

# PROJETO LUMINOTÉCNICO NO CONTEXTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – ESTUDO DE CASO

**Wellington Rocha Araújo, Saulo Gomes Moreira, Rafael Nishimura, Luciana Cambraia Leite, João César Okumoto, Amâncio Rodrigues da Silva Júnior**

*Laboratório de Eficiência Energética, Departamento de Engenharia Elétrica,  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS  
Campus Universitário, Caixa Postal 549, CEP 79.070-900 – Campo Grande-MS  
eficiencia@del.ufms.br*

**Abstract:** Aspects as contents of colors reproduction, color temperature spectrum, lamp efficiency, high potency factor, and high efficiency of the reactor and luminous efficiency of the lamps have great importance for the making of an energetic efficient project. This paper investigates options that present smallest “initial investment - better performance” rates, in other words, it has for goal the proposal of the best technical-economical solution in lighting, appropriate to the plant and the employees. The organization of this paper describes, therefore, the costs with initial investment, substitutions of lamps, accessories and costs with electric power during a period of 10 years. *Copyright © 2007 CBEE/ABEE*

**Keywords:** Efficient Lighting, Visual Comfort, Economical Analysis.

**Resumo:** Aspectos como índice de reprodução de cores, temperatura de cor da lâmpada, rendimento da luminária, alto fator de potência, alto rendimento do reator e eficiência luminosa das lâmpadas têm grande importância para a confecção de um projeto energeticamente eficiente. Este artigo investiga opções que apresentam a menor relação investimento inicial com melhor desempenho, isto é, visa a proposta da solução técnico-econômica mais viável em iluminação, adequada às instalações e aos funcionários. A estrutura deste trabalho dá ênfase, basicamente, aos custos com investimento inicial, substituições de lâmpadas, acessórios e custos com energia elétrica ao longo do período de 10 anos.

**Palavras Chaves:** Iluminação Eficiente, Conforto Visual, Análise Econômica.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Num projeto luminotécnico energeticamente eficiente, além de conformidade às normas, o conforto visual também deve ser levado em consideração. A norma da ABNT, NBR-5413/1992 - Iluminância de Interiores, define valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, dentre os quais estabelece os níveis de iluminância onde se realizam atividades de comércio, indústria, ensino, esportes e outras.

As lâmpadas elétricas são classificadas, quanto ao processo de emissão de luz, em incandescentes e de descarga. Quanto ao desempenho, são analisados a vida

útil, rendimento luminoso, temperatura e índice de reprodução de cor.

Este artigo apresenta um estudo de caso de um supermercado que será construído. O supermercado será constituído de três pavimentos, sobreloja, térreo e subsolo, além de área com iluminação externa, como jardins e estacionamento. As propostas que buscam a melhor solução técnico-econômica em iluminação, apresentadas neste artigo, são referentes aos setores de sobreloja, térreo (área de exposição/vendas), subsolo e iluminação externa. A análise considera a separação dos setores em três grupos distintos, dado as particularidades de cada ambiente, no qual requer cada um deles uma característica da aplicação de tipos de lâmpadas e luminárias específicas. Como exemplo, as lâmpadas fluorescentes, tipo HO, têm aplicação em

ambientes que exigem bom conforto visual, ou seja, alta luminosidade e boa reprodução de cores. São usadas em locais de média altura (entre 3 e 6 metros) como indústrias e supermercados. Já as fluorescentes tipo tubulares têm aplicação em ambientes com as mesmas exigências citadas para as do tipo HO, mas para locais de baixa altura (3 metros, no máximo) como lojas e escritórios. As lâmpadas de vapor metálico são recomendadas para iluminação de grandes áreas, industrial e comercial de grande altura com níveis de iluminância elevados e, principalmente, em locais onde a qualidade de luz é primordial. Apresentam luz extremamente branca e brilhante e boa reprodução de cores. Lâmpadas de Vapor de Sódio Alta Pressão são indicadas para aplicação em áreas externas (estacionamentos, jardins, parques, iluminação pública) e indústrias de grande altura, que não necessite de luz clara e boa reprodução de cores. Apresenta luz branco-amarelada e baixa reprodução de cores. As lâmpadas de vapor de mercúrio são usadas geralmente em grandes áreas, fachadas, estacionamentos, jardins e para iluminação pública. Apresenta luz branco-azulada, baixa reprodução de cores e pequena eficiência energética.

