

Rita de Cássia Costa

**ANÁLISE DE PROJETOS DE
EFICIENTIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO
PÚBLICA**

Dissertação submetida ao Colegiado
dos Cursos de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica da Universidade Federal da Paraíba,
em cumprimento parcial das exigências para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Elétrica.

Orientador:

Prof. Benemar Alencar de Souza, D.Sc., UFPB

Campina Grande – Fevereiro de 1999.



C837a

Costa, Rita de Cassia

Análise de projetos de eficiência energética da iluminação pública / Rita de Cassia Costa. - Campina Grande, 1999. 75 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

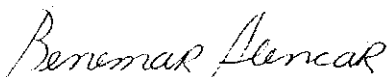
1. Iluminação 2. Iluminação Pública 3. Conservação de Energia 4. Perdas de Potência e Perdas de Energia 5. Dissertação I. Souza, Benemar Alencar de II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB)

CDU 628.9(043)

ANÁLISE DE PROJETOS DE EFICIENTIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

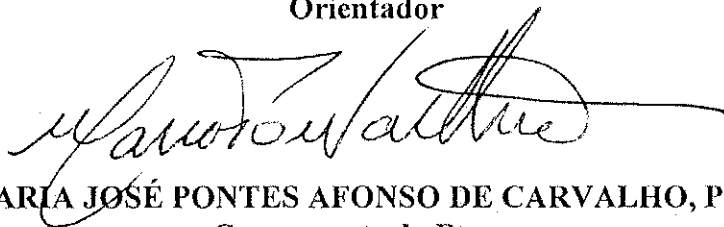
RITA DE CÁSSIA COSTA

Dissertação Aprovada em 09.04.1999



PROF. BENEMAR ALENCAR DE SOUZA, D.Sc., UFPB

Orientador



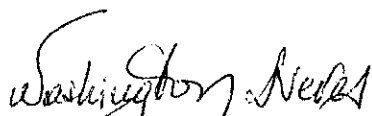
PROF^a. MARIA JOSÉ PONTES AFONSO DE CARVALHO, Ph.D., UFPE

Componente da Banca



PROF. DAGOBERTO LOURENÇO RIBEIRO, D.Sc., UFPB

Componente da Banca



PROF. WASHINGTON LUIZ ARAÚJO NEVES, Ph.D., UFPB

Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB

Abril - 1999

À minha amiga, mãe e companheira
de todas as horas, Maria José, que sempre
me incentivou na realização deste
trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus que é a luz da minha vida, à minha família que sempre me deu todo o apoio necessário para vencer os obstáculos impostos pela vida, e aos meus amigos de uma forma geral.

Ao professor Benemar Alencar de Souza, pela paciente e excepcional orientação ao desenvolvimento deste trabalho, bem como aos professores Washington E. Macedo e Wellington Santos Motta com os quais comecei a estudar sistemas de iluminação pública. Além dos funcionários da Universidade Federal da Paraíba, Valdisa Ferreira, Ângela Matias e Pedro Alves.

Ao professor Dagoberto Lourenço Ribeiro e à professora Maria José Pontes de Carvalho, coordenadora geral do Programa de Combate ao desperdício, na Universidade Federal de Pernambuco que me ajudaram a obter muitas das informações essenciais ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários da Companhia Energética de Alagoas, especialmente o amigo e Eng. Elias de Jesus Reis; assim como aos funcionários da Superintendência Municipal de Energia e Iluminação Pública de Maceió, meus amigos Eng. Daniel Bernardes e Arq. Amália Abreu, dos quais obtive boa parte dos dados.

Aos meus colegas de curso, em especial Levi Pedro, e a todos os colegas de trabalho da Escola Técnica Federal de Alagoas, em Palmeira dos Índios, especialmente ao diretor Manoel Pinto e aos professores Fábio Ribeiro, Maurício Beltrão e Eduardo Vidal e, em Maceió, aos professores Franklin Pamplona e Magno J. da Silva, pelo incentivo à realização deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações gerais.....	1
1.2 Motivação do trabalho.....	3
1.3 Revisão bibliográfica.....	5
1.4 Roteiro do trabalho.....	7
II. LUMINOTÉCNICA.....	8
2.1 Grandezas luminotécnicas.....	9
2.2 Lâmpadas elétricas.....	12
2.3 Luminárias e dispositivos de controle.....	16
2.4 Iluminação pública.....	20
III. ANÁLISE ECONÔMICA DE PROJETOS.....	27
3.1 Engenharia econômica, capital e juros.....	28

