948.029,29	R\$ 452.493,44	-32%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 4.107.849,54	R\$ 2.428.116,58	R\$ 1.679.732,96	-41%

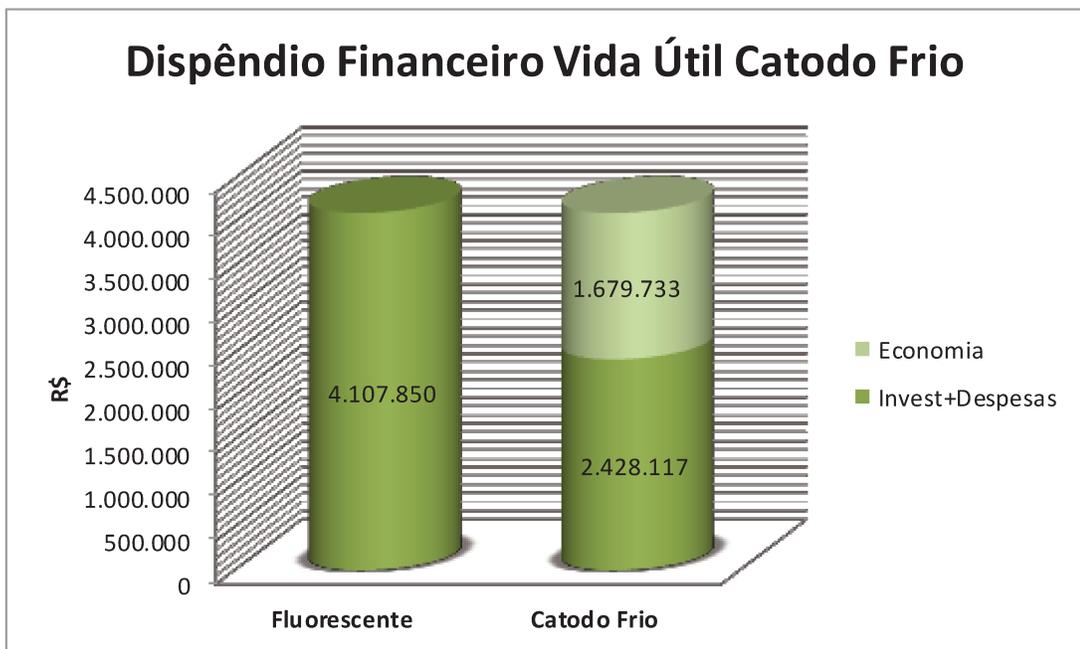
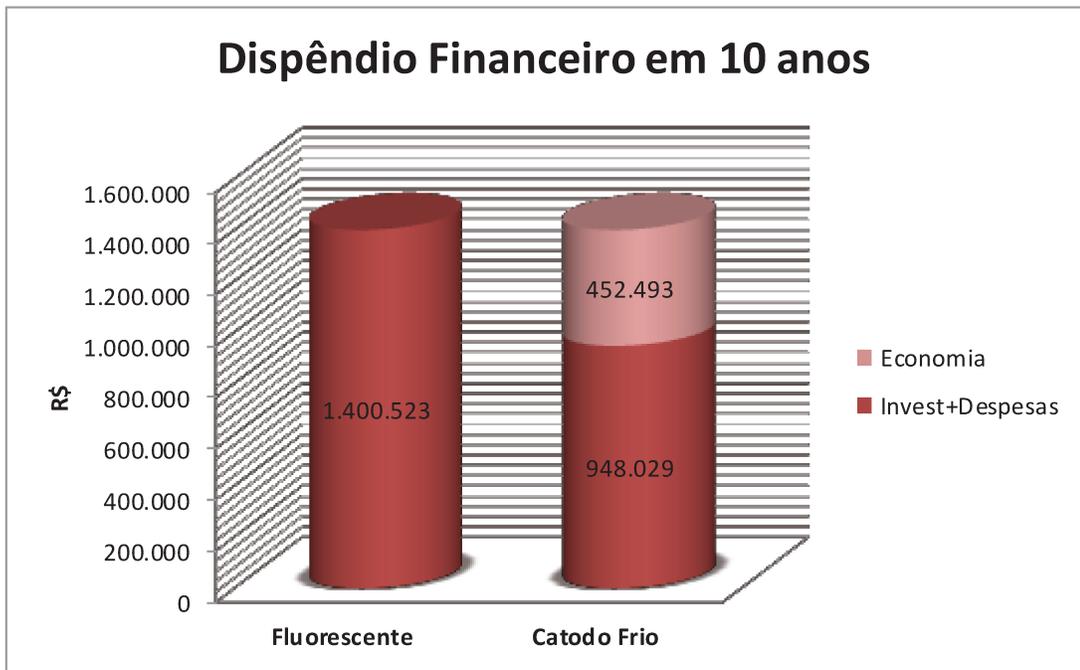


Figura 4-65. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T5, 28W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Tais ganhos econômicos foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 1800Lm/m no catodo frio, cerca de 520 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T5, de 28W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T5, 28W, 6500K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 2 anos, e TIR de 74,26% para 10 anos do investimento, ou ainda, 75,96% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-65. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 1200 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
13	5	TL5 HE Eco 25=28W/865	T5	2.321	-	-	-	-	-	-	-
13	19	TL5 ESS 28W/865	T5	2.321	-	-	-	-	-	-	-
13	54	#66	LCF	2.475	1	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
13	53	#66	LCF	2.700	1	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
13	52	#66	LCF	1.650	1	Não	26,18	35,53	3,7	Viável	670 Lm menor
13	51	#66	LCF	1.800	1	Não	26,18	35,53	3,7	Viável	520 Lm menor
13	50	#66	LCF	1.100	2	Não	N/A	18,20	6,2	Viável	1200 Lm menor
13	50	#66	LCF	1.100	1	Não	74,26	75,96	2,0	Viável	1200 Lm menor
13	50	#66	LCF	1.100	1	Sim	35,51	43,13	3,6	Viável	1200 Lm menor
13	49	#66	LCF	1.300	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
13	49	#66	LCF	1.300	1	Não	53,12	56,79	2,4	Viável	1000 Lm menor
13	49	#66	LCF	1.300	1	Sim	11,15	27,03	4,2	Viável	1000 Lm menor

Tabela 4-65. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T5, 28W, 6500K e catodo frio.

4.14. COMPARATIVO 14 – Lâmpada T5, 54W, 6500K

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
14	8	TL5 HO Eco 50=54W/865	T5	16	3.998	85	6.500		-	-
14	54	#66	LCF	20	2.475	85	6.500	EB3-9180-HP	1	Não
14	53	#66	LCF	18	2.700	85	6.500	EB3-9180-HP	1	Não
14	52	#66	LCF	20	1.650	85	6.500	EB3-2120-HP	2	Não
14	51	#66	LCF	15	1.800	85	6.500	EB3-2120-HP	2	Não
14	51	#66	LCF	15	1.800	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Não
14	51	#66	LCF	15	1.800	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Sim

Tabela 4-66. Comparativo 14: lâmpadas T5, 54W, 6500K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 6500K.

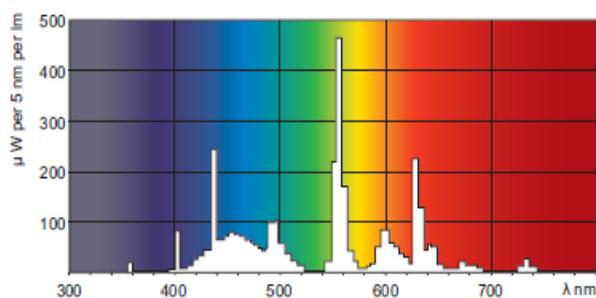


Figura 4-66. Distribuição Espectral de Energia Master TL5 HO Eco 50=54W/865
Fonte: PHILIPS (2012)



Figura 4-67. Distribuição Espectral de Energia #66 – 6500K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-66, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL5 HO Eco 50=54W/865, denominada pelo Código 8 é de 3998 Lm/m. Para a mesma temperatura de cor e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #66 – 6500K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-66, pelos códigos 54, 53, 52 e 51 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm, considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP e EB3-2120-HP); ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes),

ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T5 de 54W.

No catodo frio, para o Código 53, o fluxo luminoso é de 2700 Lm/m, com tubo de 18 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-9180-HP, com apenas uma linha de lâmpadas para atingir este fluxo luminoso. Mesmo com redução de cerca de 1300 Lm/m, esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 1300 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #66, código 53, com a lâmpada fluorescente T5, 54W, 6500K, código 8 – conforme demonstrado na tabela 4-67. Esta comparação considera ainda apenas uma linha de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
14	8	TL5 HO Eco 50=54W/865	T5	16	3.998	85	6.500		-	-
14	53	#66	LCF	18	2.700	85	6.500	EB3-9180-HP	1	Não

Tabela 4-67. Dados para o comparativo entre T5, 54W, 6500K e catodo frio, com redução de 1300 Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente	Catodo Frio
Código	8	53
Família	Master TL5 High Output Eco	Tecnolux LCF
Produto	TL5 HO Eco 50=54W/865	#66
Dimmer <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	Reator	Conversor
Código	63	96
Família	Basic T5	Electronic Converters
Produto	EL 2X54W TL5 220V 50/60HZ HPF	EB3-9180-HP
Quantidade lâmpada por reator	2	1
Vida Útil da Lâmpada (horas):		
Com Dimmer - Mais eficiente <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	16.000 horas	100.000 horas
Sem Dimmer - Menos eficiente <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/>	2.000 horas	100.000 horas
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)	40.000 horas	100.000 horas
Lâmpadas:		
Quantidade de uso por dia (horas) <input type="checkbox"/> 12 horas/dia <input type="checkbox"/>	167 dias	8.333 dias
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="checkbox"/> 365 dias/ano <input type="checkbox"/>	0,46 anos	22,83 anos
Reatores/ Conversores Eletrônicos:		
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="checkbox"/> 365 dias/ano <input type="checkbox"/>	9,13 anos	22,83 anos
Consumo do conjunto (W)	50 W	95 W
Comprimento lâmpada (mm)	1.163 mm	2.300 mm
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente	-	1 linha(s) paralela(s)
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)	-	1.000 m
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)	10%	-
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	955 pçs	435 pçs
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	435 pçs
Consumo:		
kWh - consumido pelo sistema	48 kWh	41 kWh
kWh mês - considerado 12 horas/dia <input type="checkbox"/> 30 dias <input type="checkbox"/>	17.194 kWh	14.877 kWh
kWh ano - considerado 365 dias/ano <input type="checkbox"/> 365 dias <input type="checkbox"/>	209.193 kWh	181.004 kWh
Custo kWh <input type="checkbox"/> R\$ 0,47 <input type="checkbox"/>		
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)	R\$ 8.081,16	R\$ 6.992,19
Custo energia elétrica total - anual (R\$)	R\$ 98.320,72	R\$ 85.071,65
Diferença custo de energia anual (R\$)	-	-R\$ 13.249,08
Diferença custo de energia anual (%)		-13%
Investimento:		
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	955 pçs	-
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)	478 pçs	-
Custo por lâmpada (R\$)	R\$ 20,03	-
Custo por reator eletrônico (R\$)	R\$ 37,25	-
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)	-	1.000 m
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	435 pçs
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)	-	R\$ 70,00
Custo por conversor eletrônico	-	R\$ 380,00
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)	R\$ 19.133,04	R\$ 70.000,00
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)	R\$ 17.792,55	R\$ 165.300,00
Investimento Inicial ^(B)	R\$ 36.925,59	R\$ 235.300,00
Diferença investimento inicial (R\$)	-	R\$ 50.866,96
Diferença investimento inicial (%)	-	366%
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)	R\$ 42.092,69	-
Correção monetária anual - atualização despesas previstas	5%	5%
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)	R\$ 0,00	R\$ 0,00

^(A) Lâmpada Fluorescente TL5 HO Eco 50=54W/865 com 1163,2 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-68. Resultado para o comparativo entre T5, 54W, 6500K e catodo frio, com redução de 1300 Lm/m.

A seguir, na tabela 4-69, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL5 HO Eco 50=54W/865	Catodo Frio #66	Diferença	
Inv	-R\$ 135.246,32	-R\$ 320.371,65	-R\$ 185.125,33	
ano 1	-R\$ 167.523,78	-R\$ 89.325,23	-R\$ 106.926,77	
ano 2	-R\$ 175.899,97	-R\$ 93.791,49	-R\$ 24.818,28	
ano 3	-R\$ 184.694,97	-R\$ 98.481,06	R\$ 61.395,63	Payback!
ano 4	-R\$ 193.929,72	-R\$ 103.405,12	R\$ 151.920,23	+
ano 5	-R\$ 203.626,21	-R\$ 108.575,37	R\$ 246.971,07	+
ano 6	-R\$ 213.807,52	-R\$ 114.004,14	R\$ 346.774,45	+
ano 7	-R\$ 224.497,89	-R\$ 119.704,35	R\$ 451.567,99	+
ano 8	-R\$ 235.722,79	-R\$ 125.689,57	R\$ 561.601,22	+
ano 9	-R\$ 247.508,93	-R\$ 131.974,04	R\$ 677.136,10	+
(i) ano 10	-R\$ 288.866,57	-R\$ 138.572,75	R\$ 827.429,92	+
ano 11	-R\$ 272.878,59	-R\$ 145.501,38	R\$ 954.807,13	+
ano 12	-R\$ 286.522,52	-R\$ 152.776,45	R\$ 1.088.553,20	+
ano 13	-R\$ 300.848,65	-R\$ 160.415,27	R\$ 1.228.986,58	+
ano 14	-R\$ 315.891,08	-R\$ 168.436,04	R\$ 1.376.441,62	+
ano 15	-R\$ 331.685,64	-R\$ 176.857,84	R\$ 1.531.269,42	+
ano 16	-R\$ 348.269,92	-R\$ 185.700,73	R\$ 1.693.838,60	+
ano 17	-R\$ 365.683,41	-R\$ 194.985,77	R\$ 1.864.536,25	+
ano 18	-R\$ 383.967,58	-R\$ 204.735,06	R\$ 2.043.768,77	+
ano 19	-R\$ 403.165,96	-R\$ 214.971,81	R\$ 2.231.962,93	+
ano 20	-R\$ 470.533,20	-R\$ 225.720,40	R\$ 2.476.775,72	+
ano 21	-R\$ 444.490,47	-R\$ 237.006,42	R\$ 2.684.259,78	+
(ii) ano 22	-R\$ 466.715,00	-R\$ 248.856,74	R\$ 2.902.118,03	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 1.966.319,38	R\$ 1.296.042,04	R\$ 554.217,08
TIR =	41,79%	41,79%	41,79%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 11.425.247,22	R\$ 5.620.016,91	R\$ 1.624.076,45
TIR =	47,27%	47,27%	47,27%

Tabela 4-69. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpadas T5, 54W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois

dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-69, o *retrofit* se demonstra economicamente viável, com TIR bastante favorável em 41,79%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou ainda 47,27%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T5 de 54W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-68 apresenta *payback* de 2,6 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

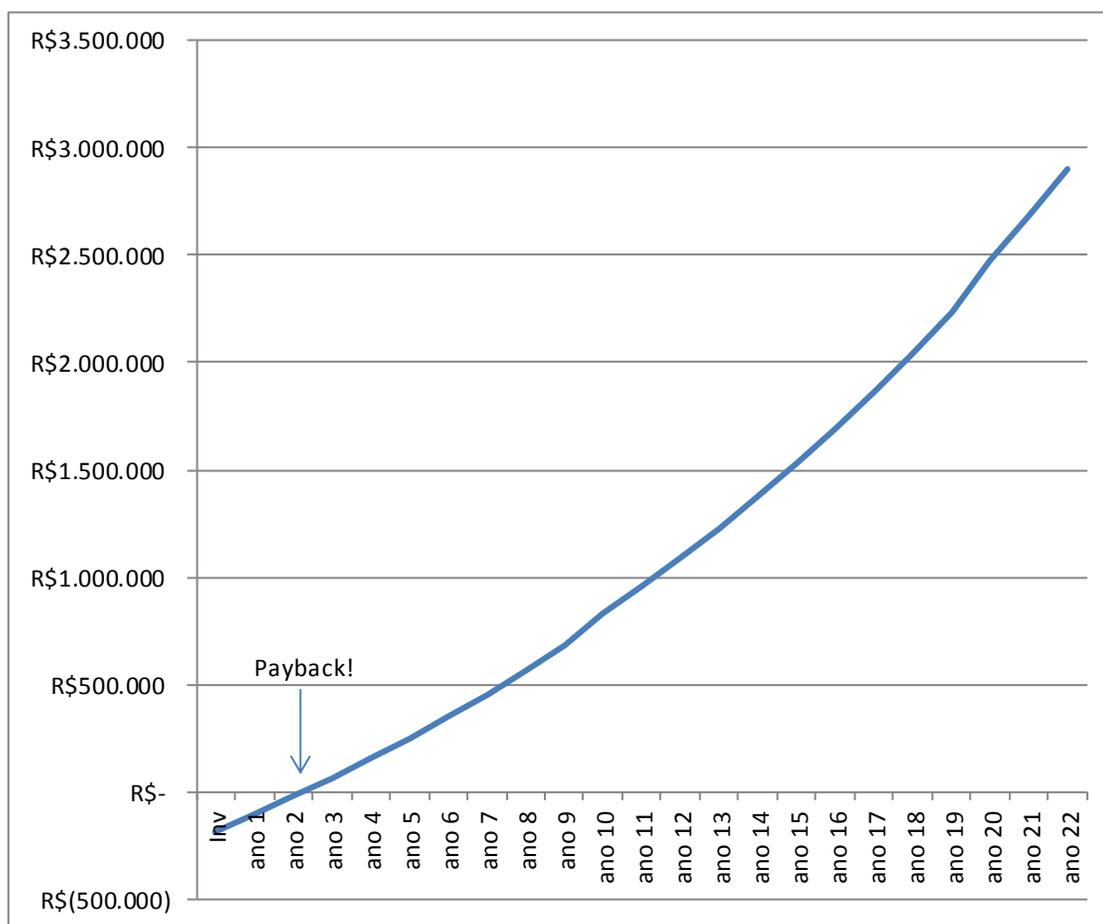


Figura 4-68. *Payback* entre lâmpadas T5, 54W, 6500K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-68 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (366%) e menor consumo de energia elétrica (13%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T5 de 54W, conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)			
	Fluorescente	Catodo Frio	
Período	Consumo	Consumo	Economia
Anual	209.193 kWh	181.004 kWh	28.190 kWh
			%
			-13%