De forma bastante genérica as lâmpadas incandescentes são aplicadas para aplicações pontuais, decorativas ou aplicações onde a iluminação é intermitente. As lâmpadas de descarga de baixa pressão são apropriadas para sistemas de iluminação em ambientes climatizados (fluorescentes) e iluminação pública (lâmpadas de sódio de baixa pressão). Lâmpadas de alta pressão são utilizadas para lugares onde seja desejada uma fonte de luz intensa, econômica e que não opere de forma intermitente.

As lâmpadas elétricas de descarga, como as fluorescentes, vapor metálico, vapor de mercúrio e vapor de sódio alta pressão, necessitam de dispositivo para estabilização da corrente e ignição. Os reatores são destinados a esta finalidade. São comercializados reatores de baixo e alto fator de potência, eletrônicos ou eletromagnéticos. Cada uma das lâmpadas de descarga citadas requer um tipo de reator específico. Em média, os reatores apresentam perdas elétricas equivalentes a 25% da potência das lâmpadas, no caso dos reatores eletromagnéticos, e 10% para os eletrônicos.

As luminárias são aparelhos destinados à fixação das lâmpadas, devendo apresentar as seguintes características básicas: modificar o fluxo luminoso da fonte de luz, facilitar a instalação e posterior manutenção, serem agradáveis ao observador e ainda podem conter espaço para alojamento de acessórios das lâmpadas, como por exemplo os reatores. Cada tipo de lâmpada e potência requer aplicação de luminárias específicas.

As lâmpadas se diferenciam entre si não só pelo diferentes Fluxos luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. Para poder compará-las, é necessário que se saiba quantos lúmens são gerados por watt absorvido.

Em aspecto visual, admite-se que é bastante difícil a avaliação comparativa entre a sensação de Tonalidade de Cor de diversas lâmpadas. Para estipular um parâmetro, foi definido o critério Temperatura de Cor (Kelvin) para classificar a luz. Quanto mais claro o branco (semelhante à luz diurna ao meio dia) maior é a Temperatura de Cor (aproximadamente 6500 K). A luz amarelada, como a de uma luz incandescente, está em torno de 2700 K e a fluorescente tubular está em torno de 4000 K.

Objetos iluminados podem parecer diferentes, mesmo se as fontes de luz tiverem idêntica tonalidade. As variações de cor dos objetos iluminados sob fontes de luz diferentes podem ser identificadas através de um outro conceito, Índice de Reprodução de Cores (IRC). Lâmpadas que tiverem um IRC alto irá reproduzir melhor as cores dos objetos.

## 2 ESTUDO DE CASO

Os setores do supermercado que requerem iluminação artificial foram divididos em três grupos distintos, conforme as exigências dos ambientes quanto ao sistema de iluminação adequado. Os três grupos definidos são sobreloja, térreo/subsolo e iluminação externa. Os valores de iluminâncias (Lux) são conforme as normas em vigência, como no item 5.3 da norma da ABNT NBR-5413 - Iluminância de Interiores. As dependências de cada grupo podem ter diferentes níveis de iluminamento, como, por exemplo, na sobreloja, no qual na sala de reuniões é previsto 500 lux e na copa/cozinha 300 lux.

Na escolha das lâmpadas, levou-se em consideração a zona de conforto visual conseqüente da combinação da temperatura de cor da lâmpada e nível de iluminância do local, conforme mostra a figura 1.