3.2	O princípio da indiferença.....	30
3.3	Métodos de análise econômica.....	32
3.4	Análise econômica assistida por computador.....	35
3.5	Renovação de instalações como uma alternativa econômica.....	36
IV.	AVALIAÇÃO DE CUSTOS E CÁLCULO DE PERDAS.....	39
4.1	Custos da eficientização.....	39
4.2	Cálculo das perdas de potência.....	41
4.3	Cálculo das perdas de energia.....	47
V.	ESTUDO DE CASO.....	52
5.1	Um estudo de aplicação.....	54
5.2	Construção da base de dados.....	55
5.3	A curva de carga do alimentador.....	59
5.4	Cálculo das perdas.....	61
5.5	Levantamento de custos.....	62
5.5.1	Custos das perdas.....	63
5.5.2	Custos da manutenção.....	64
5.5.3	Custo da renovação.....	64
5.5.4	Custo da energia.....	65
5.5.5	Custos financeiros.....	66
5.6	Análise econômica dos resultados.....	68
VI.	CONCLUSÃO.....	69
VII.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

LISTA DE FIGURAS

2.1	Ângulo sólido $d\Omega$ atravessado por uma intensidade luminosa I perpendicular à área ds	9
2.2	Curva de Distribuição Luminosa (CDL)	10
2.3	Iluminância a partir da intensidade luminosa	11
2.4	Classificação das luminárias para iluminação pública	18
2.5	Iluminação de uma via pública.....	25
2.6	Escala de utilização para determinação do coeficiente de utilização	25
3.1	Diagrama do fluxo de caixa	30
3.2	Planos de pagamento do exemplo 3.2.	
	(a) anunciado (1+1);	
	(b) à vista;	
	(c) dois pagamentos sem entrada.....	31
4.1	Alimentador com carga contínua.....	43
4.2	Diagrama fasorial dos sinais num ponto genérico do alimentador da figura 4.1.....	44
4.3	Perfil de tensão do alimentador do exemplo 4.1.....	47
4.4	Curvas de duração de carga do exemplo 4.2.....	49
4.5	Curvas de duração de carga normalizadas.	
	(a) Dia útil;	
	(b) Fim de semana.....	49

5.1	Diagrama esquemático de barra do alimentador PNO007.....	55
5.2	Curva de carga segmentada do alimentador	59
5.3	Curva de carga do alimentador PNO007, com desconto da carga de iluminação pública	60
5.4	Custos relacionados com a iluminação pública.....	63

LISTA DE TABELAS

2.1	Trânsito motorizado.....	22
2.2	Tráfego de pedestres.....	22
2.3	Iluminâncias médias em lux.....	22
2.4	Iluminâncias como função do tipo de vias.....	23
3.1	Métodos de análise econômica e funções do Excel® 7.0 relacionadas.....	36
4.1	Pesquisa de preço dos materiais usados em iluminação pública.....	40
4.2	Custos de mão de obra para manutenção do sistema de iluminação pública.....	41
4.3	Carga do alimentador do exemplo 4.1 discretizada em intervalos regulares.....	46
4.4	Resultado da segmentação das curvas de duração de carga do exemplo 4.2.....	48
4.5	Perdas de potência e perdas diárias de energia no alimentador do exemplo 4.2.....	50
5.1	Características de lâmpadas e de reatores.....	53
5.2	Diretriz para substituição de lâmpadas.....	54
5.3	Estrutura dos dados específicos.....	57
5.4	Dados gerais do alimentador PNO007.....	60
5.5	Níveis de carga do alimentador PNO007.....	62
5.6	Comparativo das alternativas de iluminação pública via o alimentador PNO0007.....	63
5.7	Cálculo do custo da renovação completa.....	65
5.8	Consolidação dos custos nominais.....	67

5.9	Custos operacionais efetivos.....	67
5.10	Análise econômica das alternativas.....	68

LISTA DE SÍMBOLOS

ϕ	fluxo luminoso.
I	Intensidade luminosa, corrente elétrica.
Ω	ângulo sólido.
r	raio de esfera, resistência.
ds	elemento de área superficial.
E	iluminância ou iluminamento.
ϵ	ângulo formado entre a direção da intensidade luminosa e a altura de montagem da luminária.
h	altura de montagem da luminária, horas.
η	rendimento ou eficiência luminosa.
P	potência elétrica, quantia a ser investida.
ϕ_r	fluxo luminoso refletido.
ϕ_a	fluxo luminoso absorvido por uma superfície.
ϕ_t	fluxo luminoso transmitido por uma superfície.
A ₁	vias arteriais.
A ₂	vias coletoras.
A ₃	vias locais.
B	vias de ligação.