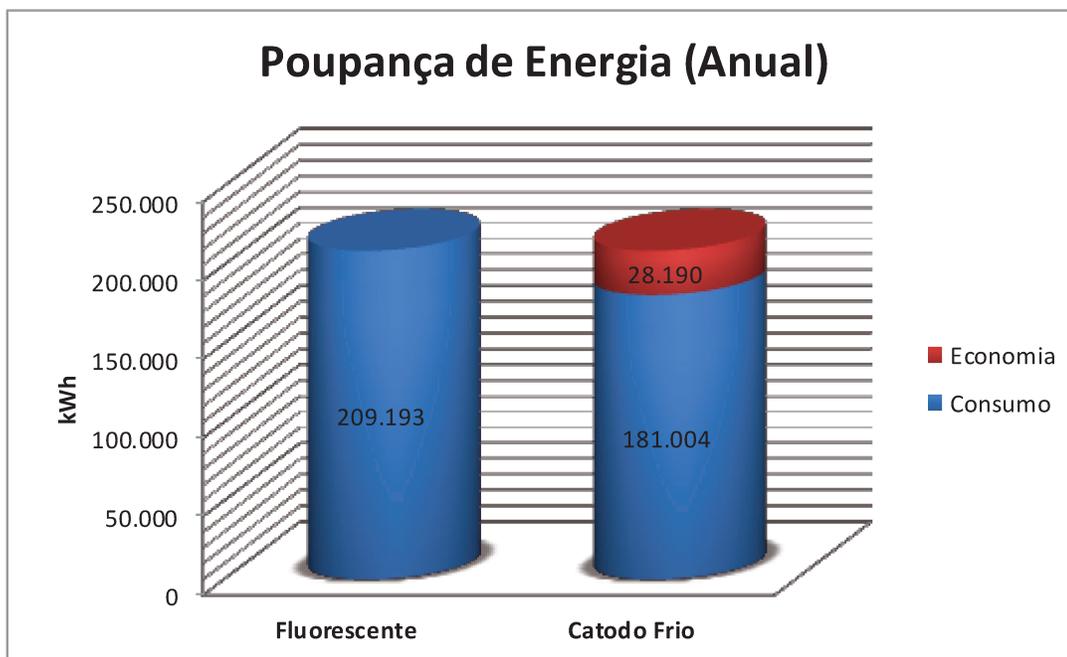


Figura 4-69. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T5, 54W, 6500K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 36% em 10 anos, ou ainda, economia de 44% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-70.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 2.271.324,68	R\$ 1.443.894,75	R\$ 827.429,92	-36%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 6.661.976,71	R\$ 3.759.858,67	R\$ 2.902.118,03	-44%

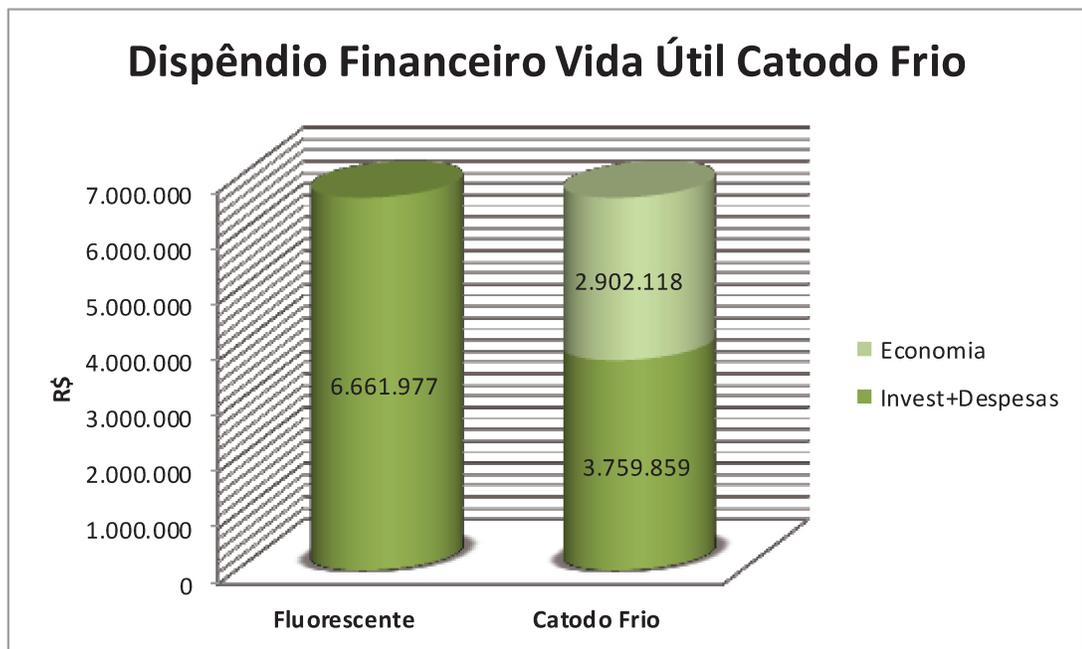
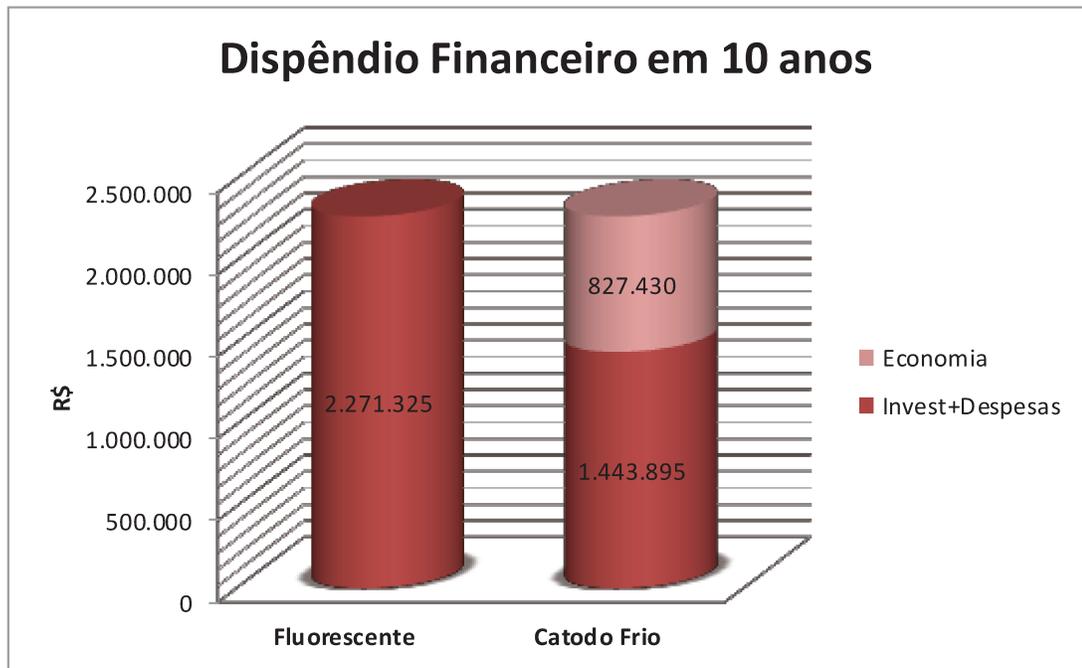


Figura 4-70. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T5, 54W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Tais ganhos econômicos foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 2700Lm/m no catodo frio, cerca de 1300 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T5, de 54W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T5, 54W, 6500K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 1,3 ano, e TIR de 121,23% para 10 anos do investimento, ou ainda, 121,56% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-70. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 2200 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
14	8	TL5 HO Eco 50=54W/865	T5	3.998	-	-	-	-	-	-	-
14	54	#66	LCF	2.475	1	Não	53,17	56,82	2,4	Viável	1520 Lm menor
14	53	#66	LCF	2.700	1	Não	41,79	47,27	2,6	Viável	1300 Lm menor
14	52	#66	LCF	1.650	2	Não	9,27	24,89	4,9	Viável	2350 Lm menor
14	51	#66	LCF	1.800	2	Não	9,27	24,89	4,9	Viável	2200 Lm menor
14	51	#66	LCF	1.800	1	Não	121,23	121,56	1,3	Viável	2200 Lm menor
14	51	#66	LCF	1.800	1	Sim	84,79	86,10	1,9	Viável	2200 Lm menor

Tabela 4-70. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T5, 54W, 6500K e catodo frio.

4.15. COMPARATIVO 15 – Lâmpada T8, 36W, 6500K

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
15	27	TL-D 90 De Luxe 36W/965	T8	26	2.307	93	6.500		-	-
15	54	#66	LCF	20	2.475	85	6.500	EB3-9180-HP	1	Não
15	53	#66	LCF	18	2.700	85	6.500	EB3-9180-HP	1	Não
15	52	#66	LCF	20	1.650	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Não
15	52	#66	LCF	20	1.650	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Sim
15	51	#66	LCF	15	1.800	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Não
15	51	#66	LCF	15	1.800	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Sim
15	50	#66	LCF	20	1.100	85	6.500	EB3-5060-HP	2	Não
15	50	#66	LCF	20	1.100	85	6.500	EB3-5060-HP	1	Não
15	50	#66	LCF	20	1.100	85	6.500	EB3-5060-HP	1	Não
15	50	#66	LCF	20	1.100	85	6.500	EB3-5060-HP	1	Sim
15	49	#66	LCF	15	1.300	85	6.500	EB3-5060-HP	2	Não
15	49	#66	LCF	15	1.300	85	6.500	EB3-5060-HP	1	Não
15	49	#66	LCF	15	1.300	85	6.500	EB3-5060-HP	1	Não
15	49	#66	LCF	15	1.300	85	6.500	EB3-5060-HP	1	Sim

Tabela 4-71. Comparativo 15: lâmpadas T8, 36W, 6500K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 6500K.

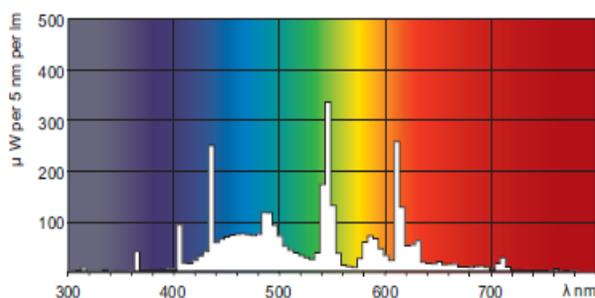


Figura 4-71. Distribuição Espectral de Energia Master TL-D 90 De Luxe 36W/965
Fonte: PHILIPS (2012)

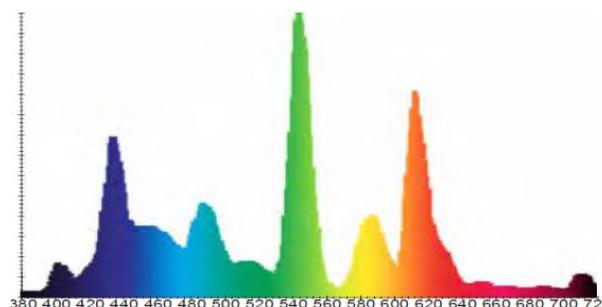


Figura 4-72. Distribuição Espectral de Energia #66 – 6500K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-71, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL-D 90 De Luxe 36W/965, denominada pelo Código 27 é de 2307 Lm/m. Para a mesma temperatura de cor e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #66 – 6500K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela 4-1, pelos códigos 54, 53, 52, 51, 50 e 49 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm,

considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP, EB3-2120-HP e EB3-5060-HP); ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes), ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T8 de 36W.

No catodo frio, para o Código 50, o fluxo luminoso é de 1100 Lm/m para apenas uma linha de lâmpadas, com tubo de 20 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-5060-HP. Com duas linhas paralelas de lâmpadas o fluxo luminoso dobra de valor, atingindo 2200Lm/m. Portanto, há uma redução de cerca de 100 Lm/m. Esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com redução de 100 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #66, código 50, com a lâmpada fluorescente T8, 36W, 6500K, código 27 – conforme demonstrado na tabela 4-72. Esta comparação considera duas linhas paralelas de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compara- rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
15	27	TL-D 90 De Luxe 36W/965	T8	26	2.307	93	6.500		-	-
15	50	#66	LCF	20	1.100	85	6.500	EB3-5060-HP	2	Não

Tabela 4-72. Dados para o comparativo entre T8, 36W, 6500K e catodo frio, com redução de 100Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente		Catodo Frio	
	Código	27	50	
Família	Master TL-D 90 De Luxe		Tecnolux LCF	
Produto	TL-D 90 De Luxe 36W/965		#66	
	Reator		Conversor	
Dimmer	não	74	93	
Código	Eco Master		Electronic Converters	
Família	EL 2X40W TL-T 127V 50/60HZ HPF		EB3-5060-HP	
Produto	2		3	
Quantidade lâmpada por reator				
Vida Útil da Lâmpada (horas):				
Com Dimmer - Mais eficiente	não	8.000 horas	100.000 horas	
Sem Dimmer - Menos eficiente	sim	2.000 horas	100.000 horas	
Quantidade lâmpada por reator				
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)		40.000 horas	100.000 horas	
Lâmpadas:				
Quantidade de uso por dia (horas)	12 horas/dia	167 dias	8.333 dias	
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	0,46 anos	22,83 anos	
Reatores/ Conversores Eletrônicos:				
Quantidade de dias por ano (ano)	365 dias/ano	9,13 anos	22,83 anos	
Consumo do conjunto (W)		36 W	90 W	
Comprimento lâmpada (mm)		1.214 mm	1.800 mm	
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente		-	2 linha(s) paralela(s)	
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)			1.000 m	
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)				
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		10%	-	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		916 pçs	1.111 pçs	
		-	371 pçs	
Consumo:				
kWh - consumido pelo sistema		33 kWh	33 kWh	
kWh mês - considerado 12 horas/dia	30 dias	11.866 kWh	12.020 kWh	
kWh ano - considerado 365 dias/ano	365 dias	144.364 kWh	146.248 kWh	
Custo kWh	R\$ 0,47			
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)		R\$ 5.576,80	R\$ 5.649,59	
Custo energia elétrica total - anual (R\$)		R\$ 67.851,02	R\$ 68.736,65	
Diferença custo de energia anual (R\$)		-	R\$ 885,63	
Diferença custo de energia anual (%)			1%	
Investimento:				
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)		916 pçs	-	
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)		458 pçs	-	
Custo por lâmpada (R\$)		R\$ 17,83	-	
Custo por reator eletrônico (R\$)		R\$ 29,12	-	
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)		-	1.000 m	
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)		-	371 pçs	
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)		-	R\$ 70,00	
Custo por conversor eletrônico		-	R\$ 380,00	
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)		R\$ 16.324,25	R\$ 70.000,00	
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)		R\$ 13.330,71	R\$ 140.980,00	
Investimento Inicial ^(B)		R\$ 29.654,96	R\$ 210.980,00	
Diferença investimento inicial (R\$)		-	R\$ 53.675,75	
Diferença investimento inicial (%)		-	429%	
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)		R\$ 35.913,35	-	
Correção monetária anual - atualização despesas previstas		5%	5%	
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)		R\$ 0,00	R\$ 0,00	

^(A) Lâmpada Fluorescente TL-D 90 De Luxe 36W/965 com 1213,6 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-73. Resultado para o comparativo entre T8, 36W, 6500K e catodo frio, com redução de 100 Lm/m.

A seguir, na tabela 4-74, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL-D 90 De Luxe 36W/965	Catodo Frio #66	Diferença	
Inv	-R\$ 97.505,98	-R\$ 279.716,65	-R\$ 182.210,67	
ano 1	-R\$ 126.093,06	-R\$ 72.173,49	-R\$ 128.291,10	
ano 2	-R\$ 132.397,71	-R\$ 75.782,16	-R\$ 71.675,55	
ano 3	-R\$ 139.017,59	-R\$ 79.571,27	-R\$ 12.229,23	
ano 4	-R\$ 145.968,47	-R\$ 83.549,83	R\$ 50.189,41	Payback!
ano 5	-R\$ 153.266,90	-R\$ 87.727,32	R\$ 115.728,99	+
ano 6	-R\$ 160.930,24	-R\$ 92.113,69	R\$ 184.545,54	+
ano 7	-R\$ 168.976,76	-R\$ 96.719,37	R\$ 256.802,92	+
ano 8	-R\$ 177.425,59	-R\$ 101.555,34	R\$ 332.673,17	+
ano 9	-R\$ 186.296,87	-R\$ 106.633,11	R\$ 412.336,93	+
ano 10	-R\$ 217.326,04	-R\$ 111.964,77	R\$ 517.698,20	+
ano 11	-R\$ 205.392,30	-R\$ 117.563,00	R\$ 605.527,50	+
ano 12	-R\$ 215.661,92	-R\$ 123.441,15	R\$ 697.748,26	+
ano 13	-R\$ 226.445,01	-R\$ 129.613,21	R\$ 794.580,06	+
ano 14	-R\$ 237.767,26	-R\$ 136.093,87	R\$ 896.253,45	+
ano 15	-R\$ 249.655,63	-R\$ 142.898,57	R\$ 1.003.010,51	+
ano 16	-R\$ 262.138,41	-R\$ 150.043,50	R\$ 1.115.105,43	+
ano 17	-R\$ 275.245,33	-R\$ 157.545,67	R\$ 1.232.805,08	+
ano 18	-R\$ 289.007,60	-R\$ 165.422,95	R\$ 1.356.389,73	+
ano 19	-R\$ 303.457,97	-R\$ 173.694,10	R\$ 1.486.153,60	+
ano 20	-R\$ 354.001,21	-R\$ 182.378,81	R\$ 1.657.776,01	+
ano 21	-R\$ 334.562,42	-R\$ 191.497,75	R\$ 1.800.840,68	+
ano 22	-R\$ 351.290,54	-R\$ 201.072,63	R\$ 1.951.058,58	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 880.998,97	R\$ 504.488,01	R\$ 99.108,04
TIR =	24,48%	24,48%	24,48%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 7.118.693,86	R\$ 3.348.317,74	R\$ 799.106,11
TIR =	34,30%	34,30%	34,30%

Tabela 4-74. Investimento, fluxo de caixa e payback entre lâmpadas T8, 36W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou

agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-74, o *retrofit* se demonstra economicamente viável, com TIR bastante favorável em 24,48%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou ainda 34,30%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T8 de 36W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-73 apresenta *payback* de 3,5 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