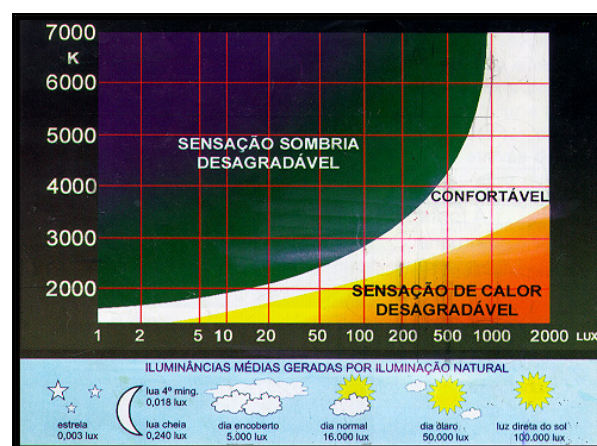


Figura 1: Curva de Conforto Visual em Função da Temperatura de Cor e Iluminância (FONTE: LAMBERTS, 1997).

Sabe-se que com o passar do tempo o material ativo dos eletrodos vai se desgastando, portanto, a lâmpada perde sua luminosidade até queimar. As lâmpadas apresentam vida útil distinta, sendo que, lâmpadas com vida útil baixa ocasionarão maiores custos com sua substituição durante os anos. O mesmo acontece com os reatores, que possuem vida média útil muito superior à das

lâmpadas. Considera-se neste estudo, a substituição de lâmpadas e reatores, enquanto que para as luminárias, postes e outros acessórios são consideradas os devidos procedimentos de manutenção e limpeza, prevenindo-se contra a perda de luminosidade decorrentes da poluição do ambiente e degradação temporal. Os custos e vida média útil dos equipamentos utilizados neste trabalho são mostrados na tabela 1. Para efeito de distinção entre os tipos de luminárias, são apresentados códigos individuais.

Tabela 1: Especificação, vida média útil e custo unitário.

Equipamento	Vida Útil (horas)	Custo (R\$)
Lâmpada Incandescente 40 W	1.000	0,63
Lâmpada Fluorescente Compacta 11 W	8.000	6,30
Lâmpada Fluorescente Tubular 14 W	11.000	7,35
Lâmpada Fluorescente Tubular 28 W	11.000	21,70
Lâmpada Fluorescente Tubular 32 W	7.500	13,80
Lâmpada Fluorescente HO 110 W	12.000	19,60
Lâmpada Vapor Metálico 250 W	10.000	69,25
Lâmpada Vapor Metálico 400 W	15.000	98,30
Lâmpada Vapor de Sódio Alta Pressão 70 W	18.000	23,86
Lâmpada Vapor de Mercúrio 125 W	15.000	17,76
Reator Duplo para Lâmpada Fluorescente Tubular 32 W	50.000	44,50
Reator Duplo para Lâmpada Fluorescente Tubular 28 W	40.000	39,98
Reator Duplo para Lâmpada Fluorescente Tubular 14 W	45.000	21,00
Reator para Lâmpada Vapor Metálico 250 W	30.000	64,32
Reator para Lâmpada Vapor Metálico 400 W	30.000	74,50
Reator para Lâmpada Vapor de Mercúrio 125 W	50.000	32,90
Reator para Lâmpada Vapor de Sódio Alta Pressão 70 W	-	47,50
Reator Duplo para Lâmpada Fluorescente Tubular HO 110 W	-	89,50
Luminária de Sobrepor para Lâmpada Fluorescente Tubular, código XCQ232/228	-	39,50

Luminária de Sobrepor para Lâmpada Fluorescente Tubular código XBR232/228 - 91,00

Luminária de Sobrepor para Lâmpada Fluorescente Tubular código XSS232/228 - 117,00

Luminária de Sobrepor para Lâmpada Fluorescente Tubular código XAE414 - 101,38

Luminária de Sobrepor para Lâmpada Fluorescente Tubular código XITR2110 - 121,40

Luminária de Sobrepor para Lâmpada Vapor Metálico - 135,00

Luminária para Jardim, em Globo de Vidro Leitoso/Transp., em Poste Ornamental Reto (2 Luminárias/Globos) - 249,12

Luminária para Iluminação Externa (Pública, Estacionamentos etc) com Encaixe para Poste Curvo em Tubo de Aço - 130,02

Poste Curvo Simples em Tubo de Aço Zincado à Fogo Sem Pintura, 6 m, com Base Quadrada para Fixação - 445,60

Poste Curvo Duplo em Tubo de Aço Zincado à Fogo Sem Pintura, 6 m, com Base Quadrada para Fixação - 630,40

As informações técnicas dos equipamentos utilizados neste estudo constam em catálogos fornecidos pelos seus respectivos fabricantes. Os custos foram levantados através de representantes comerciais, revendedores e/ou diretamente com o fabricante do equipamento.