C	vias urbanas.
μ	coeficiente de utilização.
N	número de luminárias por km de instalação.
l	largura da via a ser iluminada.
a	projeção da luminária sobre a via.
Q_j	fluxo de recursos no instante j.
i	taxa de juros.
S	movimento simples.
FVA	fator de valor atual
R	anuidade.
FRC	fator de recuperação de capital
n	período de capitalização.
y	coordenada de um ponto genérico do alimentador com referência ao seu início.
S	carga acumulada, função de y.
V	tensão elétrica, função de y.
H	perdas unitárias.
F	fluxo no alimentador, função de y
l	comprimento do alimentador.
S	perdas de potência aparente, função de y.
z	impedância elétrica.
ϵ	perdas anuais de energia.
B4a	Tarifa de energia específica para iluminação pública.
I1	Padrão CEAL de luminária I1.
I2	Padrão CEAL de luminária I2.
I3	Padrão CEAL de luminária I3.
NF	Normalmente fechado

RESUMO

A iluminação é responsável por cerca de 17% da energia elétrica total consumida no Brasil. Só a iluminação pública é responsável por 3,5%. Uma das principais características desse uso final é que seu período de consumo abrange todo o horário de demanda máxima do sistema elétrico. Estima-se que no Brasil as redes de iluminação pública atendam cerca de 12,3 milhões de pontos e totalizem uma potência instalada da ordem de 2470 MW, equivalente a um consumo anual de 10.670 GWh/ano. Neste trabalho, os princípios da iluminação pública e da análise econômica de projetos de engenharia são estudados com direcionamento para um procedimento de análise assistida por computador. A configuração atual do sistema é analisada previamente para servir de referência. A partir desse caso base são criados, por simulação digital, configurações alternativas. Dentre esses cenários é escolhido aquele que se apresenta como o mais econômico. No procedimento são incluídos todos os custos, tais como, de equipamentos, de mão-de-obra e financeiros. O estudo realizado, embora desenvolvido de modo generalizado, é aplicado ao alimentador 007 da subestação da Companhia Energética de Alagoas – CEAL, em Pinheiro (Maceió).

ABSTRACT

Lighting is responsible for about 17% of the total electric energy claim in Brazil. The public lighting alone is responsible for 3.5%. One of the main characteristics of this final usage is the time of consumption: the maximum claim time of the electric system. In Brazil, it is estimated that the public lighting net covers about 12.3 million points, which means a power of 2470 MW, corresponding to an annual claim of 10,670 GWh/year.

In this work, the principles of public lighting are studied, as well as the economic analysis of engineering projects. This leads to a process of assistant computing procedures. The present configuration of the system is previously analyzed in order to serve as a reference. From this basic case is created, by digital simulation, alternative configurations. Among these scenarios is chosen the more economic one. In the process, all the costs are included, such as, the equipments, the workers and financiers. The accomplished study, although developed in a general way, is applied to the electrical feeder 007 in the substation "Companhia Energética de Alagoas - CEAL", in Pinheiro (a neighborhood of Maceió).

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

O Brasil possui atualmente cerca de 12 milhões de pontos de iluminação pública, perfazendo uma potência instalada de cerca de 2,2 GW (PROCEL, 1998). O consumo neste setor corresponde a cerca de 3,5 % do consumo total de energia elétrica no país (ARAÚJO, 1998a). O período de iluminação pública é muito extenso (cerca de 12 horas) e parte coincide com todo o horário da demanda máxima do sistema elétrico. A preocupação maior consiste no fato de que está incluído, nesse percentual, um considerável grau de desperdício energético por se utilizarem lâmpadas e equipamentos pouco eficientes e também pela existência de problemas gerenciais na administração dos sistemas de iluminação pública, retardando, deste modo, a implementação de ações para melhorar sua eficiência.

A falta, cada vez maior, de recursos para investimento no setor elétrico vem fazendo com que o governo desenvolva uma política bastante agressiva no sentido de reduzir os desperdícios no referido setor, que possui um potencial de conservação de 600 MW, ou seja, 27% do consumo

atual (PROCEL, 1998). Essa política tem sido encaminhada de duas maneiras:

- (i) estímulo à conservação de energia;
- (ii) gerenciamento pelo lado da demanda, ou seja, estímulo ao deslocamento de cargas cuja demanda máxima coincida com a demanda máxima do sistema.

Essa política além de proporcionar economia de energia, aumenta a confiabilidade do sistema.

Dentro deste contexto, a análise dos sistemas de iluminação pública, no sentido de avaliar sua situação atual, e a busca de alternativas que visem torná-los mais eficientes são de importância fundamental. Devido à simplicidade operacional da maioria dos sistemas de iluminação e aos baixos investimentos necessários para sua efficientização¹, esse procedimento apresenta resultados imediatos e de rápido retorno de investimento sendo indutor de outras ações por parte dos consumidores (PROCEL, 1998).

Por outro lado, é importante observar que a solução do problema não é tão simples, pois envolve a análise de uma grande quantidade de fatores técnico-econômicos que, em geral, proporcionam vantagens e desvantagens. Por exemplo: as lâmpadas incandescentes são muito ineficientes do ponto de vista energético, porém apresentam menor custo do que as lâmpadas de vapor de sódio que são mais eficientes. Todavia, as lâmpadas de vapor de sódio apresentam algumas desvantagens, como a má reprodução de cores, podendo inviabilizar sua utilização em determinadas situações. Desta forma, a elaboração de alternativas para melhorar a eficiência dos sistemas de iluminação pública envolve uma série de fatores gerais e também específicos de cada sistema.