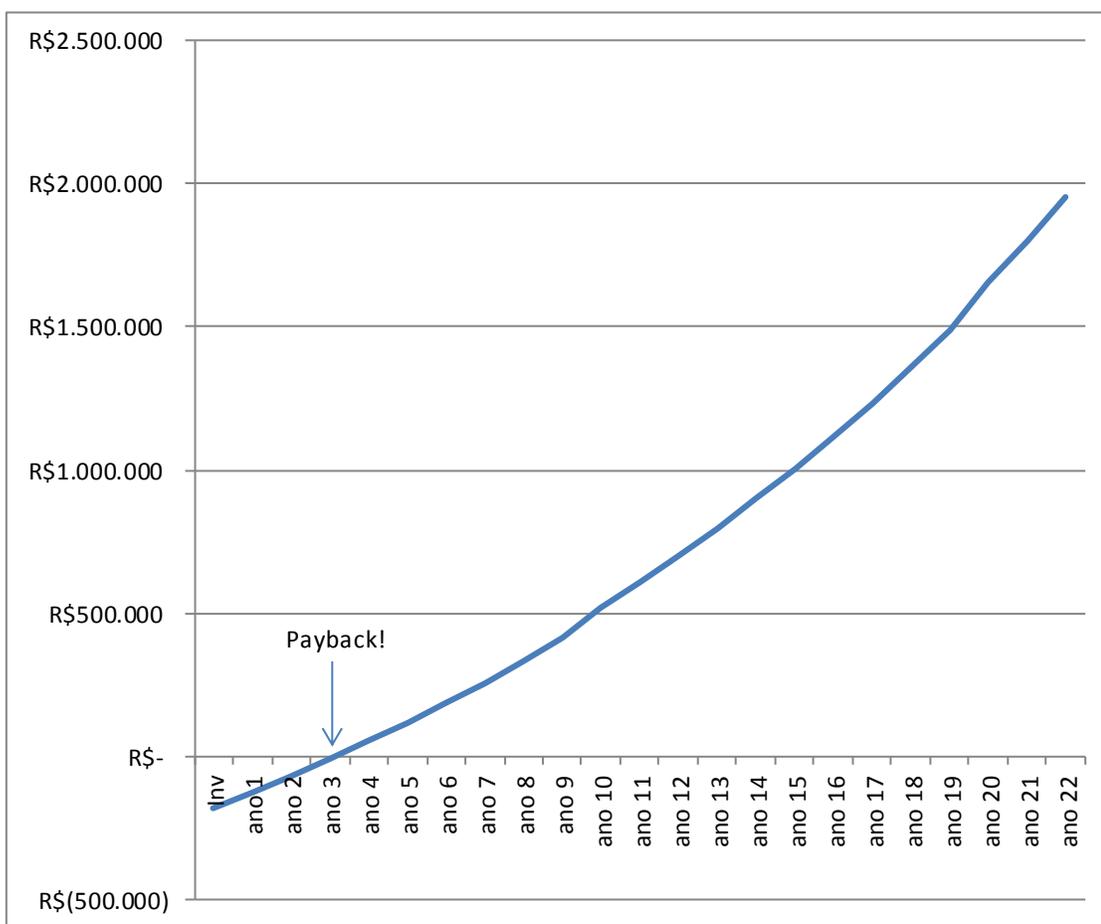


Figura 4-73. *Payback* entre lâmpadas T8, 36W, 6500K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-73 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (429%) e maior consumo de energia elétrica (1%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T8 de 36W, conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)				
	Fluorescente	Catodo Frio		
Período	Consumo	Consumo	Economia	%
Anual	144.364 kWh	146.248 kWh	-1.884 kWh	1%

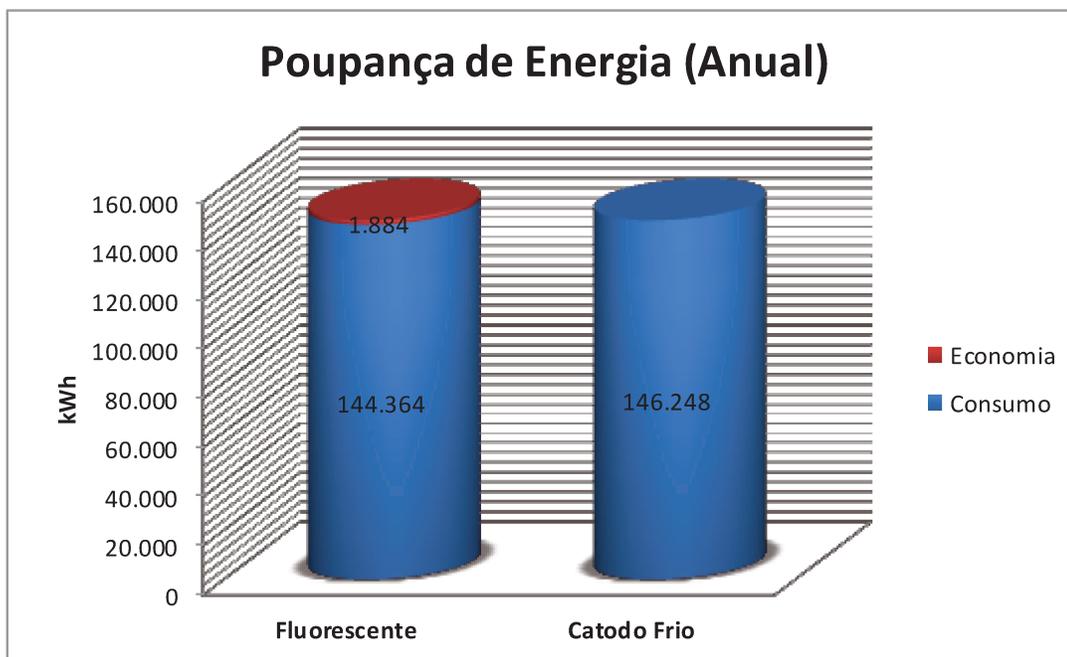


Figura 4-74. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 36W, 6500K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 30% em 10 anos, ou ainda, economia de 39% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-75.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 1.705.205,22	R\$ 1.187.507,01	R\$ 517.698,20	-30%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 5.009.830,81	R\$ 3.058.772,23	R\$ 1.951.058,58	-39%

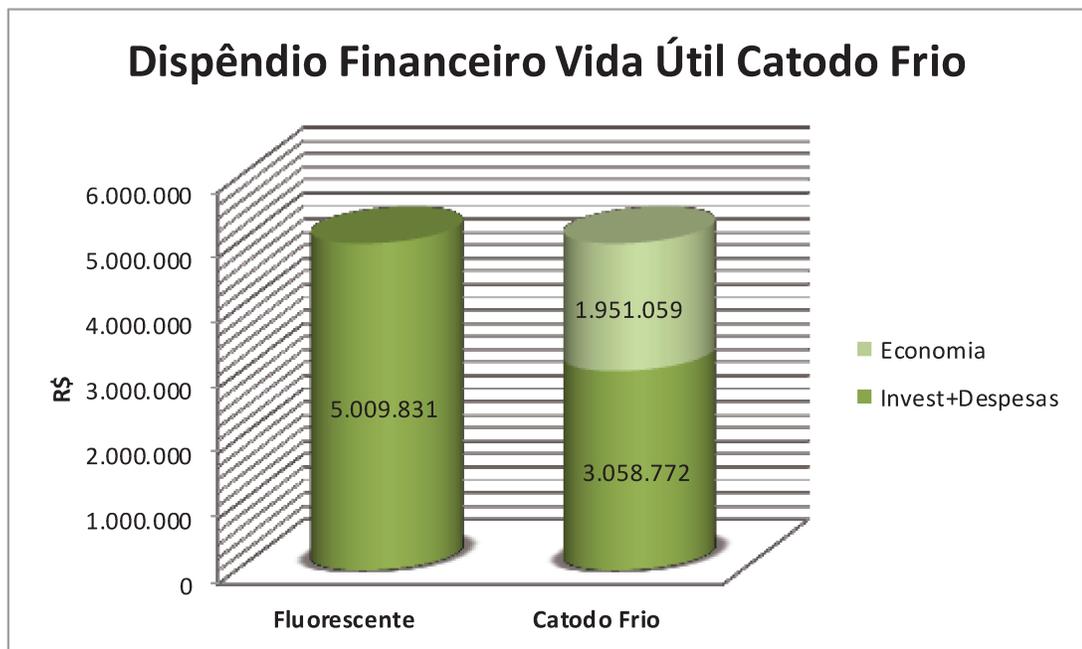
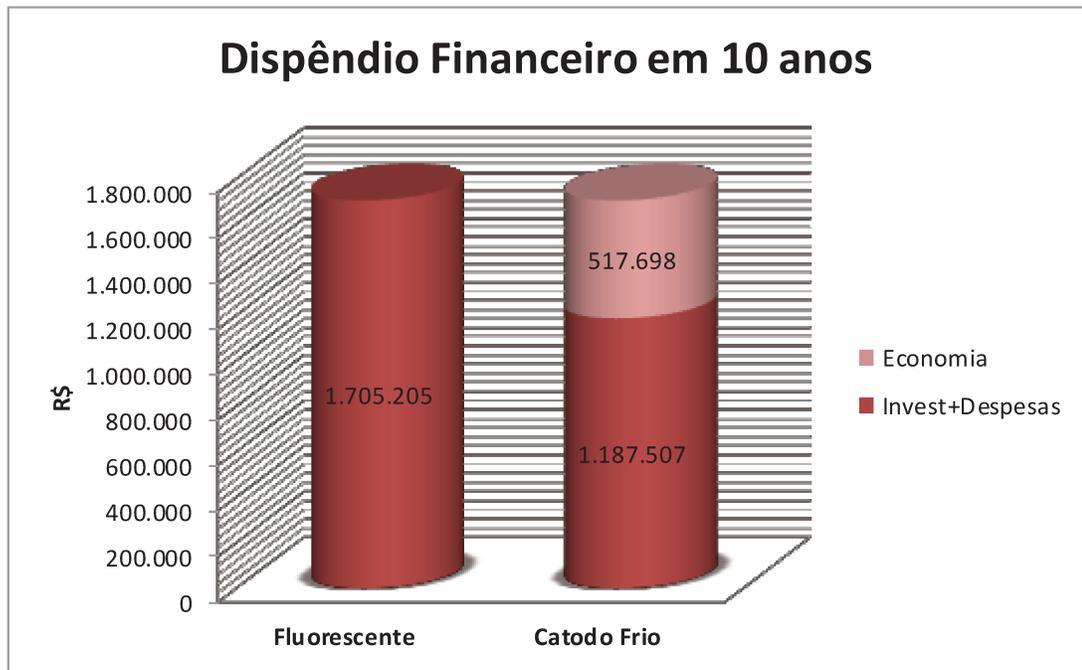


Figura 4-75. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T8, 36W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Tais ganhos econômicos só foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 2200Lm/m em duas linhas paralelas de lâmpadas no catodo frio, cerca de 100 Lm/m menor do que a emissão da lâmpada T8, de 36W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T8, 36W, 6500K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 1,2 ano, e TIR de 182,87% para 10 anos do investimento, ou ainda, 182,93% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-75. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 1200 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
15	27	TL-D 90 De Luxe 36W/965	T8	2.307	-	-	-	-	-	-	-
15	54	#66	LCF	2.475	1	Não	10,77	25,71	4,6	Viável	175 Lm maior
15	53	#66	LCF	2.700	1	Não	N/A	19,49	5,9	Viável	400 Lm maior
15	52	#66	LCF	1.650	1	Não	53,54	57,14	2,4	Viável	650 Lm menor
15	52	#66	LCF	1.650	1	Sim	44,78	50,17	2,3	Viável	650 Lm menor
15	51	#66	LCF	1.800	1	Não	53,54	57,14	2,4	Viável	500 Lm menor
15	51	#66	LCF	1.800	1	Sim	44,78	50,17	2,4	Viável	500 Lm menor
15	50	#66	LCF	1.100	2	Não	24,48	34,30	3,5	Viável	100 Lm menor
15	50	#66	LCF	1.100	1	Não	74,88	76,57	1,9	Viável	1200 Lm menor
15	50	#66	LCF	1.100	1	Não	120,49	120,82	1,2	Viável	1200 Lm menor
15	50	#66	LCF	1.100	1	Sim	182,87	182,93	1,2	Viável	1200 Lm menor
15	49	#66	LCF	1.300	2	Não	N/A	20,92	5,4	Viável	300 Lm maior
15	49	#66	LCF	1.300	1	Não	51,90	55,77	2,1	Viável	1000 Lm menor
15	49	#66	LCF	1.300	1	Não	87,93	88,96	1,6	Viável	1000 Lm menor
15	49	#66	LCF	1.300	1	Sim	99,80	100,58	1,8	Viável	1000 Lm menor

Tabela 4-75. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T8, 36W, 6500K e catodo frio.

4.16. COMPARATIVO 16 – Lâmpada T8, 58W, 6500K

Comparativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
16	30	TL-D 90 De Luxe 58W/965	T8	26	3.005	93	6.500		-	-
16	54	#66	LCF	20	2.475	85	6.500	EB3-9180-HP	1	Não
16	53	#66	LCF	18	2.700	85	6.500	EB3-9180-HP	1	Não
16	52	#66	LCF	20	1.650	85	6.500	EB3-2120-HP	2	Não
16	52	#66	LCF	20	1.650	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Não
16	52	#66	LCF	20	1.650	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Não
16	52	#66	LCF	20	1.650	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Sim
16	51	#66	LCF	15	1.800	85	6.500	EB3-2120-HP	2	Não
16	51	#66	LCF	15	1.800	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Não
16	51	#66	LCF	15	1.800	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Não
16	51	#66	LCF	15	1.800	85	6.500	EB3-2120-HP	1	Sim
16	50	#66	LCF	20	1.100	85	6.500	EB3-5060-HP	2	Não
16	49	#66	LCF	15	1.300	85	6.500	EB3-5060-HP	2	Não
16	49	#66	LCF	15	1.300	85	6.500	EB3-5060-HP	1	Não
16	49	#66	LCF	15	1.300	85	6.500	EB3-5060-HP	1	Não
16	49	#66	LCF	15	1.300	85	6.500	EB3-5060-HP	1	Sim

Tabela 4-76. Comparativo 16: lâmpadas T8, 58W, 6500K e catodo frio.

A representação da curva de distribuição do espectro de energia das lâmpadas comparadas, para a temperatura de cor de 6500K.

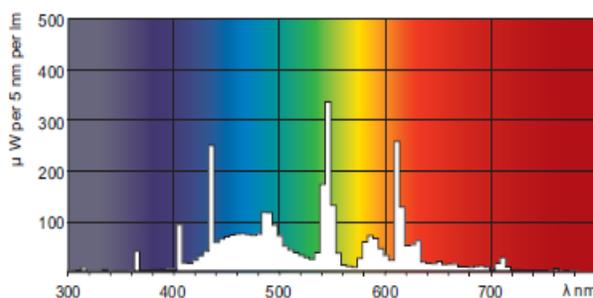


Figura 4-76. Distribuição Espectral de Energia Master TL-D 90 De Luxe 58W/965
Fonte: PHILIPS (2012)

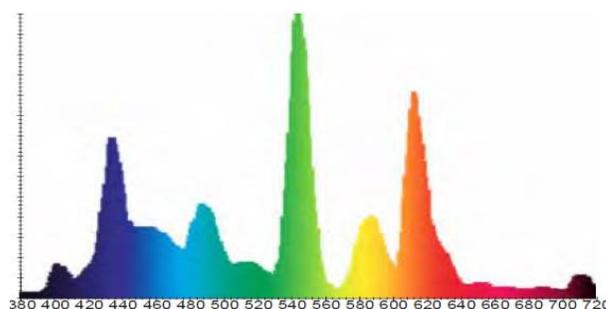


Figura 4-77. Distribuição Espectral de Energia #66 – 6500K - Triphosphor
Fonte: TECNOLUX (2006)

Conforme descrito pela tabela 4-76, percebe-se que o fluxo luminoso emitido pela lâmpada fluorescente TL-D 90 De Luxe 58W/965, denominada pelo Código 30 é de 3005 Lm/m. Para a mesma temperatura de cor e mesmo IRC, a lâmpada de catodo frio (LCF) utiliza o vidro #66 – 6500K – Triphosphor. Porém, como dito anteriormente, existem diferentes arranjos no catodo frio para obtenção do fluxo luminoso: o tipo de conversor eletrônico e o diâmetro do vidro. Por isso, há várias oportunidades a serem comparadas, conforme demonstrado na tabela

4-76, pelos códigos 54, 53, 52, 51, 50 e 49 – alternando o diâmetro dos tubos entre 20, 18 e 15mm, considerando o uso de diferentes conversores eletrônicos (EB3-9180-HP, EB3-2120-HP e EB3-5060-HP); ora com apenas uma linha de lâmpadas, ora com duas linhas de lâmpadas paralelas; ora considerando o uso de reatores eletrônicos com dimmer nas lâmpadas fluorescentes (portanto mais eficientes), ora sem o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes (menos eficientes), o que reduz em muito o tempo de vida útil das lâmpadas T8 de 58W.

No catodo frio, para o Código 53, o fluxo luminoso é de 2700 Lm/m, com tubo de 18 mm de diâmetro e conversor eletrônicos EB3-9180-HP, com apenas uma linha de lâmpadas para atingir este fluxo luminoso. Mesmo com acréscimo de cerca de 300 Lm/m, esta é uma possibilidade a ser considerada, principalmente para uso da iluminação indireta em sancas, nichos e rasgos do detalhamento arquitetônico, onde esta iluminação – muitas vezes – assume aspectos de conotação decorativa, ou mesmo adicionando seu fluxo luminoso a outras fontes de luz, que tenham caráter de iluminação funcional.

O comparativo buscou englobar todas as possibilidades, sem que houvesse comprometimento da qualidade visual dos usuários, assumidas as premissas dos cálculos.

A seguir, seguem os dados para o cálculo da condição observada, com acréscimo de 300 Lm/m, para o comparativo da lâmpada de catodo frio #66, código 53, com a lâmpada fluorescente T8, 58W, 6500K, código 30 – conforme demonstrado na tabela 4-77. Esta comparação considera ainda apenas uma linha de lâmpadas no catodo frio, e reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes.

Compara- rativo	Código	Produto	Bulbo	Diâmetro (mm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Conversor Eletrônico Tipo	Linhas Paralelas	Dimmer
16	30	TL-D 90 De Luxe 58W/965	T8	26	3.005	93	6.500		-	-
16	53	#66	LCF	18	2.700	85	6.500	EB3-9180-HP	1	Não

Tabela 4-77. Dados para o comparativo entre T8, 58W, 6500K e catodo frio, com acréscimo de 300 Lm/m.

Como informado no capítulo dos métodos de comparação, as variáveis de manipulação dos cálculos apresentados nas tabelas a seguir podem ser facilmente identificadas, pois estão sempre em destaque na cor cinza, o que facilitará a leitura e o entendimento durante o avanço deste capítulo.