Nas análises econômicas dos tópicos subseqüentes foram considerados, além dos dados supracitados, valores da tarifa de energia elétrica vigentes, constantes da resolução da ANEEL n°. 74 de 06 de Abril de 2005, estrutura tarifária Horo-Sazonal Verde. Os custos dos equipamentos não contemplam a mão-de-obra envolvida na instalação e manutenção dos sistemas de iluminação propostos posteriormente. O período de 10 (dez) anos analisado neste estudo não considera taxas de juros, possíveis aumentos e/ou reduções das tarifas de energia, nem mesmo uma eventual troca, parcial ou

total, dos equipamentos aqui citados, por outros de características e influências, estas no sistema de iluminação, diferentes.

### 3 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

De acordo com a aplicação específica de cada lâmpada apresentada anteriormente, foram utilizadas lâmpadas incandescentes de 40 W nos banheiros, dada a previsão de elevada frequência liga/desliga no local, enquanto que nas demais dependências da sobreloja foram analisadas 7 opções distintas, tanto em tipo de luminária como em potência de lâmpadas. Tais opções são apresentadas na tabela 2 e na figura 2.

Tabela 2: Opções de iluminação para a sobreloja.

Luminária	Lâmpada Fluorescente Tubular	Quantidade de Lâmpadas	Quantidade de Reatores	Quantidade de Luminárias	Iluminância Média / Iluminância Próximo à Parede (Lux)
XCQ232	2x32 W	128	64	64	507/300
XCQ228	2x28 W	128	64	64	507/300
XBR232	2x32 W	116	58	58	520/250
XBR228	2x28 W	116	58	58	520/250
XSS232	2x32 W	112	56	56	508/250
XSS228	2x28 W	112	56	56	508/250
XAE414	4x14 W	288	72	72	523/250

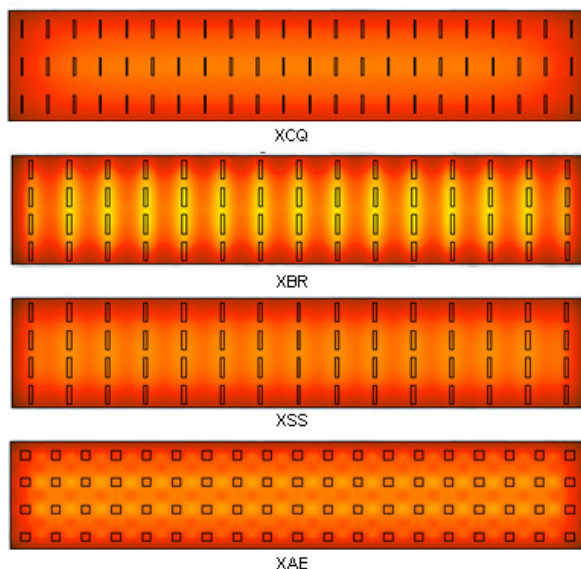


Figura 2: Tomografia das opções de iluminação para a sobreloja.

No segundo grupo analisado, térreo/subsolo, a altura dos locais (4,4 m nos setores de acesso ao supermercado, 9,25 m na área de descarga e 6 m para os demais) dispensa a aplicação de lâmpadas fluorescentes tubulares de 32, 28 ou 14 W. Foram analisadas opções com lâmpadas fluorescentes tipo HO de 110 W e lâmpadas de vapor metálico de 250 e 400

W, com variações na distância entre a luminária e o teto. Outros tipos de lâmpadas não atendem as exigências físicas e visuais do local.