Do ponto de vista gerencial, o problema também apresenta uma certa complexidade, uma vez que, embora sendo a iluminação pública responsabilidade das prefeituras, algumas concessionárias administram esse serviço (operam, mantêm e cobram taxa). Atualmente, a

¹Embora seja um neologismo, o termo *efficientização* é muito atual e tem sido largamente empregado não só em sistemas de iluminação pública, mas sim na literatura técnica em geral.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL está intensificando o controle desta situação, no sentido de definir mais claramente as responsabilidades.

A implementação dessas ações envolve a disponibilidade de recursos significativos, que normalmente não existem nos órgãos responsáveis pelo sistemas de iluminação pública. Por outro lado, o governo federal, dentro do Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica (PROCEL), vem desenvolvendo uma política de apoio financeiro a projetos que tenham como objetivo a melhoria da eficiência dos sistemas de iluminação pública. Dentro desses preceitos, a meta do PROCEL, para o biênio 1997/1998 é a substituição de 3 milhões de pontos de iluminação, com economia de 1,5 TWh/ano (PROCEL, 1998). Contudo, a aprovação destes projetos depende da apresentação de análises técnico- econômicas que mostrem, de forma objetiva, os benefícios que serão alcançados com a implementação de cada projeto.

Assim, é de grande importância a realização de estudos que envolvam a análise de sistemas de iluminação pública existentes atualmente como também a procura de alternativas viáveis do ponto de vista técnico-econômico que possam subsidiar a elaboração de projetos que visem melhorar a eficiência dos sistemas de iluminação pública.

1.2 Motivação do trabalho

A análise dos sistemas de iluminação pública é um tema de grande interesse no setor elétrico atualmente face à necessidade de se melhorar a eficiência do setor tanto do ponto de vista técnico quanto do econômico. Dentro deste contexto, muitos setores do governo brasileiro e órgãos não governamentais vêm trabalhando para que os sistemas de iluminação pública atendam às necessidades do referido setor, proporcionando uma utilização eficiente e econômica da energia elétrica.

A exemplo disso, as Centrais Elétricas Brasileiras S. A. - ELETROBRÁS, através do PROCEL, criaram um programa de iluminação pública que visa a eficiência energética destes

sistemas e promove a transformação do mercado de produtos no setor. Para tanto, desenvolve parcerias com prefeituras municipais, empresas distribuidoras de energia elétrica, órgãos financiadores e instituições de pesquisa e ensino.

Como resultado dessas parcerias tem-se os projetos de eficientização energética das cidades do Rio de Janeiro (FURNAS, 1995), Salvador (ARAÚJO, 1998b), São Paulo (MUROLO, 1998), Recife (BORBOREMA, 1998), Maceió (SIMA, 1997) e outras cidades brasileiras nas quais os projetos encontram-se em fase de implementação. Tem-se ainda, o desenvolvimento de tecnologias especiais para sistemas de iluminação pública feito pelo Laboratório Central de Eletrotécnica e Eletrônica – LAC de Paraná, juntamente com a Companhia Paranaense de Eletricidade - COPEL, onde se destacam o sistema automático de controle de iluminação pública via *pager*, o economizador de energia, o relé fotoeletrônico duplo e o reator eletrônico (TERNES, 1998).

A nível internacional existem as experiências de outros países que desenvolvem ações para eficientização energética do setor, como por exemplo, a prefeitura de Barcelona na Espanha (SANCHEZ, 1998), a Agência de Energia do Governo da Catalúnia também na Espanha e a Rede Energie-Citée na Europa (MAGNIN, 1998), entre outros.

Diante do que se expôs acima, fica claro o grande interesse nacional em combater o desperdício de energia elétrica na iluminação pública, em usar eficientemente a eletricidade, em consumir menos e controlar o desempenho do sistema. Também é evidente a consciência do quanto a iluminação pública é essencial para a qualidade de vida da comunidade, no que se refere ao desenvolvimento social e econômico do município.

Mediante a importância do assunto exposto, percebe-se a grande valia do estudo do tema escolhido; sendo, portanto, o fator que desencadeou o interesse e motivação para a realização do presente trabalho.

1.3 Revisão bibliográfica

Antes de 1980 não havia, no Brasil, uma cultura de combate ao desperdício de energia elétrica. Os recursos hídricos eram de baixo custo, abundantes e renováveis. Além disso, o interesse de lucrar com a venda da energia desestimulava a redução do consumo, que se acreditava, equivocadamente, ser inevitável com a redução das perdas (PROCEL/ELETOBRÁS, 1998).