Premissas do cálculo	Fluorescente	Catodo Frio
	Código	30
Família	Master TL-D 90 De Luxe	Tecnolux LCF
Produto	TL-D 90 De Luxe 58W/965	#66
Dimmer <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	Reator	Conversor
Código	72	96
Família	Eco Master	Electronic Converters
Produto	EL 2X55/58/65 TL-D/T 220V 50/60HZ HPF	EB3-9180-HP
Quantidade lâmpada por reator	2	1
Vida Útil da Lâmpada (horas):		
Com Dimmer - Mais eficiente <input type="checkbox"/> não <input type="checkbox"/>	8.000 horas	100.000 horas
Sem Dimmer - Menos eficiente <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/>	2.000 horas	100.000 horas
Vida Útil do Reator/Conversor Eletrônico (horas)	40.000 horas	100.000 horas
Lâmpadas:		
Quantidade de uso por dia (horas) <input type="checkbox"/> 12 horas/dia <input type="checkbox"/>	167 dias	8.333 dias
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="checkbox"/> 365 dias/ano <input type="checkbox"/>	0,46 anos	22,83 anos
Reatores/ Conversores Eletrônicos:		
Quantidade de dias por ano (ano) <input type="checkbox"/> 365 dias/ano <input type="checkbox"/>	9,13 anos	22,83 anos
Consumo do conjunto (W)	58 W	95 W
Comprimento lâmpada (mm)	1.514 mm	2.300 mm
Lâmpadas paralelas para fluxo luminoso equivalente	-	1 linha(s) paralela(s)
Quantidade lâmpadas de Catodo Frio (metros lineares)	-	1.000 m
Sobreposição das lâmpadas fluorescentes (evitar sombras)	10%	-
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	734 pçs	435 pçs
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	435 pçs
Consumo:		
kWh - consumido pelo sistema	43 kWh	41 kWh
kWh mês - considerado 12 horas/dia <input type="checkbox"/> 30 dias <input type="checkbox"/>	15.322 kWh	14.877 kWh
kWh ano - considerado 365 dias/ano <input type="checkbox"/> 365 dias <input type="checkbox"/>	186.413 kWh	181.004 kWh
Custo kWh <input type="checkbox"/> R\$ 0,47 <input type="checkbox"/>		
Custo energia elétrica total - mensal (R\$)	R\$ 7.201,16	R\$ 6.992,19
Custo energia elétrica total - anual (R\$)	R\$ 87.614,14	R\$ 85.071,65
Diferença custo de energia anual (R\$)	-	-R\$ 2.542,50
Diferença custo de energia anual (%)		-3%
Investimento:		
Quantidade lâmpadas (pçs) ^(A)	734 pçs	-
Quantidade reatores eletrônicos (pçs)	367 pçs	-
Custo por lâmpada (R\$)	R\$ 18,82	-
Custo por reator eletrônico (R\$)	R\$ 54,11	-
Quantidade lâmpadas de catodo frio (metros lineares)	-	1.000 m
Quantidade conversores eletrônicos (pçs)	-	435 pçs
Custo por metro linear de catodo frio (R\$)	-	R\$ 70,00
Custo por conversor eletrônico	-	R\$ 380,00
Investimento Inicial (Lâmpadas) (R\$)	R\$ 13.810,01	R\$ 70.000,00
Investimento Inicial (Reatores/Conversores Eletrônicos) (R\$)	R\$ 19.851,94	R\$ 165.300,00
Investimento Inicial ^(B)	R\$ 33.661,95	R\$ 235.300,00
Diferença investimento inicial (R\$)	-	R\$ 56.189,99
Diferença investimento inicial (%)	-	507%
Custo do descarte correto das lâmpadas (reciclagem) (R\$) ^(C)	R\$ 30.382,01	-
Correção monetária anual - atualização despesas previstas	5%	5%
Custo Serviço Instalação/ Manutenção (não considerado)	R\$ 0,00	R\$ 0,00

^(A) Lâmpada Fluorescente TL-D 90 De Luxe 58W/965 com 1514,2 mm de comprimento.

^(B) Apenas material (lâmpadas+reatores), não considerados materiais auxiliares e a instalação.

^(C) Custo médio do descarte correto das lâmpadas fluorescentes (sem a destinação final em aterro sanitário), aproximadamente US\$ 1,00/lâmpada - valor do dólar Jul/2013 - R\$ 2,20

Tabela 4-78. Resultado para o comparativo entre T8, 58W, 6500K e catodo frio, com acréscimo de 300 Lm/m.

A seguir, na tabela 4-79, o demonstrativo do desembolso financeiro apresenta a visão econômica, a partir do investimento, em dois períodos: (i) em 10 anos e (ii) durante toda a vida útil do catodo frio, para esta aplicação.

Período de Investimento	Fluorescente TL-D 90 De Luxe 58W/965	Catodo Frio #66	Diferença	
Inv	-R\$ 121.276,09	-R\$ 320.371,65	-R\$ 199.095,55	
ano 1	-R\$ 138.396,47	-R\$ 89.325,23	-R\$ 150.024,31	
ano 2	-R\$ 145.316,29	-R\$ 93.791,49	-R\$ 98.499,51	
ano 3	-R\$ 152.582,11	-R\$ 98.481,06	-R\$ 44.398,46	
ano 4	-R\$ 160.211,21	-R\$ 103.405,12	R\$ 12.407,63	Payback!
ano 5	-R\$ 168.221,77	-R\$ 108.575,37	R\$ 72.054,03	+
ano 6	-R\$ 176.632,86	-R\$ 114.004,14	R\$ 134.682,76	+
ano 7	-R\$ 185.464,50	-R\$ 119.704,35	R\$ 200.442,91	+
ano 8	-R\$ 194.737,73	-R\$ 125.689,57	R\$ 269.491,08	+
ano 9	-R\$ 204.474,62	-R\$ 131.974,04	R\$ 341.991,65	+
(i) ano 10	-R\$ 247.035,07	-R\$ 138.572,75	R\$ 450.453,98	+
ano 11	-R\$ 225.433,26	-R\$ 145.501,38	R\$ 530.385,86	+
ano 12	-R\$ 236.704,93	-R\$ 152.776,45	R\$ 614.314,34	+
ano 13	-R\$ 248.540,17	-R\$ 160.415,27	R\$ 702.439,24	+
ano 14	-R\$ 260.967,18	-R\$ 168.436,04	R\$ 794.970,38	+
ano 15	-R\$ 274.015,54	-R\$ 176.857,84	R\$ 892.128,08	+
ano 16	-R\$ 287.716,32	-R\$ 185.700,73	R\$ 994.143,67	+
ano 17	-R\$ 302.102,14	-R\$ 194.985,77	R\$ 1.101.260,04	+
ano 18	-R\$ 317.207,24	-R\$ 204.735,06	R\$ 1.213.732,22	+
ano 19	-R\$ 333.067,60	-R\$ 214.971,81	R\$ 1.331.828,02	+
ano 20	-R\$ 402.394,10	-R\$ 225.720,40	R\$ 1.508.501,72	+
ano 21	-R\$ 367.207,03	-R\$ 237.006,42	R\$ 1.638.702,33	+
(ii) ano 22	-R\$ 385.567,39	-R\$ 248.856,74	R\$ 1.775.412,98	+

Análise da Viabilidade Econômica no período de 10 anos , a partir do investimento			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 519.339,23	R\$ 226.282,15	-R\$ 80.520,24
TIR =	16,43%	16,43%	16,43%

Análise da Viabilidade Econômica durante a vida útil do Catodo Frio			
Valor Presente Líquido (VPL) varia conforme Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada			
TMA =	5,00%	10,00%	20,00%
VPL =	R\$ 6.105.627,50	R\$ 2.768.367,45	R\$ 543.049,41
TIR =	29,13%	29,13%	29,13%

Tabela 4-79. Investimento, fluxo de caixa e payback entre T8, 58W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Esta análise econômica apresenta resultados de Valor Presente Líquido (VPL) para três oportunidades distintas de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – 5%, 10% e 20%, pois dependendo do empreendimento, ou ainda do posicionamento conservador, moderado ou

agressivo do investidor, estas taxas – em conjunto com a Taxa Interna de Retorno (TIR) – devem auxiliar na tomada de decisão pelo uso ou não do *retrofit* pela tecnologia economizadora.

Na tabela 4-79, o *retrofit* se demonstra economicamente viável, com TIR favorável em 16,43%, considerado o período de 10 anos a partir do investimento inicial, ou ainda 29,13%, se comparado ao uso das lâmpadas fluorescentes T8 de 58W, durante todo o tempo de vida útil das lâmpadas de catodo frio.

A seguir, a figura 4-78 apresenta *payback* de 4 anos, em relação ao fluxo de caixa considerado para este comparativo:

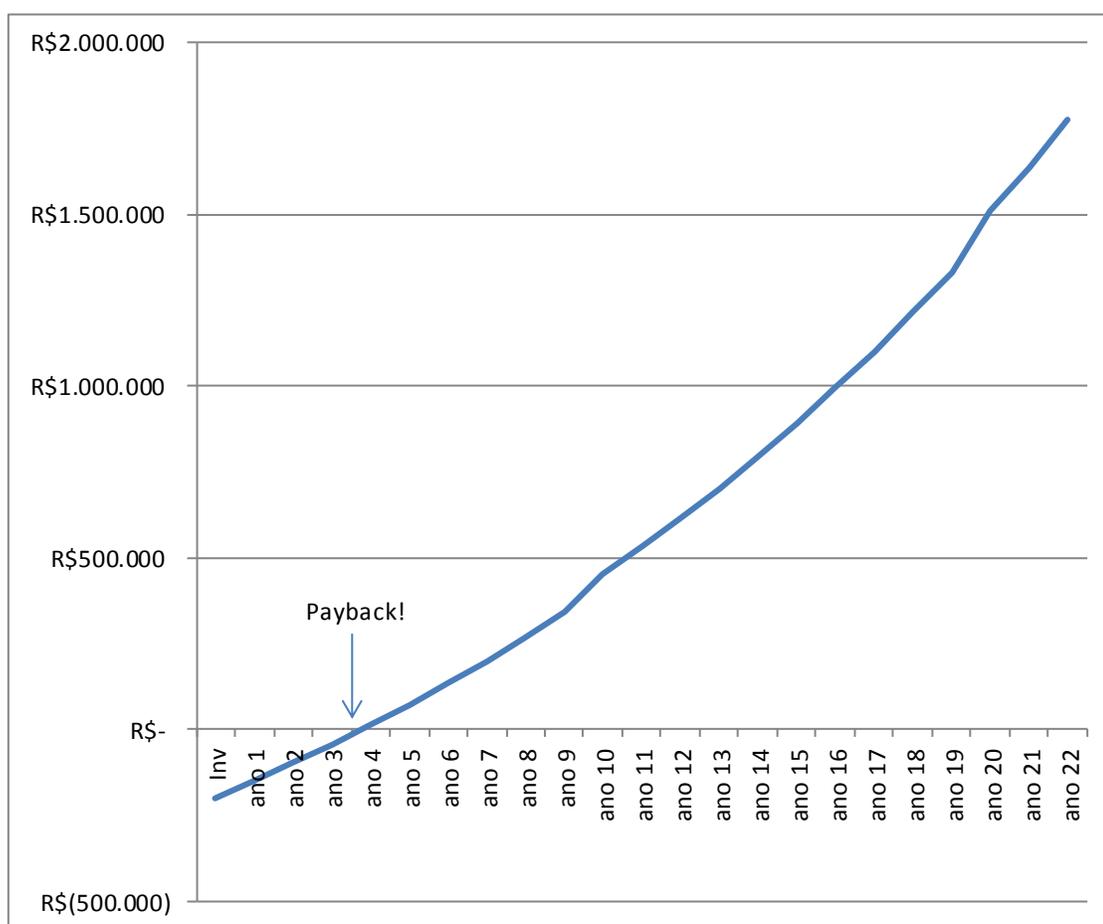


Figura 4-78. *Payback* entre lâmpadas T8, 58W, 6500K e catodo frio.

Os cálculos apresentados na tabela 4-78 indicam que o catodo frio tem investimento inicial maior (507%) e menor consumo de energia elétrica (3%) para esta aplicação, quando comparado à lâmpada fluorescente T8 de 58W, conforme demonstra a figura a seguir.

Poupança de Energia (Anual)				
	Fluorescente	Catodo Frio		
Período	Consumo	Consumo	Economia	%
Anual	186.413 kWh	181.004 kWh	5.410 kWh	-3%

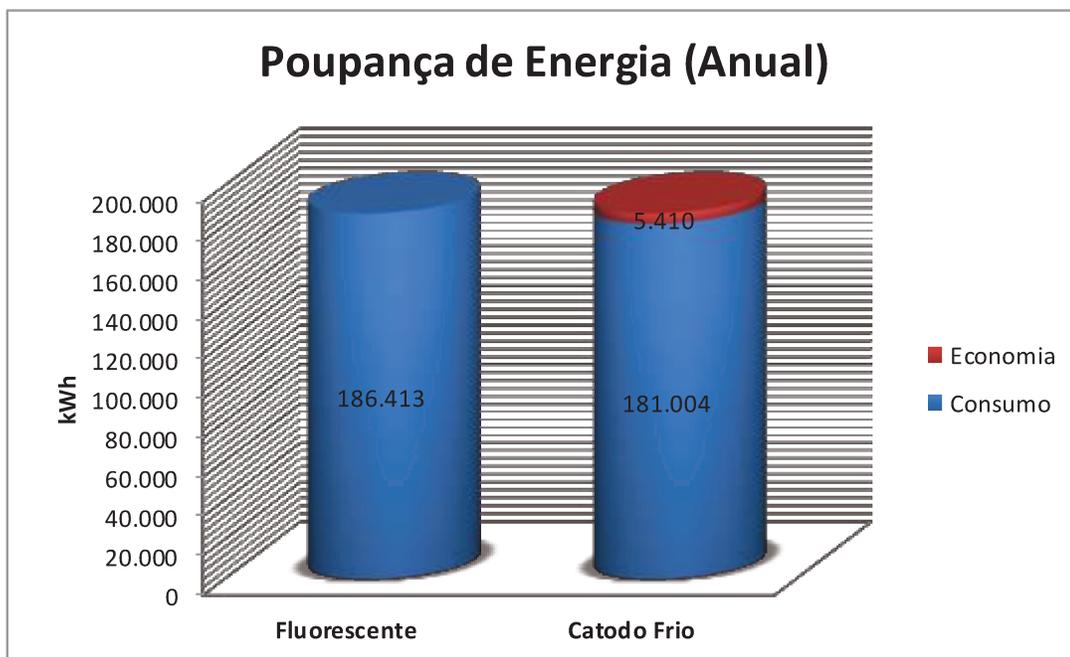


Figura 4-79. Diferença do consumo de energia elétrica anual em kWh entre T8, 58W, 6500K e catodo frio.

Porém, o maior tempo de vida útil no catodo frio evita a necessidade de trocas durante os períodos analisados – que para esta condição, nas fluorescentes tubulares, apresenta manutenções anuais. Com isso, o dispêndio financeiro nesta aplicação apresenta diferenças consideráveis em favor do uso das lâmpadas de catodo frio: economia de 24% em 10 anos, ou ainda, economia de 32% durante toda a vida útil do catodo frio. Estas condições estão demonstradas a seguir, na figura 4-80.

Dispêndio Financeiro durante período analisado				
	Fluorescente	Catodo Frio	Economia	%
10 Anos	R\$ 1.894.348,73	R\$ 1.443.894,75	R\$ 450.453,98	-24%
Durante vida útil catodo frio	R\$ 5.535.271,65	R\$ 3.759.858,67	R\$ 1.775.412,98	-32%

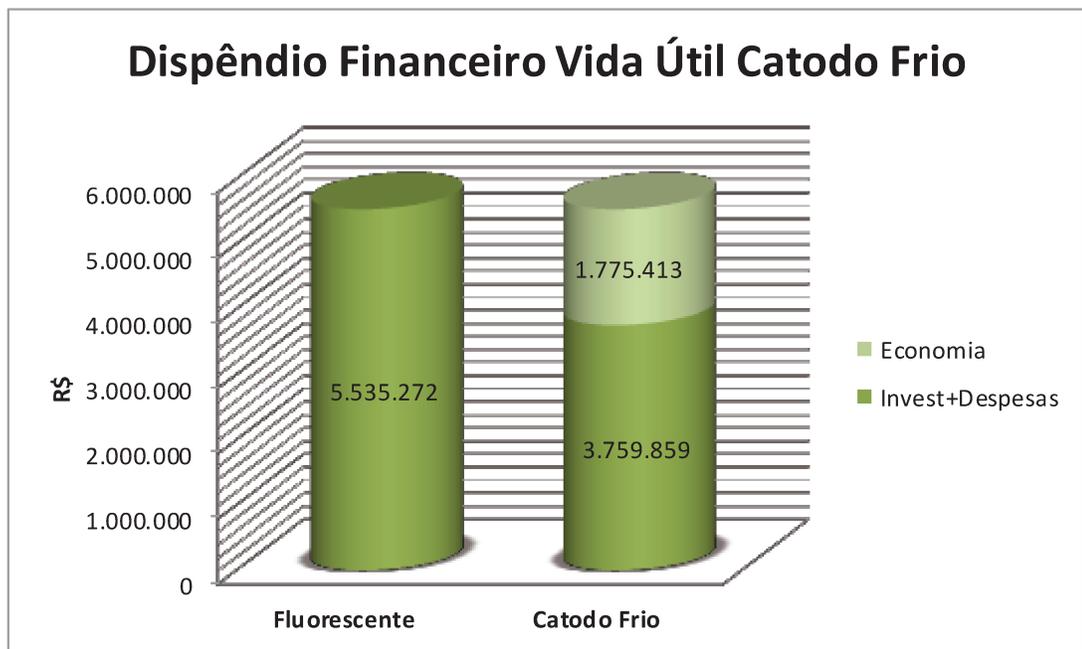
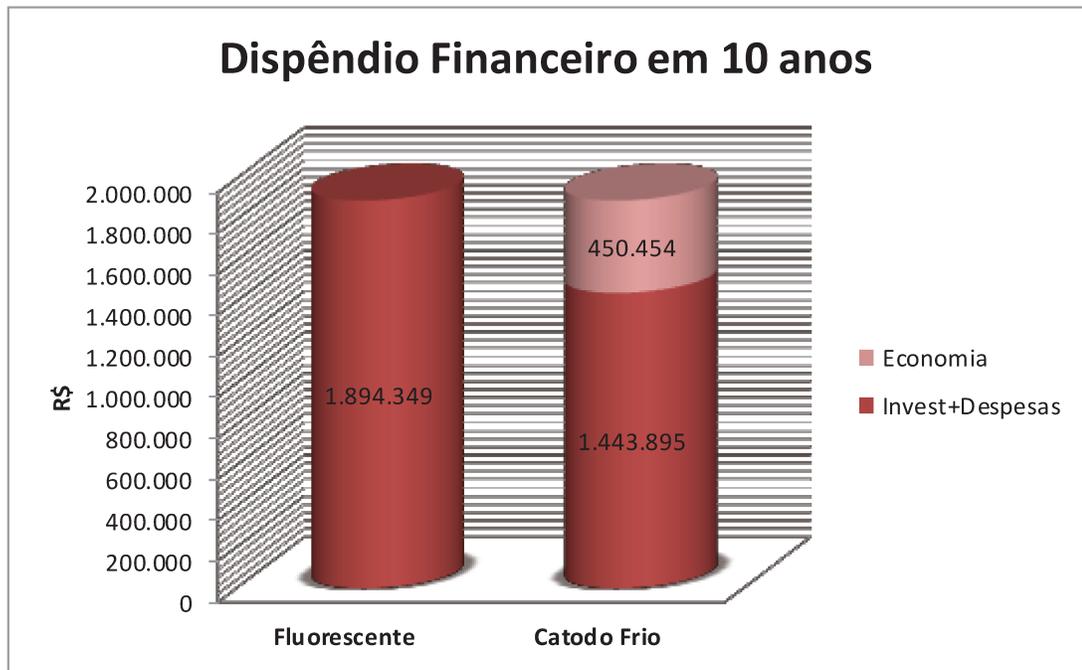


Figura 4-80. Dispêndio financeiro entre o uso de lâmpadas T8, 58W, 6500K e catodo frio, durante os períodos analisados.

Tais ganhos econômicos foram alcançados com emissão de fluxo luminoso de 2700Lm/m no catodo frio, cerca de 300 Lm/m maior do que a emissão da lâmpada T8, de 58W comparada. Consideradas as diretrizes da NBR5413/1992, em algumas aplicações, como corredores e passagens, este fluxo luminoso poderia ser suficiente para atingir os índices de iluminância sugeridos pela norma, podendo ser confirmado pelo *Método dos Lumens*. Mas, todas as hipóteses devem respeitar a qualidade da iluminação para o usuário na realização de suas tarefas e, caso estes índices não sejam atingidos, deverá ser descartado o ganho econômico, corrigindo o projeto luminotécnico para outras soluções.