Tabela 3: Opções de iluminação para o térreo/subsolo.

Opção	Luminária (Distância do Teto em metros) e Lâmpada	Quantidade de Lâmpadas	Quantidade de Reatores	Quantidade de Luminárias	Iluminância Média / Iluminância Próximo à Parede (Lux)
1	XITR2110 (0 m) HO 2x110 W	112	56	56	609/250
2	XITR2110 (1,5 m) HO 2x110 W	112	56	56	664/275
3	XHB (0 m) V. Metal. 250W	48	48	48	536/215
4	XHB (0 m) V. Metal. 250W (a)	56	56	56	628/315
5	XHB (1,5 m) V. Metal. 250W	56	56	56	674/300
6	XHB (0 m) V. Metal. 400W	30	30	30	549/230
7	XHB (0 m) V. Metal. 400W (a)	56	56	56	1.024/500
8	XHB (1,5 m) V. Metal. 400W	36	36	36	709/300

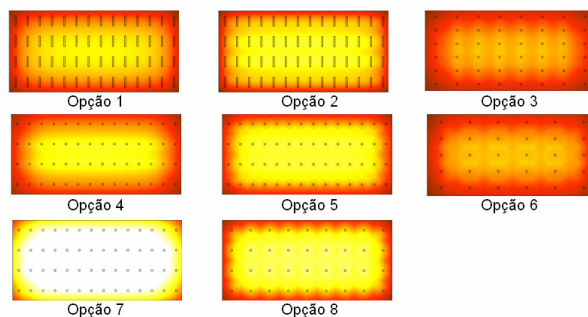


Figura 3: Tomografia das opções de iluminação para o térreo/subsolo.

Foram analisadas 4 (quatro) opções de iluminação para o estacionamento (E), acompanhadas, cada uma delas, de uma opção para o jardim (J). Tais opções podem ser observadas na tabela 4.

Tabela 4: Opções de iluminação externa.

Descrição	Quant. de Lâmpadas e Reatores	Quant. de Luminárias	Quant. de Postes Curvos Simples / Duplo	Quant. de Postes Retos para 2 Globos	Iluminância Média (Lux)
1) J: Poste Ornamental Reto (2 Globos); E: Luminária em Poste Curvo Duplo; Lâmpadas de Vapor de Sódio (VS) 70 W	32	18	6/6	7	59
2) J: Poste Ornamental Reto (2 Globos); E: Luminária em Poste Curvo Simples; Lâmpadas de Vapor de Sódio 70 W	32	18	18/0	7	61
3) J: Poste Ornamental Reto (2 Globos); E: Luminária em Poste Curvo Duplo; Lâmpadas de Vapor de Mercúrio 125 W	32	18	6/6	7	54
4) J: Poste Ornamental Reto (2 Globos); E: Luminária em Poste Curvo Simples; Lâmpadas de Vapor de Mercúrio 125 W	32	18	18/0	7	60

#### 4 ANÁLISE ECONÔMICA

Nos tópicos precedentes, foram apresentadas opções de sistemas de iluminação em três grupos de ambientes distintos: 1) aplicação de lâmpadas fluorescentes tubulares de 14, 28 ou 32 W (Sobreloja); 2) lâmpadas fluorescentes tubulares tipo HO de 110 W ou vapor metálico de 250 ou 400 W (Térreo/Subsolo) e 3) iluminação externa, com aplicação de lâmpadas de vapor de mercúrio 125 W ou vapor de sódio alta pressão de 70 W, sendo que as simulações foram realizadas com aplicação de luminárias e postes de acordo com cada fim específico, conforme os tipos de lâmpadas e as necessidades visuais dos ambientes.

Foram considerados os períodos de funcionamento de cada sistema de iluminação como sendo 8 horas para o grupo 1, 12 horas para o grupo 2 e 6 horas para o grupo 3. As figuras 4, 5 e 6 exibem para cada grupo os custos iniciais e com substituição de equipamentos ao longo de 10 anos.