Nesse contexto, o setor de iluminação pública preocupava-se unicamente com as condições ideais de visibilidade para satisfazer requisitos indispensáveis como segurança contra acidentes e crimes, facilidade de movimentação e desempenho visual satisfatório. Estudos pioneiros preocupavam-se principalmente com os métodos de cálculo de iluminação necessários para o projeto da iluminação de vias públicas (MOREIRA, 1975). Métodos mais complexos foram desenvolvidos a partir de normas internacionais, tendo em vista a inexistência de norma específica da ABNT na época (CRNUGEL, 1975). Muitos subsídios técnicos eram fornecidos pelas empresas fabricantes de materiais elétricos (General Electric, Osram, Philips, Peterco e Siemens, 1983) e outros trabalhos já destacavam as vantagens e desvantagens da utilização de diferentes tipos de lâmpadas com ênfase nas características apresentadas pelas lâmpadas de vapor de sódio à alta pressão (GHELMAN, 1981).

Contudo, houve uma mudança na visão deste quadro a partir de 1980. Com o acesso ao uso da energia por uma maior parcela desta população (o que acarretou um considerável aumento na demanda), com a escassez de recursos naturais (que compatibilizasse baixo custo de produção, potencial energético elevado e mínimo impacto ambiental) começou-se a sentir necessidades de se combater o desperdício de energia elétrica.

Em 1985, surge o PROCEL, com o objetivo de implantar medidas para se combater o desperdício de energia elétrica. A partir de então, passou-se a ter uma visão moderna do planejamento energético e a se preocupar com outros fatores que não fossem apenas lucrar com a

venda de energia, mas que essa energia fosse utilizada de forma racional e eficiente. Na iluminação pública, iniciavam-se estudos e experiências para redução do consumo, através da utilização de lâmpadas de vapor de sódio (COELBA, 1985), sistemas ópticos selados e filtrados em luminárias (NEVES, 1986), adoção de comutador fotoeletrônico (TORRES, 1989), como também, novas recomendações para a iluminação urbana (PHILIPS LIGHTING, 1993).

O fato do setor de iluminação pública apresentar significativo potencial de conservação de energia elétrica fez com que o PROCEL, desde sua implantação, priorizasse ações neste seguimento (GELLER, 1991) despertando interesse para as oportunidades proporcionadas pelas novas tecnologias no setor verificadas por sua viabilidade econômica (BURINI JUNIOR et al, 1994).

Um outro ponto relevante foi a consciência dos problemas gerados pelos impactos socioambientais causados pelas emissões de poluentes da geração elétrica – hidrelétrica, termelétrica e nuclear (BRÄUER, 1996). Além disso, a privatização do setor elétrico começava a se tornar uma realidade, direcionando as ações para a redução do desperdício e, conseqüentemente, reduzindo os custos da produção de energia elétrica, aumentando a rentabilidade do setor.

Em dezembro de 1996, o PROCEL elaborou um plano de ação para iluminação pública prevendo a substituição de três milhões de pontos de luz com lâmpadas de vapor de sódio a alta pressão, reduzindo a demanda na ordem de 350MW o que corresponde a 1533 GWh/ano do consumo de energia. Tudo isso, dentro de um processo de ações integradas na busca de alternativas eficientes para se conservar energia elétrica (LEONELLI et al, 1997).

Atualmente, não há dúvidas de que práticas com vistas à eficiência energética são viáveis não só do ponto de vista técnico e econômico (ROBBA, et al, 1997), como também pelos resultados ambientais positivos, demonstrando a importância da política de iluminação pública no país, com relação especial ao papel das concessionárias e às regras de parceria com as prefeituras municipais (FRANCO FILHO, 1997).

Um agravante é o problema da taxa de iluminação pública (TIP) cobrada aos

consumidores de energia elétrica para manutenção do sistema de iluminação pública (FERNANDES FILHO, 1998). Existe uma polêmica sobre a constitucionalidade dessa taxa, já que a constituição brasileira de 1988 proíbe a bi-tributação, e dessa forma, os serviços citados anteriormente não podem ser cobrados através do IPTU e da TIP simultaneamente, levando alguns municípios a deixarem de cobrar essa taxa (CLAUDINO, 1998). E como a eficiência energética nesse setor tem como contrapartida os recursos do município, sem a TIP torna-se difícil a implementação do projeto.

Os estudos mais recentes de eficiência energética na iluminação têm dado ênfase às análises econômicas das principais alternativas tecnológicas disponíveis no mercado brasileiro (BURINI JUNIOR et al, 1998; SANTO & SANTOS, 1998). Entre esses estudos se inclui o trabalho que foi desenvolvido e que teve como resultado essa dissertação.

1.4 Roteiro do trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos que abordam a eficiência energética nos sistemas de iluminação pública.

O capítulo primeiro faz uma introdução sobre o assunto, analisando a atual situação do setor de iluminação pública e mostrando a importância de se realizar um estudo para encontrar alternativas viáveis do ponto de vista técnico-econômico para eficiência dos sistemas do referido setor.