Para os demais comparativos com a T8, 58W, 6500K, há casos onde os índices econômicos analisados são ainda melhores, com payback em cerca de apenas 1,2 ano, e TIR de 131,84% para 10 anos do investimento, ou ainda, 132,07% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, como descrito na tabela 4-80. Porém, esta nova condição foi obtida com redução de cerca de 1700 Lm/m – o que pode ser demasiado, dependendo de sua aplicação. Mesmo assim, tal condição não deveria ser descartada para iluminação decorativa, ou seja, sem apelo funcional.

Compa-rativo	Código	Produto	Bulbo	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	Linhas Paralelas	Dimmer	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Viabilidade Econômica	Observação
16	30	TL-D 90 De Luxe 58W/965	T8	3.005	-	-	-	-	-	-	-
16	54	#66	LCF	2.475	1	Não	27,31	36,32	3,6	Viável	520 Lm menor
16	53	#66	LCF	2.700	1	Não	16,43	29,13	4,0	Viável	300 Lm maior
16	52	#66	LCF	1.650	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
16	52	#66	LCF	1.650	1	Não	50,41	54,51	2,2	Viável	1300 Lm menor
16	52	#66	LCF	1.650	1	Não	78,38	79,84	1,9	Viável	1300 Lm menor
16	52	#66	LCF	1.650	1	Sim	70,33	72,43	1,9	Viável	1300 Lm menor
16	51	#66	LCF	1.800	2	Não	N/A	N/A	N/A	Inviável	-
16	51	#66	LCF	1.800	1	Não	50,41	54,51	2,2	Viável	1200 Lm menor
16	51	#66	LCF	1.800	1	Não	78,38	79,84	1,9	Viável	1200 Lm menor
16	51	#66	LCF	1.800	1	Sim	70,33	72,43	1,9	Viável	1200 Lm menor
16	50	#66	LCF	1.100	2	Não	41,26	46,87	2,9	Viável	800 Lm menor
16	49	#66	LCF	1.300	2	Não	18,56	30,45	4,0	Viável	400 Lm menor
16	49	#66	LCF	1.300	1	Não	91,05	92,00	1,9	Viável	1700 Lm menor
16	49	#66	LCF	1.300	1	Não	131,84	132,07	1,2	Viável	1700 Lm menor
16	49	#66	LCF	1.300	1	Sim	146,20	146,36	1,4	Viável	1700 Lm menor

Tabela 4-80. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T8, 58W, 6500K e catodo frio.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo engloba parte dos conhecimentos adquiridos durante o programa de pós-graduação, acompanhando a evolução dos projetos arquitetônicos quanto ao trato com a iluminação natural em diferentes períodos, ainda antes da invenção das lâmpadas elétricas e dos conhecimentos de fotometria e avança, já a partir do período chamado de era pós-fluorescente e da capacidade de mensuração do espectro de energia das fontes de luz – natural e artificial, para compará-las sobre certos aspectos, como por exemplo, a cromaticidade, a emissão luminosa e o consumo de energia elétrica.

Fica evidente que são inúmeras as variáveis que devem ser assumidas para o estudo comparativo das fontes de luz, principalmente quanto a sua percepção. Como descrito no capítulo 2, sobre a fisiologia do olho humano, mesmo sendo o olho humano sensível à radiação óptica apenas para comprimentos de onda entre 380 e 760 nm, existem diferentes funções de eficiência espectral e, portanto, cada indivíduo tem uma resposta diferente à eficiência espectral luminosa da fonte de luz. Mesmo que medições fotométricas comprovem que a cor da luz natural varia conforme o dia avança, a adaptação cromática do olho humano, por meio da sensibilidade espectral da retina, compensa automaticamente essas alterações. Em consequência, os olhos humanos percebem a cor das fontes de luz como sendo muito mais esbranquiçadas do que realmente são, dependendo do ambiente cromático ou o estado da adaptação cromática do olho. Isto significa que a cromaticidade coordenada das cores das luzes que iluminam o objeto nem sempre correspondem às cores percebidas.

Na iluminação artificial, com o progresso da física no estado sólido, as pesquisas sobre os fósforos e de estado sólido de luminescência evoluíram bastante, com importantes conquistas obtidas ao longo do caminho, estabelecendo o conceito do modelo de configuração das coordenadas dos centros de luminescência. Diferentes formas de bandas de luminescência foram explicadas com base neste modelo, até o desenvolvimento dos trifósforos. A teoria da transferência de energia por excitação interpretou, com sucesso, o fenômeno da sensibilização da luminescência. No caso dos íons de terras-raras trivalentes em cristais (trifósforos), precisas medições de espectroscopia óptica tornaram possíveis as atribuições de níveis de energia complicados e transições de luminescência diferentes, tornando-se, assim, uma das principais e mais importantes aplicações dos fósforos em fontes de luz. Não por acaso, a indústria da

iluminação é a maior consumidora de materiais de fósforo utilizados na fabricação de lâmpadas fluorescentes (YEN et al., 2006).

Lâmpadas com alta reprodução de cor, com a emissão de banda larga são baseadas neste conceito, onde parte da energia de emissão é geralmente distribuída entre ambas extremidades da região de comprimento de onda visível, isto é, azul escuro e vermelho, resultando na diminuição da eficácia luminosa total das lâmpadas. Isto significa que elevadas eficácias luminosas e as altas propriedades de reprodução de cor não podem ficar juntas.

Entendida estas questões, a melhora da eficácia luminosa das lâmpadas fluorescentes ocorreu a partir das emissões de bandas estreitas específicas com a utilização dos trifósforos. Assim, podem-se atingir os parâmetros exigidos pelas legislações vigentes, caso da japonesa JIS (*Japanese Industrial Standards*), os fatores de cromaticidade – desde brancos bastante quentes da ordem de 2400K (incandescentes) até brancos muito frios (9000K), com altos índices de reprodução de cor – acima de 95 e, claro, com eficácias luminosas de 110 lm/W, e baixos consumos de energia elétrica.

Portanto, à época dos fatos, da invenção da lâmpada elétrica (1879) até as lâmpadas de descarga de baixa pressão (1902), fica clara a pretensão dos pesquisadores em desenvolver tecnologias às fontes de luz artificiais que as tornassem cada vez mais próximas da luz solar, principalmente quanto à percepção humana desta iluminação. Isso se comprova com o avanço das investigações extensivas à visão de cores pelo olho humano, desde 1970. É a partir deste período que as lâmpadas fluorescentes apresentam seus maiores avanços quanto à eficácia luminosa e melhoria do índice de reprodução de cor (YEN et al., 2006).

Não só as lâmpadas se tornaram mais eficientes mas, com o desenvolvimento da tecnologia digital, os reatores eletromagnéticos puderam ser substituídos pelos reatores eletrônicos. A compreensão do funcionamento dos sistemas de iluminação, principalmente quanto à fragilidade dos eletrodos nas lâmpadas fluorescentes quando do seu acionamento, tornaram os sistemas mais eficientes, aumentando o tempo de vida útil do conjunto a partir do uso da tensão de pré-aquecimento nas lâmpadas. Esta tecnologia ainda possibilitou o desenvolvimento de reatores eletrônicos dimerizáveis, o que capacitou o uso das lâmpadas fluorescentes em sistemas de controle e automação.

A busca pela eficiência no sistema de iluminação fluorescente, no entanto, contribuiu para que este estudo trouxesse novas perspectivas e um diferente ponto de vista para o uso da

iluminação comercial. E os critérios de avaliação, para isso, envolveram os dados luminotécnicos dos fabricantes das fontes de iluminação comparadas, as exigências da norma NBR5413/1992, análises de fluxo de caixa financeiro para o investimento, despesas de operação e manutenção e, portanto, de viabilidade econômica. Desta forma, evitando decisões de cunho meramente promocional e muitas vezes denotada como “soluções prontas” pelo mercado, foi possível comparar as lâmpadas fluorescentes tubulares (T5 e T8) com o catodo frio – ainda de pouco uso no mercado brasileiro.

Portanto, a partir dos dados obtidos neste estudo, pode-se dizer que a opção mais eficiente energeticamente e de maior viabilidade econômica para a iluminação pode variar entre a aplicação das lâmpadas fluorescentes tubulares e as lâmpadas de catodo frio. Sempre levando em consideração a manutenção da qualidade da iluminação para os usuários, na realização de suas tarefas, conforme sugerido pela NBR5413/1992 e facilmente comprovada pelo *Método dos Lumens*, e claro, do comportamento conservador, moderado ou agressivo do investidor, quando da análise dos critérios econômicos para uso ou não da tecnologia economizadora. Obviamente, a característica do empreendimento também deve ser levada em consideração pois, por exemplo, quando os custos de manutenção e consumo de energia elétrica ficam a cargo de terceiros (como associações de lojistas, em shopping centers) o investidor tende apenas a considerar o custo inicial como relevante para entrega da edificação ao seus usuários, não se preocupando com a gestão dos custos durante a operação – o que infelizmente, denotaria uma visão imediatista, negligenciando a máxima eficiência que poderia ser demandada pelo sistema. Já em outros empreendimentos, como hospitais, museus e aeroportos, muitas vezes o investidor (que pode ser público ou privado) assume não só os custos da construção, mas também os custos da operação do sistema de iluminação e, portanto, deveria utilizar de ferramentas de análise econômica, como as apresentadas neste estudo, para ter a visão de longo prazo da operação do empreendimento, para justificativa das aquisições e dos investimentos.

O estudo demonstrou que quando há o uso dos reatores eletrônicos sem dimerização (portanto menos eficientes), e sem tensão de pré-aquecimento dos eletrodos, a vida útil das lâmpadas é menor nas fluorescentes tubulares (cerca de 2.000h, conforme demonstrado pelos catálogos dos fabricantes analisados). Com isso, aumenta em muito o número de manutenção para substituição das lâmpadas danificadas e, portanto, suas consequências, como o custo de

descarte correto destas lâmpadas para reciclagem, sem a destinação dos resíduos finais em aterros sanitários. Considerando os dados fornecidos por este estudo, segue o exemplo:

Nas lâmpadas fluorescente T5 com temperatura de cor de 3000K, 28W, a emissão luminosa é de 2493 Lm/m. Conforme pode ser visto no capítulo 4, Comparativo 1, na Tabela 4-5 há duas possibilidades de comparação demonstradas – lâmpada fluorescente TL5 HE Eco 25=28W/830, código 3 e a lâmpada de catodo frio #7 – 3000K – Triphosphor, código 38, com diâmetro de 20mm e com conversores eletrônicos EB3-5060-HP. Primeiramente, este comparativo considera apenas uma linha de lâmpadas no catodo frio e a diferença de fluxo luminoso com a lâmpada fluorescente comparada é de 1340 Lm/m. Se considerado o uso de reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes, como dito, a necessidade de substituição das lâmpadas aumenta muito. Mesmo o custo destes reatores eletrônicos sendo considerado baixo (em média R\$ 35,55 por reator) e o tempo de vida útil em 40.000 horas (conforme informado pelos fabricantes), a necessidade de substituição das lâmpadas torna a TIR (para 10 anos) bastante atrativa em 74,26%, como consequência, reduzindo o *Payback* para apenas 2 anos. Já na segunda análise, para a mesma configuração no catodo frio, com apenas uma linha de lâmpadas e perda de fluxo luminoso de 1340 Lm/m, porém, agora com reatores eletrônicos dimerizáveis nas fluorescentes tubulares (portanto, mais eficientes e com tensão de pré-aquecimento nos eletrodos), o tempo de vida útil das lâmpadas aumenta em oito vezes (para 16.000h), o que reduz a necessidade de constante substituição das lâmpadas e suas consequências (como o descarte para reciclagem). Em média, o custo deste reator eletrônico dimerizável é cerca de três vezes maior (R\$ 101,73). Mesmo assim, o aumento da vida útil das lâmpadas fluorescentes tubulares faz com que ocorra a diminuição pela metade da TIR (para 10 anos), que passa a assumir o valor de 35,51%, conseqüentemente, aumentando o *Payback* em 1,75 vezes, passando para 3,5 anos do investimento inicial. Toda esta análise, sem alterar a emissão do fluxo luminoso no catodo frio, quando comparado às lâmpadas fluorescentes T5, 3000K, de 28W.

Ainda na Tabela 4-5, se realizado o mesmo comparativo da lâmpada fluorescente TL5 HE Eco 25=28W/830, código 3 porém, agora com a lâmpada de catodo frio #7 – 3000K – Triphosphor, código 37, que possui diâmetro de 15mm (ao invés dos 20 mm do comparativo anterior) e os mesmos conversores eletrônicos EB3-5060-HP, veremos que a emissão luminosa de altera. Para 20mm (comparativo anterior) a emissão luminosa era de 1150 Lm/m; para 15mm (comparativo atual) a emissão é de 1300 Lm/m, portanto, reduzindo a perda do fluxo luminoso –

quando comparada com a lâmpada T5, de 28W – para 1190 Lm/m, utilizando os mesmo conversores eletrônicos (EB3-5060-HP), ou seja, com aumento da emissão luminosa e com o mesmo consumo de energia elétrica. Mesmo assim, deve-se entender que para ter maior intensidade do fluxo luminoso com lâmpadas de diâmetro de 15mm no catodo frio, o conversor eletrônico demanda de menor capacidade de carga (*load*) – são 5.080mm lineares de lâmpadas de catodo frio por conversor eletrônico (uma redução de cerca de 16%, quando comparado à capacidade de carga (*load*) com as lâmpadas de diâmetro de 20mm – 6.096mm lineares de catodo frio – para o mesmo tipo de conversor eletrônico EB3-5060-HP).

Portanto, para este novo comparativo (da lâmpada fluorescente TL5 HE Eco 25=28W/830, código 3, com a lâmpada de catodo frio #7 – 3000K – Triphosphor, código 37, com diâmetro de 15mm e conversores eletrônicos EB3-5060-HP), se considerado o uso de reatores eletrônicos não dimerizáveis nas lâmpadas fluorescentes, da mesma forma, a necessidade de substituição das fluorescentes aumenta muito, com TIR (para 10 anos) em 53,12% e *Payback* em 2,3 anos. Se alterado o reator eletrônico nas fluorescentes para o modelo dimerizável, a TIR (para 10 anos) apresenta uma redução de -79%, passando a assumir o valor de 11,15% e, conseqüentemente, o *Payback* se eleva em 1,8 vezes, passando para 4,2 anos do investimento inicial.

Quando o comparativo considera as lâmpadas fluorescentes T8 (menos eficientes), há casos de maior emissão luminosa nas lâmpadas de catodo frio (comparativos 14 e 15), com TIR atrativas ao investidor (acima de 20%) e rápido *Payback* (cerca de 3 anos), corroborando com a conclusão mencionada – de quanto maior a eficiência na emissão do fluxo luminoso das lâmpadas fluorescentes, menor é a viabilidade econômica do empreendimento. Diferentemente, quando se compara com as lâmpadas fluorescentes T8, 36W com maior fluxo luminoso e, portanto, mais eficientes (Comparativo 5, por exemplo), percebe-se claramente que todos os comparativos com o catodo frio tem maiores diferenças da emissão do fluxo luminoso, entre 900 Lm/m (melhor comparativo) e 1500 Lm/m (pior comparativo).

Enquanto os reatores eletrônicos dimerizáveis nas lâmpadas T5 (com pré-aquecimento dos eletrodos) eleva o tempo de vida útil das lâmpadas para 16.000 horas, nas lâmpadas T8 esse tempo passa das regulares 2.000 horas (com reatores eletrônicos não dimerizáveis) para 10.000 horas, tornando o comparativo (mesmo com uso do dimmer nas fluorescentes T8) mais conveniente para as lâmpadas de catodo frio, pois considera mais

substituições durante a vida útil do catodo frio. Este, de fato, é outro indício que demonstra a maior eficiência das lâmpadas T5 em relação às lâmpadas T8 e, portanto, a melhor viabilidade econômica para o *retrofit* com o catodo frio, quando comparado às lâmpadas T8.

Para os comparativos 7, 8, 9, 10, 11 e 12, como visto, a emissão luminosa das lâmpadas fluorescentes, para a temperatura de cor 4000K (nas potências de 28W, 54W e 80W nas lâmpadas T5, e 36W e 80W nas lâmpadas T8), tem os mesmos valores que a emissão para a temperatura de cor 3000K, em suas respectivas potências. No catodo frio, o valor que mais se aproxima para o comparativo com os 4000K das fluorescentes é a temperatura de cor 4500K, com mesmo IRC. Porém, no catodo frio a emissão luminosa é menos eficiente para esta temperatura de cor (4500K) – por isso, os dados para os comparativos considerando as mesmas potências nas lâmpadas fluorescentes se diferem (para 3000K e 4000K), sendo necessários outros arranjos no catodo frio (com conversores eletrônicos e diferentes diâmetros das lâmpadas), mas, mesmo assim, as perdas no comparativo do fluxo luminoso são maiores na temperatura de cor de 4000K.

Lembrando ainda, que a emissão luminosa no catodo frio varia conforme o diâmetro do tubo de vidro da lâmpada e, conseqüentemente, a capacidade de carga (*load*) do conversor eletrônico utilizado – esta relação não é linear e depende de fatores como o tipo de gás a ser utilizado internamente a lâmpada, ou ainda da eficiência do pó de revestimento interno ao tubo de vidro, conforme mencionado no capítulo 2.6.4 – Lâmpadas de Catodo Frio.

Enquanto os comparativos para 3000K tem entre seus melhores resultados o fluxo luminoso equivalente entre as lâmpadas comparadas e a redução de 1100 Lm/m (maior perda), para 4000K estas perdas de fluxo luminoso estão entre 200 Lm/m (menor perda) e 2450 Lm/m (maior perda).

Os arranjos dos conversores eletrônicos no catodo frio também demonstram essa necessidade de compensar a menor eficiência na temperatura de cor 4500K, conforme demonstra a tabela 5-1, para as seis ocorrências possíveis:

3000K				4000K			
Ocorrência	Linhas Paralelas	Conversor Eletrônico	Fluxo Luminoso ^(D)	Ocorrência	Linhas Paralelas	Conversor Eletrônico	Fluxo Luminoso ^(D)
1x	2	EB3-5060-HP	Baixo	1x	2	EB3-5060-HP	Baixo
1x	3	EB3-5060-HP	Baixo	1x	2	EB3-2120-HP	Médio
1x	1	EB3-2120-HP	Médio	4x	1	EB3-2120-HP	Alto
2x	2	EB3-2120-HP	Médio				
1x	1	EB3-9180-HP	Alto				

^(D) Fluxo Luminoso máximo emitido pelo conversor eletrônico

Tabela 5-1. Arranjos dos conversores eletrônicos para compensar a menor emissão do fluxo luminoso no comparativo entre as lâmpadas fluorescentes e o catodo frio.

Para o comparativo com a temperatura de cor de 6500K, a eficiência da emissão luminosa das lâmpadas fluorescentes é menor, sendo as únicas oportunidades onde as lâmpadas de catodo frio têm emissões luminosas superiores as fluorescentes tubulares. A tabela 5-2 demonstra a variação da eficiência da emissão do fluxo luminoso nas lâmpadas fluorescentes, conforme alterada potência e a temperatura de cor.