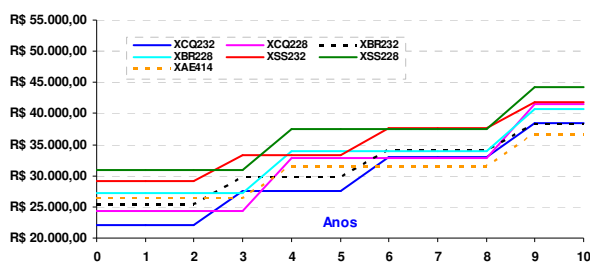


Figura 4: Custos com investimento inicial e substituição de equipamentos (12 horas de funcionamento diário) - Grupo 1.

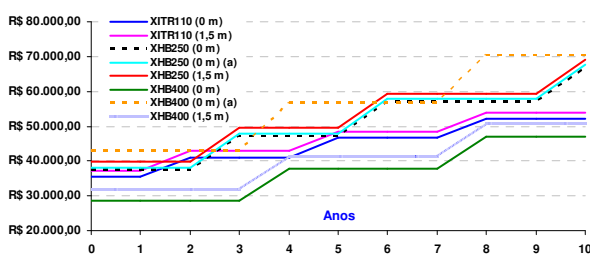


Figura 5: Custos com investimento inicial e substituição de equipamentos (12 horas de funcionamento diário) - Grupo 2.

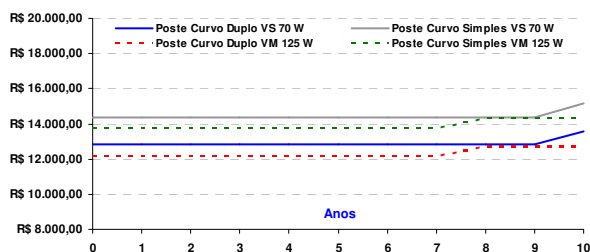


Figura 6: Custos com investimento inicial e substituição de equipamentos (6 horas de funcionamento diário) - Grupo 3.

Com base no tempo de funcionamento de cada sistema de iluminação e nas tarifas de energia elétrica da estrutura tarifária horo-sazonal verde da concessionária local, tem-se nas figuras 7, 8 e 9 os custos com consumo de energia elétrica.

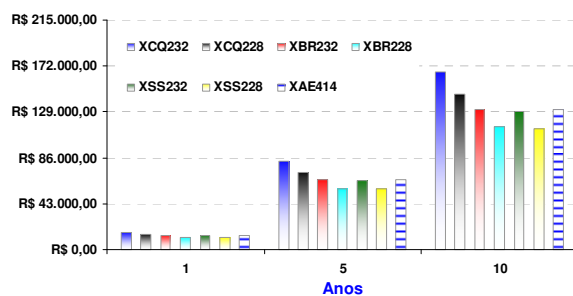


Figura 7: Custos com consumo de energia elétrica (Grupo 1).



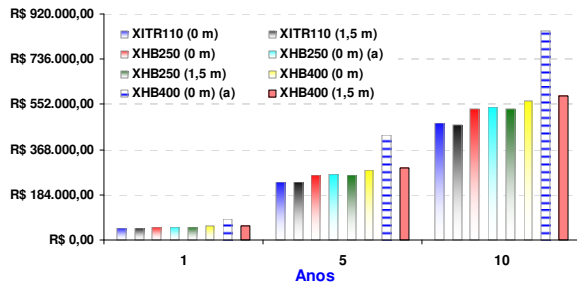


Figura 8: Custos com consumo de energia elétrica (Grupo 2).

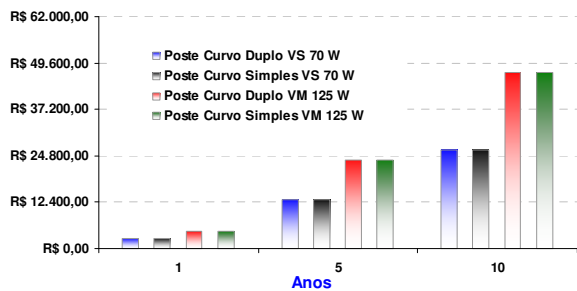


Figura 9: Custos com consumo de energia elétrica (Grupo 3).