No capítulo segundo são apresentados os fundamentos da luminotécnica, as lâmpadas e equipamentos utilizados na iluminação pública e outros conceitos relativos ao assunto.

Uma revisão geral sobre conceitos de análise econômica é apresentada no capítulo terceiro enfocando as ferramentas que serão utilizadas para decidir qual a alternativa mais atraente sob o ponto de vista econômico.

O capítulo quarto faz uma avaliação dos custos envolvidos no processo de eficiência

e calcula as perdas de potência e de energia no sistema de distribuição de energia elétrica.

A apresentação de um estudo da viabilidade técnico-econômica para eficientização do sistema de iluminação pública do alimentador 007-SE/PNO da Companhia Energética de Alagoas (CEAL) é descrito em detalhes no capítulo quinto.

Finalmente, o capítulo sexto trata da conclusão do trabalho.

Capítulo 2

LUMINOTÉCNICA

A principal fonte natural de luz para a terra é o sol. Como esta fonte não é disponível durante a noite, período em que não se pode contar com ela para iluminar residências, indústrias, rodovias, a humanidade sentiu a necessidade de encontrar uma solução para este problema, criando-se então as fontes artificiais de luz. Foi assim que, segundo Costa (1998), na idade da pedra foi criada a vela e no Império Romano a lâmpada a óleo. Em 1887, Amié Argand desenvolveu o lampião com camisa. A primeira lâmpada elétrica foi a lâmpada incandescente. Ela foi inventada em outubro de 1879, por Thomas Alva Edison. A partir daí, vieram as lâmpadas de descarga que, até hoje, sofrem modificações para melhorar seu desempenho energético. Mas, para uma melhor compreensão do funcionamento destas fontes, faz-se necessário conhecer algumas grandezas utilizadas na luminotécnica.

2.1 Grandezas luminotécnicas.

Inicialmente, é importante conhecer o significado da palavra *luz*. Este termo é definido como sendo a radiação eletromagnética que, ao penetrar no olho, acarreta uma sensação de claridade (NEGRISOLI, 1987).

Assim, pode-se designar como sendo *fluxo luminoso* (ϕ) a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz em todas as direções e avaliada pelo olho humano (GARCIA Jr., 1996). Sua unidade é o lúmen (Lm). Mas uma fonte não emite luz uniformemente em todas as direções. Por isso, a potência de radiação visível disponível numa direção especificada é tida como a *intensidade luminosa* (I), cuja unidade é denominada candela (Cd).

A intensidade luminosa e o fluxo luminoso estão vinculados pelo ângulo sólido (Ω), que é um ângulo tridimensional de uma esfera de raio r e elemento de área em sua superfície ds , dado por

$$d\Omega = \frac{ds}{r^2}, \quad (2.1)$$

Como se observa na figura 2.1. A relação entre a intensidade luminosa e o fluxo luminoso é dada por

$$d\phi = Id\Omega. \quad (2.2)$$

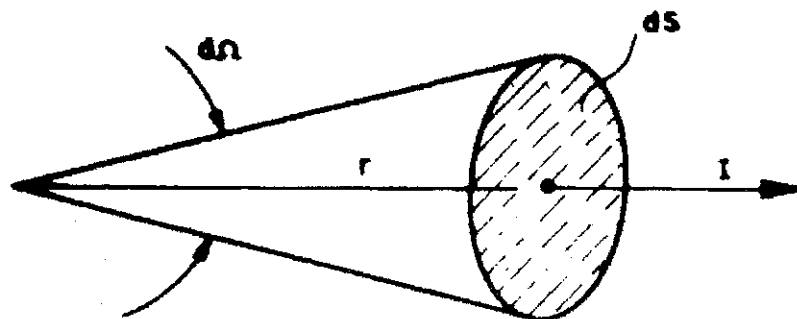


Fig.2.1 – Ângulo sólido $d\Omega$ atravessado por uma intensidade luminosa I perpendicular à área ds .

A partir destes conceitos, pode-se construir a curva de distribuição luminosa (CDL), supondo que a lâmpada ou luminária é reduzida a um ponto no centro de um diagrama polar, e representando a intensidade luminosa por vetores de módulo proporcional ao valor absoluto das intensidades nas diversas regiões. O lugar geométrico das extremidades dos vetores será a CDL, como mostra a fig. 2.2.

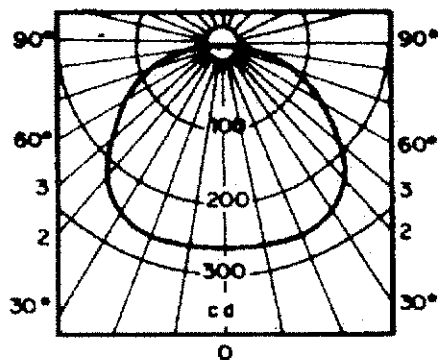


Fig. 2.2 - Curva de Distribuição Luminosa (CDL).