Bulbo	Potência	3000K	Varição	4000K	Varição	6500K
T5	28W	2493 Lm/m	=	2493 Lm/m	↓	2321 Lm/m
	54W	4298 Lm/m	=	4298 Lm/m	↓	3998 Lm/m
	80W	4784 Lm/m	=	4784 Lm/m	-	-
T8	36W	2307 Lm/m	=	2307 Lm/m	=	2307 Lm/m
	36W >Lm	2678 Lm/m	-	-	-	-
	58W >Lm	-	-	3461 Lm/m	-	-
	58W	2873 Lm/m	↑	3038 Lm/m	↑ ↓	3005 Lm/m

3000K 4000K

Tabela 5-2. Variação da emissão luminosa conforme a potência, nas diferentes temperaturas de cor nas lâmpadas fluorescentes (3000K, 4000K e 6500K).

A tabela 5-3, a seguir, demonstra as melhores aplicações, considerado sempre o fluxo luminoso emitido das lâmpadas de catodo frio mais próximo às lâmpadas fluorescentes comparadas, demonstrando qual o resultado da viabilidade econômica pela eventual substituição pela tecnologia economizadora.

Comparativo	Bulbo	Temp de Cor (K)	Potência (W)	Conversor Eletrônico Tipo	Diâmetro (mm)	Linhas Paralelas	Dimmer	Diferença Fluxo Luminoso (Lm/m)	TIR 10 anos %	TIR vida útil %	Payback Anos	Economia Consumo Energia %	Economia Invest+ Despesa 10 anos %	Economia Invest+ Despesa Vida Útil LCF %
1	T5	3000	28	2120	15	1	Não	<690	26,18	35,53	3,7	11%	-32%	-41%
2	T5	3000	54	2120	20	2	Não	<1100	9,27	24,89	4,8	11%	-20%	-28%
3	T5	3000	80	5060	15	3	Não	<900	N/A	21,70	5,5	8%	-16%	-25%
4	T8	3000	36	5060	20	2	Não	Equivalente	24,48	34,30	3,5	1%	-30%	-39%
5	T8	3000	36>	2120	15	1	Não	<900	20,78	31,87	3,9	-20%	-28%	-37%
6	T8	3000	58	9180	18	1	Não	<170	16,43	29,13	4,2	-3%	-24%	-32%
7	T5	4000	28	5060	20	2	Não	<490	N/A	18,20	6,2	40%	-15%	-26%
8	T5	4000	54	2120	15	2	Não	<1200	9,27	24,89	4,9	11%	-20%	-28%
9	T5	4000	80	9180	18	1	Não	<2450	64,18	66,69	1,8	-25%	-42%	-48%
10	T8	4000	36	9180	20	1	Não	<200	10,77	25,71	4,9	15%	-22%	-31%
11	T8	4000	58	9180	18	1	Não	<710	16,43	29,13	4,4	-3%	-24%	-32%
12	T8	4000	58>	9180	18	1	Não	<1130	15,88	28,79	4,2	-3%	-23%	-32%
13	T5	6500	28	2120	15	1	Não	<520	26,18	35,53	3,7	11%	-32%	-41%
14	T5	6500	54	9180	18	1	Não	<1300	41,79	47,27	2,6	-13%	-36%	-44%
15	T8	6500	36	5060	20	2	Não	<100	24,48	34,30	3,5	1%	-30%	-39%
16	T8	6500	58	9180	18	1	Não	>300	16,43	29,13	4,0	-3%	-24%	-32%

Tabela 5-3. Resultados dos comparativos entre lâmpadas T5, T8 e o catodo frio.

E, se considerados apenas os índices de viabilidade econômica pelo *retrofit* para todo o período de vida útil do catodo frio, conforme os apresentados na tabela 5-3, as taxas internas de retorno (TIR) para todos os comparativos calculados (em média) são bastante favoráveis, cerca de 32,32%. Para apenas os primeiros 10 anos, a partir do investimento inicial, esta mesma taxa (em média) atinge 23,04%.

Existe ainda o cálculo da economia no uso das lâmpadas de catodo frio, se considerado o dispêndio dos valores totais de fluxo de caixa financeiro, desde o investimento inicial até o final da vida útil do catodo frio. Considerados os comparativos analisados por este estudo, em média, esta economia pode ser de 26%, para os primeiros 10 anos, computados os investimentos e as despesas totais de manutenção e operação (sem os custos de mão de obra, não considerados para estas análises – que favoreceriam ainda mais o uso das lâmpadas de catodo frio nestas edificações). Para todo o tempo de vida útil do catodo frio, esta mesma economia em relação ao dispêndio total (em média) seria de 35%, portanto, bastante atrativa para o investidor, já que grandes partes do montante financeiro anual poderiam ser economizadas pela operação do sistema de iluminação do empreendimento.

Há índices extremamente favoráveis, conforme demonstrados na Tabela 5-3. O Comparativo 9 (lâmpada T5, 80W, 4000K), por exemplo, tem TIR de 64,18% para 10 anos de aplicação, ou ainda, 66,69% durante toda a vida útil do catodo frio. Porém, a diferença do fluxo

luminoso entre as fontes comparadas atinge 2450 Lm/m, o que pode representar uma perda significativa para uso funcional do sistema de iluminação. Mas tal aplicação não deveria ser descartada para uso decorativo, por exemplo.

Ainda na Tabela 5-3, se considerada a condição de emissão luminosa equivalente entre as fontes comparadas (Comparativo 4, lâmpada T8, 36W, 3000K), o cálculo demonstra índices bastante favoráveis para a tomada de decisão pelo uso do catodo frio, já que apresenta *Payback* em 3,5 anos, com TIR de 24,48% para os primeiros 10 anos de uso do sistema de iluminação, ao ainda, TIR de 34,30% para todo o tempo de vida útil do catodo frio, considerado o consumo de energia elétrica praticamente equivalente (apenas 1% acima). A economia no dispêndio financeiro para os primeiros 10 anos de aplicação, para este comparativo, é de 30% menos. Se considerado todo o período de vida útil do catodo frio, conforme as premissas adotadas, esta economia seria ainda maior, com redução de 39%.

6. CONCLUSÕES

As análises se repetiram, da mesma forma, para todas as ocorrências dos comparativos, concluindo que quanto mais eficiente é a emissão luminosa nas lâmpadas fluorescentes tubulares, mais difícil é para se obter o mesmo fluxo luminoso no catodo frio e, portanto, mais difícil viabilizar economicamente a substituição (*retrofit*). Isso fica evidente, principalmente, quando comparado o catodo frio com lâmpadas fluorescentes T5 (mais eficientes), em potências mais altas. A tabela 6-1, a seguir, demonstra a relação - considerada por este estudo – pertinente para as análises:

Quanto > Eficiência Luminosa Lâmpadas Fluorescentes Tubulares	< é a viabilidade econômica Lâmpadas de Catodo Frio
--	--

Tabela 6-1. Relação inversamente proporcional no comparativo entre as lâmpadas fluorescentes e o catodo frio.

E essa relação também fica evidente quanto ao consumo de energia elétrica – quanto mais eficiente a emissão luminosa nas fluorescentes, maior é o consumo de energia no catodo frio, para atender fluxos luminosos equivalentes.

Portanto, parece claro que considerando a eficiência na emissão do fluxo luminoso das lâmpadas fluorescentes tubulares, qualquer outra potência que, por ventura, tenha sido excluída das análises deste estudo – como as lâmpadas fluorescentes de 14W e 32W, por exemplo – assumiriam a mesma relação: da eficiência luminosa das lâmpadas fluorescentes inversamente proporcional à viabilidade econômica pelo *retrofit* do catodo frio. A redução da eficiência na emissão do fluxo luminoso das fluorescentes tubulares, na temperatura de cor 6500K (tabela 5-2), confirma tal afirmação pois, foram para esta temperatura de cor que ocorreram os melhores índices de viabilidade econômica para o *retrofit* (maiores TIRs e menores *Paybacks*), ao mesmo tempo em que ocorreram as maiores proximidades com as emissões dos fluxos luminosos emitidos pelas fluorescentes tubulares.

Mas, como convencionado pela NBR5413/1992, que os níveis de iluminância mínimos, médios e máximos devem ser entre 75 – 100 – 150 lux, nos locais com iluminação geral usada ininterruptamente ou com tarefas visuais simples, como em corredores e áreas de passagens, as perdas do fluxo luminoso para os resultados apresentados (talvez) possam ser

irrelevantes. Daí, a necessidade de confirmação, a partir do *Método dos Lumens*, que a emissão luminosa do catodo frio seja suficiente para atingir os níveis exigidos pela norma.

O uso de dimmers nas fluorescentes também influenciou na relação da viabilidade econômica. Apesar de mais caros, as aplicações com dimmers denotam maior tempo de vida útil às lâmpadas fluorescentes tubulares, reduzindo a necessidade de substituições das fontes de luz e, com isso, inviabilizando os índices econômicos pela troca com o catodo frio.

Para estas relações, este estudo chegou as seguintes conclusões:

Sem Dimmer nas Fluorescentes		Com Dimmer nas Fluorescentes
Quanto > emissão luminosa Lâmpadas de Catodo Frio	Se, para o mesmo comparativo, considerarmos o uso de dimmer nas lâmpadas fluorescentes	Lâmpadas de Catodo Frio continuariam com a mesma emissão luminosa
< T I R e conseqüentemente, > <i>Payback</i>		Porém, redução T I R e conseqüentemente, aumento <i>Payback</i>

Tabela 6-2. Relação da emissão luminosa e da viabilidade econômica no comparativo entre as lâmpadas fluorescentes e o catodo frio.

E, na busca por um ponto de equilíbrio, o estudo alterou outra variável: a quantidade de lâmpadas e, como consequência, de reatores eletrônicos. Mas, esta alteração mostrou-se irrelevante, já que existe uma relação direta entre a quantidade de lâmpadas fluorescentes para cada metro linear no catodo frio. Portanto, mesmo alteradas as quantidades de lâmpadas (e reatores), os índices econômicos permaneceram inalterados.

Fator realmente relevante é o longo tempo de vida útil do catodo frio – que deveria ser considerado como alternativa econômica eficaz (e de menor descarte de lâmpadas obsoletas) em edificações que utilizam os sistemas de iluminação acesos por longos períodos, ininterruptamente – aplicações como shopping centers, aeroportos, hospitais, hall e corredores de hotéis, por exemplo. Portanto, quanto maior a quantidade de tempo (em horas) de uso diário dos sistemas de iluminação, mais rápido será o *payback* para o retrofit pelo catodo frio – figura 6-3. Em sistemas de iluminação onde se faz necessário aumentar o número de acendimentos das lâmpadas, esse retorno sobre o investimento deve ocorrer ainda mais cedo, já que este fato (a redução do intervalo entre os números de acendimentos) deverá prejudicar a emissão luminosa nos eletrodos das fluorescentes, reduzindo sua vida útil – o que não ocorre com o catodo frio.

Quanto > uso diário do sistema de iluminação (em horas)	Mais rápido será o <i>Payback</i> pelo retrofit com as Lâmpadas de Catodo Frio
---	--

Tabela 6-3. Relação do retorno sobre o investimento para o retrofit dos sistemas de iluminação, quanto à sua utilização

Mas, como apresentado, em todos os casos analisados por este estudo, confrontou-se o tempo de vida útil teórico das lâmpadas fluorescentes e de catodo frio (informado pelos diferentes fabricantes), com o tempo de utilização dos sistemas de iluminação, diária e ininterruptamente acesos por 12 horas. Nas fluorescentes tubulares observou-se que a necessidade das trocas completas variou conforme o sistema adotado (utilização de reatores com ou sem pré-aquecimento, por exemplo) e no catodo frio, teoricamente, as lâmpadas poderiam ser utilizadas por até 22,83 anos. Como informado pelos fabricantes em seus catálogos, estes valores podem variar, pois dependem de alguns fatores externos, como por exemplo, número de acendimentos das lâmpadas e estabilização da tensão elétrica de alimentação dos componentes eletrônicos (reatores e conversores).

A peculiaridade do sistema energético brasileiro, com frequência de 60Hz e tensões de rede que variam, dependendo da localização geográfica, entre 110V ou 220V, eventualmente, podem dificultar o uso de certos tipos de reatores eletrônicos para as lâmpadas fluorescentes, pois alguns modelos específicos são comercializados apenas em 110V ou 220V. Nos reatores eletrônicos dimerizáveis, por seguirem o padrão de tensão de rede elétrica europeu, são comercializados exclusivamente em tensão 230V, 50-60Hz, o que pode dificultar o uso destes equipamentos em algumas aplicações, sendo substituídos por soluções menos eficientes. Para o catodo frio, todos os conversores eletrônicos são dimerizáveis e funcionam com tensões elétricas de rede entre 100-277V, automático, com frequências de 50-60Hz, facilitando seu uso e especificação para o projeto de iluminação.

Lembrando-se sempre que este trabalho considerou os dados fornecidos pelos fabricantes em seus catálogos comerciais, portanto ainda carentes de comprovações por meio de testes laboratoriais de entidades homologadas pelas agências reguladoras. E, como dito no Capítulo 3.3, o método desta pesquisa não considerou os valores financeiros de mão de obra para realização das análises econômicas – o que, certamente, encareceria as substituições das fluorescentes tubulares, melhorando os índices de TIR e *Payback* em favorecimento ao *retrofit*

pelo catodo frio, durante sua vida útil. Ou ainda, que em determinadas aplicações, a viabilidade demonstrada pelos índices econômicos possa ser apenas parte do processo de tomada de decisão do investidor, pois o “grande ganho” seria o menor descarte de material obsoleto e passível de contaminação para o meio ambiente.

Mas, sempre que necessário, um novo estudo deve ser realizado – caso a caso – confrontando as variáveis relevantes e atualizando os paradigmas de comparação, para assumir as condições ideais para o melhor desempenho do sistema de iluminação do empreendimento, justificando os custos e argumentando os investimentos, para trazer a confiabilidade necessária para a tomada de decisão do investidor.

E, obviamente, outros critérios também poderiam ser considerados para os comparativos. Os paradigmas de viés luminotécnico e econômico aqui adotados poderiam, por exemplo, considerar outras alusões: as implicações desta distribuição de energia não homogênea emitida pelas lâmpadas fluorescentes para o sistema circadiano (responsável pelo ciclo biológico dos seres vivos, pela produção de hormônios, bem como de ritmos psicológicos do corpo humano), mantidas as percepções visuais da fonte de luz artificial, mesmo que obtidas a partir de picos de emissão nas bandas correspondentes (azul, verde e vermelho), no espectro de energia visível.

7. REFERÊNCIAS

ABILUX. Associação Brasileira da Indústria da Iluminação. Disponível em: <http://www.abilux.com.br>. Acesso: outubro de 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1985). **NBR 5382/1985 – Verificação de Iluminância de Interiores – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1991). **NBR 5461/1991 – Iluminação: Terminologia**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1992). **NBR 5413/1992 – Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2005). **NBR 15.215-4 – Iluminação Natural – Parte 4: Verificação Experimental das Condições de Iluminação Interna de Edificações – Método Medição**. Rio de Janeiro.

BAKER, N., STEEMERS, K. **Daylight Design of Buildings**. Londres, Reino Unido, James & James, 2002.

BAKER, N., FANCHIOTTI, A., STEEMERS, K. **Daylight in architecture – A European reference book**. Earthscan. Reino Unido, 1993.

BARRET, J.P., **Electricity at the Columbian Exposition**. R.R. Donnelley, USA, 2007.

CADDET, **Saving energy with efficient lighting in commercial buildings**. Maxi brochure 01. CADDET Energy Efficiency - Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. Holanda, 1995.

CHENEY, M. **Tesla: Man out of time**. Barnes & Noble Books, New York, USA, 2001.

CIE. **The Basics of Physical Photometry**, CIE Publication nº 18.2, 1983.

CLAUDE, G. **Biography (1870-1960)**. Disponível em: <http://www.madehow.com/inventorbios/80/Georges-Claude.html>. Acesso: outubro de 2010.

CONMETRO nº 12/1988. **Quadro geral de unidades**. Disponível em: <http://www.ipem.sp.gov.br/5mt/unidade.asp?vpro=otica>. Acesso: setembro 2010.

DESCOTTES, H. **Architectural Lighting: Designing with Light and Space**, Princeton Architectural Press, USA, 2010.

ELETRÓBRÁS. **PROCEL**. Disponível em www.eletrabras.gov.br. Acesso: setembro de 2012.

GHISI, E. (1997). **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Avaliação do potencial de conservação de energia elétrica através de estudo de retrofit no sistema de iluminação da UFSC**, Encac – Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, 1997.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HIRSCHFELD, H. **Viabilidade Técnico-Econômica de Empreendimentos**. São Paulo: Atlas, 1987.

HOPKINSON, R.G. & KAY, L.D. **The light of building**. Ed. Faber and Faber Ltd, Londres, Reino Unido, 1969.

IAEL. **Neon lighting – a professional advantage**. International Association of Electrical Inspectors. USA, 2006.

IESNA (2008). **Light + Design**. A guide to designing quality lighting for people and buildings. EUA: IESNA, 2008.

IESNA (2009). **Nomenclature and definitions for illuminating Engineering**. Illuminating Engineering of North America. USA.

KAWASAKI, J. (2011). **Vida mediana ou vida útil?**, O setor elétrico. Disponível em: <http://www.osestoreletrico.com.br/web/colunistas/juliana-iwashita/575-vida-mediana-ou-vida-util.html>. Acesso: maio de 2011.

LAMBERTS, R. DUTRA, L. PEREIRA, F. (2004) **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª Edição, revisada. Ed. ProLivros, São Paulo.

MASCARÓ, Lucia (2005). **Iluminação e arquitetura: sua evolução através do tempo**. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp324.asp>. Acesso: abril de 2011.

MATOS, M.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. **Estudo de melhoria no sistema de iluminação artificial da UFSC**, Encac - Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, 2003.

MICHEL, L.. **Light: the shape of space – designing with space and light**. Wiley. USA, 1995.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, **Eficiência Energética e Conservação de Energia**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/clima/energia/eficiencia-energetica> Acesso: maio de 2013

NEVES, G., SOUZA, E., TEIXEIRA, P. **Análise do conforto visual dos funcionários da biblioteca da área de engenharia (BAE) da UNICAMP**. Monografia. Campinas, Brasil, 2010.

OSRAM, **Manual Luminotécnico Prático** (2007). Disponível em: www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf. Acesso: agosto de 2011

OSRAM, **Lâmpadas Fluorescentes Tubulares e Circulares** (2007). Disponível em: www.osram.com.br/osram.../AF_05_fluortubulares-print.pdf. Acesso: setembro de 2012

PHILIPS, **Lâmpadas fluorescentes tubulares**. Catálogos, SPOT Serviço Philips de Orientação Técnica. Disponível em www.lighting.philips.com.br/. Acesso: novembro de 2012.

PHILIPS, **Manual de Iluminação**, Quarta Edição, Eindhoven, Holanda, 1986.

PHILIPS, **Guia de Iluminação** (2005). Disponível em: www.ebah.com.br/content/.../guia-iluminacao-2005-philips. Acesso: agosto de 2011.