Os custos totais com cada sistema de iluminação podem ser observados nas figuras 10, 11 e 12.

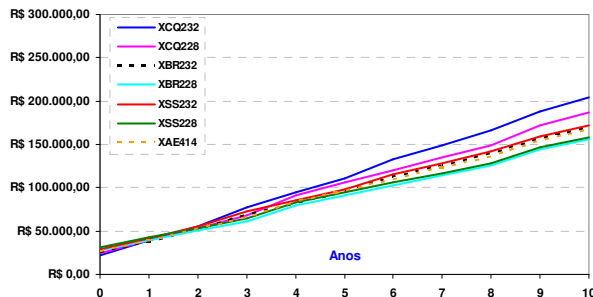


Figura 10: Custos totais do sistema de iluminação do Grupo 1.

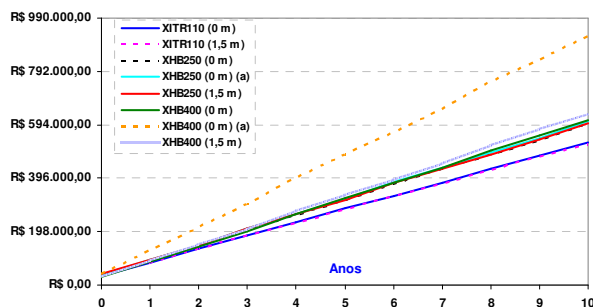


Figura 11: Custos totais do sistema de iluminação do Grupo 2.

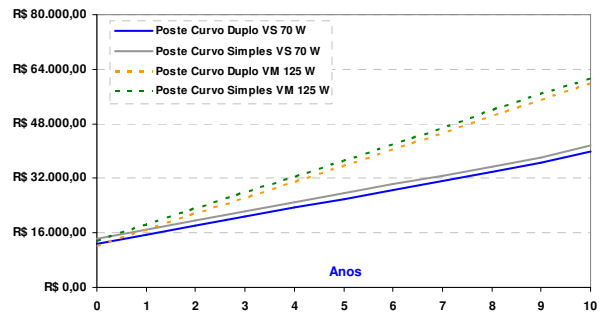


Figura 12: Custos totais do sistema de iluminação do Grupo 3.

## 5 CONCLUSÕES

No Grupo 1, a opção XSS232 apresentou-se com bom nível de iluminamento geral, superior à obtida na opção XBR232, com baixos custos de implantação e com energia elétrica, comparadas às demais opções propostas neste grupo. As atividades que serão desenvolvidas na sobreloja, como nas salas de contabilidade e gerência, exige um melhor nível de iluminamento.

Além de apresentar um nível de iluminamento, superior ao adequado, 500 Lux, a opção XITR110 - 0 m no Grupo 2 apresentou-se como a mais econômica ao longo do período de 10 anos, devido ao fato de apresentar o menor consumo por hora de funcionamento e baixo custo de implantação.

No Grupo 3, atendendo o nível de iluminamento adequado, 50 Lux, a opção Poste Curvo Duplo VS 70 W apresentou-se como a mais econômica ao longo do período analisado, em consequência de ter o menor consumo por hora de funcionamento e baixos custos de implantação e substituição de equipamentos.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABNT, NBR-5413 (1992). *Iluminância de Interiores*.
- ANEEL. *Resolução ANEEL nº. 074, de 06 de abril de 2005*. D.O.U. 07/04/2005.
- EFEI / Eletrobrás (2001). *Conservação de Energia – Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos*. Ed. EFEI. FUPAI, Itajubá-MG.
- LAMBERTS, R., DUTRA, L. e PEREIRA, F. O. R. (1997). *Eficiência Energética na Arquitetura*. PW Editores. São Paulo.
- MAMEDE Fº, João (2001). *Instalações Elétricas Industriais*, 6ª Edição. Editora LTC. Rio de Janeiro.
- PROCEL / Eletrobrás. *Manual de Conservação de Energia Elétrica – CICE*.