Uma outra grandeza bastante utilizada é a de *iluminância* ou *iluminamento* (E), que é definida como o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada. Desta definição

$$E = \frac{d\phi}{ds} \quad (2.3)$$

que é equivalente ao fluxo luminoso. Sua unidade de medida é o lux.

Considerando que a distância entre a fonte luminosa e o ponto iluminado seja grande, comparada com as dimensões físicas da fonte de luz (pelo menos cinco vezes maior), a iluminância neste ponto pode ser determinada pela intensidade e pela distância da seguinte forma:

$$E = \begin{cases} \frac{I}{r^2} & \text{para incidência perpendicular à superfície.} \\ \frac{I}{r^2} \cos \varepsilon = \frac{I}{h^2} \cos^3 \varepsilon & \text{para incidência oblíqua.} \end{cases}$$

A figura 2.3 ilustra estas relações. A partir desta figura a equação 2.1. para o caso de incidência oblíqua pode ser reescrita como:

$$d\Omega = \frac{ds}{r^2} \cos \varepsilon. \quad (2.4)$$

Como já foi visto, o fluxo se relaciona com a intensidade luminosa através da equação

2.2. Assim, substituindo (2.4) em (2.2), tem-se:

$$d\phi = I \frac{ds}{r^2} \cos \varepsilon. \quad (2.5)$$

Dividindo-se (2,5) por ds será encontrado o valor da iluminância na área ds :

$$E = \frac{d\phi}{ds} = \frac{I \cos \varepsilon}{r^2}. \quad (2.6)$$

Como $h = r \cos \varepsilon$ a expressão final da iluminância será

$$E = \frac{I \cos^3 \varepsilon}{h^2}. \quad (2.7)$$

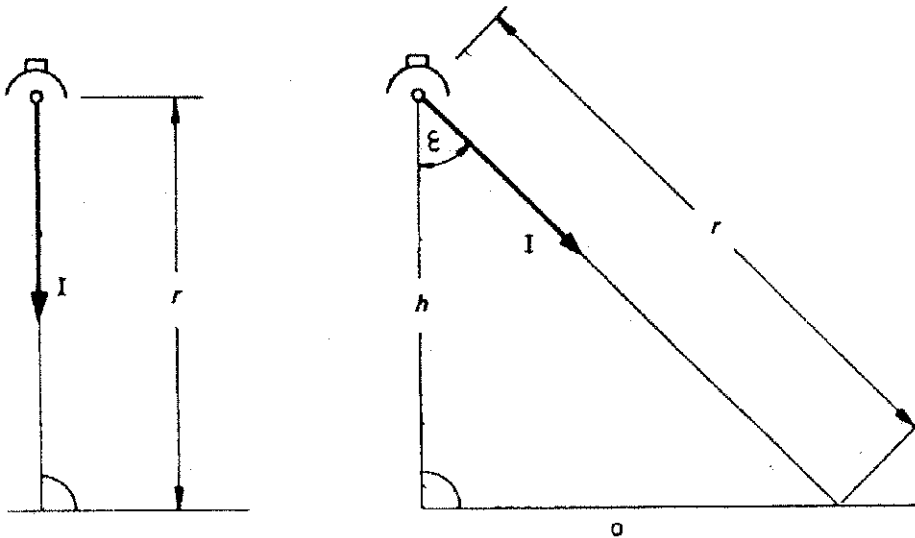


Fig. 2.3 – Iluminância a partir da intensidade luminosa.

Um parâmetro importante de qualquer fonte de luz é o *rendimento luminoso* (η), definido como a relação entre a potência luminosa irradiada, expressa em lúmens, e a potência elétrica absorvida, expressa em Watts. Sua unidade é Lm/W.

De forma geral, quanto maior o rendimento de uma fonte de luz, tanto mais econômica será esta fonte. Nas lâmpadas de descarga, as perdas do reator deverão ser acrescidas à potência da lâmpada.

A expressão que fornece o rendimento luminoso é :

$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad (2.8)$$

Existem ainda os parâmetros característicos dos materiais utilizados em luminotécnica. Quando se ilumina uma superfície uma parte do fluxo luminoso que incide sobre a mesma se reflete, outra atravessa a superfície e uma terceira parte do fluxo luminoso é absorvida pela própria superfície, transformando-se em calor. A partir destas características dos materiais, podem ser definidos três fatores : refletância, fator de transmissão e fator de absorção. O primeiro, também conhecido como *grau de reflexão*, é a relação entre o fluxo luminoso refletido por ma superfície ($u\phi_r$) e o fluxo luminoso incidente (ϕ) sobre ela. O segundo fator é também conhecido como *grau de transmissão* que é a relação entre o fluxo luminoso, que conseguiu atravessar uma superfície (ϕ_t) e o fluxo total incidente (ϕ). E, finalmente, o terceiro fator, também conhecido como *grau de absorção*, é a relação entre o fluxo luminoso absorvido por uma superfície (ϕ_a) e o fluxo luminoso incidente (ϕ) sobre a mesma.