PHILIPS, **Guia Prático Philips Iluminação** (2009). Disponível em: www.lighting.philips.com.br/.../GuiaBolso_Sistema_09_final.pdf. Acesso: setembro de 2012.

ROBBINS, C.L. **Daylighting – Design & Analysis**. VNR. USA, 1986.

RIBEIRO, Wankes L. **Como calcular a viabilidade de um projeto utilizando técnicas de análise de investimento: Payback Simples, VPL e TIR**. Disponível em: <http://www.wankesleandro.com>. Acesso: outubro de 2010.

RUCK, Nancy et al. **Daylighting in Buildings – A source book on daylighting systems and components**. International Energy Agency (IEA) Solar Heating and Cooling Programme, Energy Conservation in Buildings & Community Systems. Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, 2000.

SÁ, L.C.F., PLUTT, M. **Acomodação**. In Arquivos Brasileiros de Oftalmologia, vol. 64, nº5. São Paulo/SP, 2001. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-27492001000500021&lng=en&nrm=iso. Acesso: maio de 2010

SCHIMID, A.L. **Aula 1: Conceitos fundamentais em iluminação**. UFPR, 2005. Disponível em: http://burle.arquit.ufpr.br/~alschmid/novo/TA466/TA466_01_2006.doc. Acesso: maio de 2010

TECNOLUX, **Lâmpadas de catodo frio**, Catálogos, 2010. Disponível em www.tecnolux.com/. Acesso: novembro de 2012.

TECNOLUX, **Cold Cathode Lighting Systems**. Disponível em www.tecnoluxlighting.com/. Acesso: novembro de 2012.

TESLA, N., **The Nikola Tesla Treasury**. Wilder Publications. USA, 2007.

TREGUENZA, P. R., **Daylighting Algorithms**. School of Architectural Studies- University of Sheffield. Reino Unido, 1998.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

USP – Universidade de São Paulo. **Iluminação**. São Paulo/SP, 2003. Disponível em: <http://pcc2261.pcc.usp.br/Ilumina%C3%A7%C3%A3o%202003-03%20internet.pdf>. Acesso: março de 2010.

USP – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica - PEA Laboratório de instalações elétricas. **Lâmpadas Elétricas**. Disponível em: http://files.myopera.com/aquarits/blog/usp_lampada.pdf. Acesso: outubro de 2010.

VENTANA, **Projetos de iluminação com catodo frio – Lighting Design**. Disponível em: <http://www.ventanabr.com/vt2/ld.html>. Acesso: novembro de 2012.

VILELA, A. L. M. **Os sentidos: visão, audição, paladar olfato e tato**. Disponível em: <http://www.afh.bio.br/sentidos/sentidos1.asp>. Acesso: maio de 2010.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. **Estudo de viabilidade econômica de uma proposta de retrofit em um edifício comercial**, Encac – Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, 1999.

WINCHIP, S. **Fundamentals of Lighting**. Fairchild Publications, Inc., New York, USA, 2008.

YEN, W., SHIONOYA, S., YAMAMOTO, H. **Phosphor handbook – second edition**. CRC. USA, 2006.

ANEXO 1

BANCO DE DADOS (Equivalência entre Lâmpadas – Parte 1)

Code	Nome da Família de Produto	Produto	Bulbo	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)	Potência (W)	Fluxo Luminoso emitido pela lâmpada (Lm)	Fluxo Luminoso por metro (Lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Consumo por Metro Linear (W/m)	Eficiência Luminosa HF a 35°C (Lm/W)
1	Master TL5 High Efficiency Eco	TL5 HE Eco 13=14W/830	T5	563,2	16	13	1.350	2.397	85	3000	23	108
2	Master TL5 High Efficiency Eco	TL5 HE Eco 13=14W/840	T5	563,2	16	13	1.350	2.397	85	4000	23	108
3	Master TL5 High Efficiency Eco	TL5 HE Eco 25=28W/830	T5	1.163,2	16	25	2.900	2.493	85	3000	21	114
4	Master TL5 High Efficiency Eco	TL5 HE Eco 25=28W/840	T5	1.163,2	16	25	2.900	2.493	85	4000	21	114
5	Master TL5 High Efficiency Eco	TL5 HE Eco 25=28W/865	T5	1.163,2	16	25	2.700	2.321	85	6500	21	106
6	Master TL5 High Output Eco	TL5 HO Eco 50=54W/830	T5	1.163,2	16	50	5.000	4.298	85	3000	43	102
7	Master TL5 High Output Eco	TL5 HO Eco 50=54W/840	T5	1.163,2	16	50	5.000	4.298	85	4000	43	102
8	Master TL5 High Output Eco	TL5 HO Eco 50=54W/865	T5	1.163,2	16	50	4.650	3.998	85	6500	43	95
9	Master TL5 High Output Eco	TL5 HO Eco 73=80W/830	T5	1.463,2	16	73	7.000	4.784	85	3000	50	96
10	Master TL5 High Output Eco	TL5 HO Eco 73=80W/840	T5	1.463,2	16	73	7.000	4.784	85	4000	50	96
11	Master TL5 HO	TL5 HO 54W/830	T5	1.163,2	16	54	5.000	4.298	85	3000	46	93
12	Master TL5 HO	TL5 HO 54W/840	T5	1.163,2	16	54	5.000	4.298	85	4000	46	93
13	Master TL5 HO	TL5 HO 54W/850	T5	1.163,2	16	54	4.800	4.127	85	5000	46	89
14	TL5 Essential Super 80	TL5 ESS 14W/830	T5	563,2	16	14	1.350	2.397	82	3000	25	96
15	TL5 Essential Super 80	TL5 ESS 14W/840	T5	563,2	16	14	1.350	2.397	82	4000	25	96
16	TL5 Essential Super 80	TL5 ESS 14W/865	T5	563,2	16	14	1.260	2.237	82	6500	25	90
17	TL5 Essential Super 80	TL5 ESS 28W/830	T5	1.163,2	16	28	2.900	2.493	82	3000	24	104
18	TL5 Essential Super 80	TL5 ESS 28W/840	T5	1.163,2	16	28	2.900	2.493	82	4000	24	104
19	TL5 Essential Super 80	TL5 ESS 28W/865	T5	1.163,2	16	28	2.700	2.321	80	6500	24	97
20	Master TL-D Super 80	TL-D 58W/830/GP	T8	1.514,2	26	58	5.240	3.461	85	3000	38	90
21	Master TL-D Super 80	TL-D 58W/840/GP	T8	1.514,2	26	58	5.240	3.461	85	4000	38	90
22	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 18W/930	T8	604,0	26	18	1.200	1.987	91	3000	30	67
23	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 18W/940	T8	604,0	26	18	1.200	1.987	91	4000	30	67
24	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 18W/965	T8	604,0	26	18	1.150	1.904	93	6500	30	64
25	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 36W/930	T8	1.213,6	26	36	2.800	2.307	91	3000	30	78
26	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 36W/940	T8	1.213,6	26	36	2.800	2.307	91	4000	30	78
27	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 36W/965	T8	1.213,6	26	36	2.800	2.307	93	6500	30	78
28	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 58W/930	T8	1.514,2	26	58	4.350	2.873	91	3000	38	74
29	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 58W/940	T8	1.514,2	26	58	4.600	3.038	91	4000	38	79
30	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 58W/965	T8	1.514,2	26	58	4.550	3.005	93	6500	38	78
31	TL-D Standard Colours	TL-D 18W/54-765	T8	604,0	26	18	1.050	1.738	72	6200	30	58
32	TL-D Standard Colours	TL-D 36W/54-765	T8	1.213,6	26	36	2.300	1.895	72	6200	30	64
33	TL-D Lifemax Super 80	TL-D 18W/830/GC	T8	604,0	26	18	1.350	2.235	83	3000	30	75
34	TL-D Lifemax Super 80	TL-D 18W/840/GC	T8	604,0	26	18	1.350	2.235	82	4000	30	75
35	TL-D Lifemax Super 80	TL-D 36W/830 WW G13	T8	1.213,6	26	36	3.250	2.678	83	3000	30	90
36	TL-D Lifemax Super 80	TL-D 36W/840 CW G13	T8	1.213,6	26	36	3.250	2.678	82	4000	30	90
37	Tecnolux LCF	#7	LCF	5.080,0	15	90	1.300	1.300	85	3000	18	73
38	Tecnolux LCF	#7	LCF	6.096,0	20	90	1.150	1.150	85	3000	15	78
39	Tecnolux LCF	#7	LCF	3.810,0	15	95	1.800	1.800	85	3000	25	72
40	Tecnolux LCF	#7	LCF	4.064,0	20	95	1.600	1.600	85	3000	23	68
41	Tecnolux LCF	#7	LCF	2.286,0	18	95	2.700	2.700	85	3000	42	65
42	Tecnolux LCF	#7	LCF	2.439,0	20	95	2.400	2.400	85	3000	39	62
43	Tecnolux LCF	#25 B	LCF	5.080,0	15	90	1.150	1.150	85	4500	18	65
44	Tecnolux LCF	#25 B	LCF	6.096,0	20	90	1.000	1.000	85	4500	15	68
45	Tecnolux LCF	#25 B	LCF	3.810,0	15	95	1.550	1.550	85	4500	25	62
46	Tecnolux LCF	#25 B	LCF	4.064,0	20	95	1.400	1.400	85	4500	23	60
47	Tecnolux LCF	#25 B	LCF	2.286,0	18	95	2.325	2.325	85	4500	42	56
48	Tecnolux LCF	#25 B	LCF	2.438,0	20	95	2.100	2.100	85	4500	39	54
49	Tecnolux LCF	#66	LCF	5.080,0	15	90	1.300	1.300	85	6500	18	73
50	Tecnolux LCF	#66	LCF	6.096,0	20	90	1.100	1.100	85	6500	15	75
51	Tecnolux LCF	#66	LCF	3.810,0	15	95	1.800	1.800	85	6500	25	72
52	Tecnolux LCF	#66	LCF	4.064,0	20	95	1.650	1.650	85	6500	23	71
53	Tecnolux LCF	#66	LCF	2.286,0	18	95	2.700	2.700	85	6500	42	65
54	Tecnolux LCF	#66	LCF	2.438,0	20	95	2.475	2.475	85	6500	39	64

ANEXO 2

BANCO DE DADOS (Equivalência entre Lâmpadas – Parte 2)

Code	Nome da Família de Produto	Produto	Bulbo	Vida Útil	Vida Útil	Reator Eletrônico		Reator Dimerizável		Fornecedor A	Fornecedor B	Fornecedor C	Preço Médio
				LSF HF pré-aquec 99% (horas)	LLMF HF pré-aquec 96% (horas)	Code	# Lamp	Code	# Lamp	R\$	R\$	R\$	R\$
1	Master TL5 High Efficiency Eco	TL5 HE Eco 13=14W/830	T5	16.000	2.000	61	2	80	4	-	15,08	16,74	15,91
2	Master TL5 High Efficiency Eco	TL5 HE Eco 13=14W/840	T5	16.000	2.000	61	2	80	4	-	15,08	16,74	15,91
3	Master TL5 High Efficiency Eco	TL5 HE Eco 25=28W/830	T5	16.000	2.000	62	2	81	2	-	15,08	16,74	15,91
4	Master TL5 High Efficiency Eco	TL5 HE Eco 25=28W/840	T5	16.000	2.000	62	2	81	2	-	15,08	16,74	15,91
5	Master TL5 High Efficiency Eco	TL5 HE Eco 25=28W/865	T5	16.000	2.000	62	2	81	2	-	15,08	16,74	15,91
6	Master TL5 High Output Eco	TL5 HO Eco 50=54W/830	T5	16.000	2.000	63	2	81	2	-	19,14	20,92	20,03
7	Master TL5 High Output Eco	TL5 HO Eco 50=54W/840	T5	16.000	2.000	63	2	81	2	-	19,14	20,92	20,03
8	Master TL5 High Output Eco	TL5 HO Eco 50=54W/865	T5	16.000	2.000	63	2	81	2	-	19,14	20,92	20,03
9	Master TL5 High Output Eco	TL5 HO Eco 73=80W/830	T5	16.000	2.000	65	1	81	1	-	18,85	26,75	22,80
10	Master TL5 High Output Eco	TL5 HO Eco 73=80W/840	T5	16.000	2.000	65	1	81	1	-	18,85	26,75	22,80
11	Master TL5 HO	TL5 HO 54W/830	T5	12.000	2.000	63	2	81	2	-	8,19	9,79	8,99
12	Master TL5 HO	TL5 HO 54W/840	T5	12.000	2.000	63	2	81	2	-	8,19	9,79	8,99
13	Master TL5 HO	TL5 HO 54W/850	T5	12.000	2.000	63	2	81	2	-	8,19	9,79	8,99
14	TL5 Essential Super 80	TL5 ESS 14W/830	T5	2.000	2.000	61	2	80	4	5,00	4,68	5,79	5,16
15	TL5 Essential Super 80	TL5 ESS 14W/840	T5	2.000	2.000	61	2	80	4	5,00	4,68	5,79	5,16
16	TL5 Essential Super 80	TL5 ESS 14W/865	T5	2.000	2.000	61	2	80	4	5,00	4,68	5,79	5,16
17	TL5 Essential Super 80	TL5 ESS 28W/830	T5	2.000	2.000	62	2	81	2	5,00	4,68	5,79	5,16
18	TL5 Essential Super 80	TL5 ESS 28W/840	T5	2.000	2.000	62	2	81	2	5,00	4,68	5,79	5,16
19	TL5 Essential Super 80	TL5 ESS 28W/865	T5	2.000	2.000	62	2	81	2	-	4,68	5,79	5,24
20	Master TL-D Super 80	TL-D 58W/830/GP	T8	8.000	2.000	72	2	91	2	-	18,18	18,99	18,59
21	Master TL-D Super 80	TL-D 58W/840/GP	T8	8.000	2.000	72	2	91	2	-	18,18	18,99	18,59
22	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 18W/930	T8	8.000	2.000	64	2	85	4	-	13,21	14,89	14,05
23	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 18W/940	T8	8.000	2.000	64	2	85	4	-	13,21	14,89	14,05
24	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 18W/965	T8	8.000	2.000	64	2	85	4	-	13,21	14,89	14,05
25	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 36W/930	T8	8.000	2.000	74	2	89	2	-	17,59	18,07	17,83
26	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 36W/940	T8	8.000	2.000	74	2	89	2	-	17,59	18,07	17,83
27	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 36W/965	T8	8.000	2.000	74	2	89	2	-	17,59	18,07	17,83
28	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 58W/930	T8	8.000	2.000	72	2	91	2	-	18,50	19,14	18,82
29	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 58W/940	T8	8.000	2.000	72	2	91	2	-	18,50	19,14	18,82
30	Master TL-D 90 De Luxe	TL-D 90 De Luxe 58W/965	T8	8.000	2.000	72	2	91	2	-	18,50	19,14	18,82
31	TL-D Standard Colours	TL-D 18W/54-765	T8	10.000	2.000	64	2	85	4	-	4,00	4,61	4,31
32	TL-D Standard Colours	TL-D 36W/54-765	T8	10.000	2.000	74	2	89	2	-	4,00	4,61	4,31
33	TL-D Lifemax Super 80	TL-D 18W/830/GC	T8	10.000	2.000	64	2	85	4	-	6,33	6,46	6,40
34	TL-D Lifemax Super 80	TL-D 18W/840/GC	T8	10.000	2.000	64	2	85	4	-	6,33	6,46	6,40
35	TL-D Lifemax Super 80	TL-D 36W/830 WW G13	T8	10.000	2.000	74	2	89	2	-	7,79	8,06	7,93
36	TL-D Lifemax Super 80	TL-D 36W/840 CW G13	T8	10.000	2.000	74	2	89	2	-	7,79	8,06	7,93
37	Tecnolux LCF	#7	LCF	100.000	100.000	92	3	92	3	-	-	-	70,00
38	Tecnolux LCF	#7	LCF	100.000	100.000	93	3	93	3	-	-	-	70,00
39	Tecnolux LCF	#7	LCF	100.000	100.000	94	2	94	2	-	-	-	70,00
40	Tecnolux LCF	#7	LCF	100.000	100.000	95	2	95	2	-	-	-	70,00
41	Tecnolux LCF	#7	LCF	100.000	100.000	96	1	96	1	-	-	-	70,00
42	Tecnolux LCF	#7	LCF	100.000	100.000	97	1	97	1	-	-	-	70,00
43	Tecnolux LCF	#25 B	LCF	100.000	100.000	92	3	92	3	-	-	-	70,00
44	Tecnolux LCF	#25 B	LCF	100.000	100.000	93	3	93	3	-	-	-	70,00
45	Tecnolux LCF	#25 B	LCF	100.000	100.000	94	2	94	2	-	-	-	70,00
46	Tecnolux LCF	#25 B	LCF	100.000	100.000	95	2	95	2	-	-	-	70,00
47	Tecnolux LCF	#25 B	LCF	100.000	100.000	96	1	96	1	-	-	-	70,00
48	Tecnolux LCF	#25 B	LCF	100.000	100.000	97	1	97	1	-	-	-	70,00
49	Tecnolux LCF	#66	LCF	100.000	100.000	92	3	92	3	-	-	-	70,00
50	Tecnolux LCF	#66	LCF	100.000	100.000	93	3	93	3	-	-	-	70,00
51	Tecnolux LCF	#66	LCF	100.000	100.000	94	2	94	2	-	-	-	70,00
52	Tecnolux LCF	#66	LCF	100.000	100.000	95	2	95	2	-	-	-	70,00
53	Tecnolux LCF	#66	LCF	100.000	100.000	96	1	96	1	-	-	-	70,00
54	Tecnolux LCF	#66	LCF	100.000	100.000	97	1	97	1	-	-	-	70,00

ANEXO 3

BANCO DE DADOS (Características dos Reatores Eletrônicos)

Code	Nome da Família de Produto	Produto	Bulbo	Dimmer	Fornecedor A R\$	Fornecedor B R\$	Fornecedor C R\$	Preço Médio R\$
55	Basic	EB 1X16W TL-D 127-220V 50/60HZ HPF	T8	Não	15,45	13,83	14,81	14,70
56	Basic	EB 2X16W TL-D 127-220V 50/60HZ HPF	T8	Não	15,25	13,83	14,47	14,52
57	Basic	EB 1X32W TL-D 127-220V 50/60HZ HPF	T8	Não	15,60	13,83	14,81	14,75
58	Basic	EB 2X32W TL-D 127-220V 50/60HZ HPF	T8	Não	15,25	13,83	13,27	14,12
59	Basic	EB 1X40W TL-T 127-220V 50/60HZ HPF	T8	Não	15,60	13,83	14,81	14,75
60	Basic	EB 2X40W TL-T 127-220V 50/60HZ HPF	T8	Não	15,30	13,83	13,27	14,13
61	Basic T5	EL 2x14W TL5 220V 50/60HZ HPF	T5	Não	36,00	35,10	35,06	35,39
62	Basic T5	EL 2X28W TL5 220V 50/60HZ HPF	T5	Não	36,50	35,10	35,06	35,55
63	Basic T5	EL 2X54W TL5 220V 50/60HZ HPF	T5	Não	37,00	35,10	39,66	37,25
64	ECO MASTER MULTITENSÃO TL-D	EL 1/2X16/32W TL-D 100-277V 50/60HZ HPF	T8	Não	42,00	39,00	38,70	39,90
65	ECO MASTER MULTITENSÃO TL5	EL 1/2X54W TL5 120-277V 50/60HZ HPF	T5	Não	60,20	58,40	58,33	58,98
66	ECO MASTER MULTITENSÃO TL5	EL 2X14/28W TL5 105-240V 50/60HZ HPF	T5	Não	52,30	45,24	45,11	47,55
67	Eco Master	EL 2X16W TL-D 220V 50/60HZ HPF PS	T8	Não	28,00	26,00	27,56	27,19
68	Eco Master	EL 1X32W TL-D 220V 50/60HZ HPF PS	T8	Não	26,50	24,44	23,42	24,79
69	Eco Master	EL 2X32W TL-D 220V 50/60HZ HPF PS	T8	Não	28,00	26,00	24,79	26,26
70	Eco Master	EL 1X40W TL-T 220V 50/60HZ HPF PS	T8	Não	26,50	24,44	23,42	24,79
71	Eco Master	EL 2X40W TL-T 220V 50/60HZ HPF PS	T8	Não	28,00	26,00	24,79	26,26
72	Eco Master	EL 2X55/58/65 TL-D/T 220V 50/60HZ HPF	T8	Não	57,23	54,23	50,86	54,11
73	Eco Master	EL 2X110W TL-T 220V 50/60HZ HPF	T8	Não	71,50	61,88	60,94	64,77
74	Eco Master	EL 2X40W TL-T 127V 50/60HZ HPF	T8	Não	31,15	28,65	27,56	29,12
75	Eco Master	EL 2/16W TL-D 127V 50/60HZ HPF	T8	Não	29,90	28,60	27,56	28,69
76	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T5 (0-10V)	HF REGULATOR 1 14-35 TL5 EII 220-240V 50/60HZ	T5	Sim	85,44	116,69	78,17	93,43
77	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T5 (0-10V)	HF REGULATOR 2 14-35 TL5 EII 220-240V 50/60HZ	T5	Sim	85,44	116,69	78,17	93,43
78	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T5 (0-10V)	HF REGULATOR 154 14-35 TL5 EII 220-240V 50/60HZ	T5	Sim	83,55	114,20	75,87	91,21
79	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T5 (0-10V)	HF REGULATOR 314 14-35 TL5 EII 220-240V 50/60HZ	T5	Sim	141,23	138,49	125,26	134,99
80	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T5 (0-10V)	HF REGULATOR 414 14-35 TL5 EII 220-240V 50/60HZ	T5	Sim	144,58	138,49	166,14	149,74
81	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T5 (0-10V)	HF REGULATOR 254 14-35 TL5 EII 220-240V 50/60HZ	T5	Sim	98,69	113,70	92,79	101,73
82	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T5 (0-10V)	HF REGULATOR 180 14-35 TL5/PL-L EII 220-240V 50/60HZ	T5	Sim		166,40	128,74	147,57
83	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T5 (0-10V)	HF REGULATOR 280 14-35 TL5/PL-L EII 220-240V 50/60HZ	T5	Sim		166,40	141,81	154,11
84	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T8 (0-10V)	HF REGULATOR 118 TL-D EII 220-240V 50/60HZ	T8	Sim	136,38		127,78	132,08
85	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T8 (0-10V)	HF REGULATOR 418 TL-D EII 220-240V 50/60HZ	T8	Sim	168,00	166,40	166,14	166,85
86	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T8 (0-10V)	HF REGULATOR 218 TL-D EII 220-240V 50/60HZ	T8	Sim	141,41		133,47	137,44
87	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T8 (0-10V)	HF REGULATOR 318 TL-D EII 220-240V 50/60HZ	T8	Sim	168,00	166,40	166,14	166,85
88	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T8 (0-10V)	HF REGULATOR 136 TL-D EII 220-240V 50/60HZ	T8	Sim	136,38		127,78	132,08
89	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T8 (0-10V)	HF REGULATOR 236 TL-D EII 220-240V 50/60HZ	T8	Sim	141,41		133,46	137,44
90	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T8 (0-10V)	HF REGULATOR 158 TL-D EII 220-240V 50/60HZ	T8	Sim	136,38		127,78	132,08
91	HF REGULATOR II PARA LAMPADAS T8 (0-10V)	HF REGULATOR 258 TL-D EII 220-240V 50/60HZ	T8	Sim	141,41		133,46	137,44

ANEXO 4

BANCO DE DADOS (Características dos Conversores Eletrônicos)

Code	Família de Produto	Produto	Corrente (mA)	Potência (W)	Ø Tubo (mm)	Load (Argon) (inches)	Load (Argon) (mm)	# Lâmpadas (pç)	Acréscimo Eletrodos (mm)	Load (Argon) (mm)	Comprimento lâmpadas		Preço Médio R\$
											Teórico (mm)	Prático (mm)	
92	Electronic Converters	EB3-5060-HP	60	90	15	20	5.080	3	762	4.318	1.440	1.500	380,00
93	Electronic Converters	EB3-5060-HP	60	90	20	24	6.096	3	762	5.334	1.778	1.800	380,00
94	Electronic Converters	EB3-2120-HP	100	95	15	15	3.810	2	508	3.302	1.651	1.800	380,00
95	Electronic Converters	EB3-2120-HP	100	95	20	16	4.064	2	508	3.556	1.778	1.800	380,00
96	Electronic Converters	EB3-9180-HP	180	95	18	9	2.286	1	0	2.286	2.286	2.300	380,00
97	Electronic Converters	EB3-9180-HP	180	95	20	9,6	2.438	1	0	2.439	2.439	2.500	380,00

ANEXO 5

LÂMPADAS FLUORESCENTES PHILIPS E SUAS CARACTERÍSTICAS (Parte 1)

(conforme descrição dos catálogos das respectivas lâmpadas fluorescentes analisadas)

Família de Produto	Bulbo	Slogan	Descrição
Master TL5 High Efficiency Eco	T5	A luz fluorescente mais eficiente do mundo.	Essa lâmpada TL5 extremamente eficiente (tubo de 16 mm de diâmetro) gera uma economia de energia considerável com a simples substituição direta das lâmpadas. A lâmpada TL5 HE Eco oferece níveis excelentes de manutenção de lúmen e reprodução de cor. As áreas de aplicação variam de escritórios a indústrias, escolas e lojas.
Master TL5 High Output Eco	T5	A luz fluorescente mais eficiente e brilhante do mundo.	Essa lâmpada TL5 extremamente eficiente (tubo de 16 mm de diâmetro) gera uma economia de energia considerável com a simples substituição direta das lâmpadas. A lâmpada TL5 HO Eco foi otimizada para instalações nas quais é necessária uma alta saída de luz e oferece excelentes níveis de manutenção de lúmen e reprodução de cor. As áreas de aplicação variam de escritórios a indústrias, escolas e lojas.
Master TL5 HO	T5	A luz fluorescente mais brilhante do mundo.	Esta lâmpada TL5 (tubo com diâmetro de 16 mm) apresenta alta saída de luz. A lâmpada TL5 HO foi otimizada para instalações nas quais é necessária uma alta saída de luz e oferece excelentes níveis de manutenção de lúmen e reprodução de cor. As áreas de aplicação variam de escritórios a indústrias, escolas e lojas.
TL5 Essencial [®] Super 80	T5	N/A	A Philips TL5 Essencial Super80 é uma nova lâmpada fluorescente que proporciona a usuários domésticos e profissional uma solução estética miniaturizada de iluminação, confiável e a um preço reduzido.
Master TL-D Super 80	T8	N/A	Lámparas de descarga de mercurio de baja presión con una envoltura tubular de 26 mm de diámetro
Master TL-D 90 De Luxe	T8	Veja as cores de maneira natural	Esta lâmpada TL-D realça as cores, dando a elas uma aparência mais natural. Sendo assim, é extremamente indicada para aplicações em que é necessária uma exata identificação das cores: salas de primeiros socorros e tratamento em hospitais, salas de impressão, joalherias, dentistas, cabeleiros, museus e lojas.
TL-D Standard Colours	T8	Luz fluorescente básica	As lâmpadas TL-D Standard Colors (tubo com diâmetro de 26 mm) criam atmosferas que vão da luz branca quente à luz do dia fria. Lâmpadas com moderada reprodução de cor e eficiência.
TL-D Lifemax Super 80	T8	Efficient fluorescent lighting with improved color rendering	The TL-D LIFEMAX Super 80 lamp offers more lumens per watt and better color rendering than TL-D standard colors. Furthermore, it has a lower mercury content. The lamp can be operated in existing TL-D luminaires.

ANEXO 6

LÂMPADAS FLUORESCENTES PHILIPS E SUAS CARACTERÍSTICAS (Parte 2)

Família de Produto	Bulbo	Slogan	Benefícios
Master TL5 High Efficiency Eco	T5	A luz fluorecente mais eficiente do mundo.	<ul style="list-style-type: none"> • Até 10 % de economia de energia com a simples substituição da lâmpada. • A mesma qualidade de luz em comparação com as lâmpadas MASTER TL5 HE. • Todas as vantagens das lâmpadas TL5 regulares.
Master TL5 High Output Eco	T5	A luz fluorecente mais eficiente e brilhante do mundo.	<ul style="list-style-type: none"> • Até 10 % de economia de energia com a simples substituição da lâmpada. • A mesma qualidade de luz em comparação com as lâmpadas MASTER TL5 HO. • Todas as vantagens das lâmpadas TL5 regulares.
Master TL5 HO	T5	A luz fluorecente mais brilhante do mundo.	<ul style="list-style-type: none"> • Permite a miniaturização do sistema e o máximo de liberdade para a criação de luminárias. • O tamanho da lâmpada permite o fácil encaixe em sistemas de módulo de teto. • Otimizada para instalações que precisam de um alto fluxo luminoso. • Nível de lúmen praticamente constante com excelente manutenção de lúmen. • Bom acabamento de cor.
TL5 Essential [®] Super 80	T5	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Tubo 40% menor em comparação com as lâmpadas fluorescentes T8. Redução do custo da luminária, de estoque e de transporte. • Tubo fino de 16 mm possibilita a criação de luminárias mais compactas e flexíveis. • Saída de lúmen máxima sob temperatura ambiente de 35 °C, mais adequada à situação real de iluminação. • Conforto para trabalhar e na atmosfera de convivência com IRC superior a 80. • Oferece uma solução de iluminação extremamente confiável e de alta qualidade por um custo baixo. • Cria atmosferas do branco quente à luz do dia fria.
Master TL-D Super 80	T8	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • El revestimiento fluorescente especial permite una buena reproducción cromática (Ra>80) • Alta eficacia tanto inicialmente como durante la vida de la lámpara, con constancia del flujo luminoso • La mayor eficacia se logra con el equipo electrónico HF (alta frecuencia) • Puede crear atmósferas que abarcan desde el blanco cálido hasta la luz natural fría
Master TL-D 90 De Luxe	T8	Veja as cores de maneira natural	<ul style="list-style-type: none"> • Nível muito bom de reprodução de cor, fazendo com que os produtos pareçam mais atraídos e as cores mais precisas que com a luz natural. • Permite que o consumidor tenha melhores propriedades de reprodução de cor sem (quase) nenhuma redução do nível de luz. • Permite que o consumidor (de certos segmentos) cumpra as novas normas europeias para iluminação de locais de trabalho internos (CEN 12464-1), sem precisar investir em novas luminárias.
TL-D Standard	T8	Luz fluorecente básica	<ul style="list-style-type: none"> • Cria atmosferas do branco quente à luz do dia fria.
TL-D Lifemax Super 80	T8	Efficient fluorescent lighting with improved color rendering	<ul style="list-style-type: none"> • Good color rendering • Relatively high efficacy, both initially and during lamp lifetime, with high lumen maintenance • Create atmospheres from warm white to cool daylight

ANEXO 7

LÂMPADAS FLUORESCENTES PHILIPS E SUAS CARACTERÍSTICAS (Parte 3)

Família de Produto	Bulbo	Slogan	Características
Master TL5 High Efficiency Eco	T5	A luz fluorescente mais eficiente do mundo.	<ul style="list-style-type: none"> • Lâmpadas de alta eficácia de até 114 lm/W. • Até 10% de redução no consumo de energia em comparação com as lâmpadas MASTER TL5 HE convencionais. • Qualidade de luz da fluorescente Super 80.
Master TL5 High Output Eco	T5	A luz fluorescente mais eficiente e brilhante do mundo.	<ul style="list-style-type: none"> • Lâmpadas de alta eficácia de até 109 lm/W. • Até 10% de redução no consumo de energia em comparação com as lâmpadas MASTER TL5 HO convencionais.
Master TL5 HO	T5	A luz fluorescente mais brilhante do mundo.	<ul style="list-style-type: none"> • 40% mais finas que as lâmpadas TL-D. • Projetada para oferecer alto nível de saída de luz e miniaturização do sistema. • Revestimento fluorescente de três faixas extremamente eficiente combinado com pré-revestimento. • Projetada especialmente para operação com reator eletrônico e própria para dimerização. • A saída de luz máxima é atingida a aproximadamente 35° C na posição com o bulbo livre se for utilizado um driver eletrônico com recurso de corta-circuito. • A ignição é possível de -15 a +50° C.
TL5 Essencial ² Super 80	T5	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Tamanho reduzido de apenas 16 mm. • Tecnologia de "Câmara Frigorífica". • Utilizada com reator eletrônico somente para TL5. • Opera sob temperatura de 5 °C a 50 °C.
Master TL-D Super 80	T8	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Revestimiento fluorescente de 3 bandas altamente eficaz en combinación con la tecnología de prerrevestimiento de Nueva Generación • Alta intensidad luminosa inicial • Puede utilizarse con equipo convencional o electrónico HF • Disponible en diferentes temperaturas de color • Dosis de mercurio muy baja (3 mg) • Tecnología de la lámpara totalmente reciclable; todos los componentes pueden utilizarse en la producción de nuevas lámparas • El casquillo incorpora una tapa de fondo verde para identificar la lámpara como reciclable
Master TL-D 90 De Luxe	T8	Veja as cores de maneira natural	<ul style="list-style-type: none"> • Revestimento fluorescente de alta qualidade que proporciona melhor reprodução de cor. • Utiliza a tecnologia trifósforo que aumenta a eficiência. • Retrofit para as luminárias atuais com lâmpadas TL-D convencionais. • Disponível em várias designações de cor.
TL-D Standard Colours	T8	Luz fluorescente básica	<ul style="list-style-type: none"> • Cores padrão com reprodução de cor moderada. • Disponível em várias designações de cor.
TL-D Lifemax Super 80	T8	Efficient fluorescent lighting with improved color rendering	<ul style="list-style-type: none"> • Highly efficient 3-band fluorescent coating • High initial light output compared with standard colors • Low mercury dose • Can be used with conventional or electronic gear • Higher efficacy is achieved with electronic gear

ANEXO 8

LÂMPADAS FLUORESCENTES PHILIPS E SUAS CARACTERÍSTICAS (Parte 4)

Família de Produto	Bulbo	Slogan	Aplicação
Master TL5 High Efficiency Eco	T5	A luz fluorescente mais eficiente do mundo.	<ul style="list-style-type: none"> • É perfeita para luminárias embutidas, de superfície e suspensas, por exemplo, usadas em escritórios, lojas, escolas, prédios públicos e fábricas (teto baixo), em qualquer lugar onde seja necessária uma iluminação de alta qualidade e eficiência energética.
Master TL5 High Output Eco	T5	A luz fluorescente mais eficiente e brilhante do mundo.	<ul style="list-style-type: none"> • Oferece soluções muito econômicas para iluminação em locais com teto alto em lojas, indústrias e lojas de departamento. • O alto fluxo luminoso apresenta ótimos resultados em pendentes bonitos e em luminárias embutidas nos móveis em escritórios, oficinas, restaurantes e áreas de recepção.
Master TL5 HO	T5	A luz fluorescente mais brilhante do mundo.	<ul style="list-style-type: none"> • A combinação de lâmpada compacta e alto nível de lúmen da MASTER TL5 HO oferece oportunidades animadoras para a iluminação arquitetônica e soluções personalizadas. • Oferece soluções econômicas com iluminação de teto alto em lojas, indústrias e lojas de departamento. • O alto fluxo luminoso apresenta ótimos resultados em belos lustres e luminárias montadas em móveis usados em escritórios, oficinas, restaurantes e áreas de recepção.
TL5 Essential [®] Super 80	T5	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Própria para uso em locais onde é necessária uma iluminação compacta, econômica e altamente eficiente. Entre eles, escritórios, lojas, supermercados, escolas, hospitais e a iluminação industrial.
Master TL-D Super 80	T8	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Adequada para el uso en una amplia gama de luminarias para lámparas fluorescentes TL-D en aplicaciones tales como colegios, oficinas, naves de fábricas, etc.
Master TL-D 90 De Luxe	T8	Veja as cores de maneira natural	<ul style="list-style-type: none"> • Usada em aplicações onde um bom acabamento de cor é vital, como em lojas (floriculturas, roupas, de departamento, etc.), cabeleireiros, museus, hospitais, etc.
TL-D Standard Colours	T8	Luz fluorescente básica	<ul style="list-style-type: none"> • Própria para uso em vários tipos de luminárias para lâmpadas fluorescentes TL-D, usada em aplicações onde a reprodução de cor não é um fator importante.
TL-D Lifemax Super 80	T8	Efficient fluorescent lighting with improved color rendering	<ul style="list-style-type: none"> • Suitable for use in a wide range of luminaires for TL-D fluorescent lamps for 'human' applications such as schools, offices, shops, factory halls etc.

ANEXO 9

LÂMPADAS FLUORESCENTES PHILIPS E SUAS CARACTERÍSTICAS (Parte 5)

Família de Produto	Bulbo	Slogan	Avisos e Segurança
Master TL5 High Efficiency Eco	T5	A luz fluorescente mais eficiente do mundo.	<ul style="list-style-type: none"> • Obtém-se a redução no consumo de energia somente com o uso de um equipamento para controle de corrente. • As lâmpadas funcionam perfeitamente com um equipamento para controle de corrente, mas proporcionam mais saída de luz em vez de usar menos energia. • Dependendo do esquema técnico do reator, o aumento na saída de luz pode ser de até 10 % com um reator de controle total de corrente.
Master TL5 High Output Eco	T5	A luz fluorescente mais eficiente e brilhante do mundo.	<ul style="list-style-type: none"> • Obtém-se a redução no consumo de energia somente com o uso de um equipamento para controle de corrente. • As lâmpadas funcionam perfeitamente com um equipamento para controle de corrente, mas proporcionam mais saída de luz em vez de usar menos energia. • Dependendo do esquema técnico do reator, o aumento na saída de luz pode ser de até 10 % com um reator de controle total de corrente.
Master TL5 HO	T5	A luz fluorescente mais brilhante do mundo.	N/A
TL5 Essential [®] Super 80	T5	N/A	N/A
Master TL-D Super 80	T8	N/A	N/A
Master TL-D 90 De Luxe	T8	Veja as cores de maneira natural	N/A
TL-D Standard Colours	T8	Luz fluorescente básica	N/A
TL-D Lifemax Super 80	T8	Efficient fluorescent lighting with improved color rendering	N/A