2.2 Lâmpadas elétricas

As lâmpadas elétricas, para fins de iluminação, são geralmente classificadas de acordo com o fenômeno que é a causa produtora do fluxo luminoso (incandescência ou descarga elétrica):

Lâmpadas incandescentes. Compostas de um filamento de tungstênio com espiral simples, duplo ou triplo, com elevado ponto de fusão e baixa evaporação, além de boa resistência mecânica e ductibilidade. A oxidação deste filamento é evitada num bulbo sob vácuo ou

preenchido com gás inerte (argônio e nitrogênio). O bulbo pode ser transparente, translúcido ou opaco, servindo para alterar a luminância da fonte de luz. Para fixar a lâmpada mecanicamente ao seu suporte e fazer a ligação desta com seu circuito de alimentação, existem as bases, que podem ser do tipo Edison (roscada) ou Baioneta (encaixe). Sua vida útil para uso geral, considerando que a mesma trabalhe em condições nominais, é em média, de 1.000 h e seu rendimento luminoso cresce com a potência da lâmpada, porém possui uma baixa eficiência luminosa (apenas 10% da energia consumida é transformada em luz) quando comparada a outros tipos de lâmpada (MOREIRA, 1982). Assim, apesar de oferecerem conforto visual, sua utilização vem decrescendo em favor de lâmpadas energeticamente mais eficientes e de vida útil mais longa.

Lâmpadas de descarga. Neste tipo de lâmpada, segundo Negrisoli (1987), a energia é emitida sob forma de radiação, ocorrendo a excitação de gases ou vapores metálicos, com uma tensão elétrica. Estas sempre funcionam com equipamento auxiliar: o reator que tem como função limitar a corrente da lâmpada e o ignitor que ajuda a produzir a tensão necessária para o início da descarga elétrica. A vida útil destas lâmpadas é, em geral, várias vezes superior a das lâmpadas incandescentes. É possível contar com os seguintes tipos de lâmpadas de descarga:

- ◆ *Lâmpadas Fluorescentes:* são aquelas em que a produção de luz ocorre principalmente pela transformação de radiação ultravioleta em luz visível, com auxílio do material fluorescente (pó fluorescente ou fósforo) depositado nas paredes internas do bulbo. A descarga deve ser estabilizada com um reator. A ignição requer um pulso de tensão que é conseguida através de um starter em conjunto com o reator. A lâmpada tem normalmente o formato do bulbo tubular longo com um eletrodo em cada extremidade, contendo vapor de mercúrio em baixa pressão com uma pequena quantidade de gás inerte para facilitar a partida.
- ◆ *Lâmpadas a vapor de mercúrio:* são aquelas em que o efeito luminoso é produzido quando os gases de argônio e mercúrio, que possui em seu interior, são

vaporizados. Sua constituição é basicamente de um bulbo de vidro duro que contém em seu interior um tubo de descarga feito de quartzo para suportar altas temperaturas. Em cada uma de suas extremidades possui um eletrodo principal de tungstênio, e junto a um dos eletrodos principais existe um eletrodo auxiliar ligado em série com um resistor de partida que se localiza na parte externa do tubo de descarga. Dentro do bulbo externo é colocado gás inerte na pressão atmosférica, para estabilizar a lâmpada mantendo-a em temperatura constante. A sua longa vida é uma das características adicionais, sendo superior a 15000 h com 30% de depreciação do fluxo luminoso no período. Contudo, a vida real em serviço depende das condições de operação. Uma das vantagens energéticas deste tipo de lâmpada é sua grande emissão de luz, quando comparada à incandescentes e fluorescentes. A eficiência inicial (equivalente a 100 horas de trabalho) varia de 30 a 60 Lm/W, conforme potência e cor da lâmpada. Esse valor não inclui as perdas do reator, que devem ser somadas à potência da lâmpada.

- ◆ *Lâmpada a multivapores metálicos*: É aquela em que o efeito luminoso é produzido através da vaporização de seu meio interno que contém aditivos de iodeto como índio, tálio e sódio que melhoram a eficácia e a reprodução de cores. Este tipo de lâmpada necessita de um reator e de um ignitor para funcionar. Sua vida útil é superior a 8.000 h com 30% de depreciação do fluxo luminoso no período e sua eficiência luminosa de 80lm/W. São, portanto, lâmpadas de alta eficiência e muito boa reprodução de cores.
- ◆ *Lâmpada mista* : É idêntica à lâmpada a vapor de mercúrio, diferenciando-se apenas por possuir um filamento montado ao redor do tubo de descarga e ligado em série com este. Seu funcionamento é similar ao da lâmpada vapor de mercúrio, porém a lâmpada mista não necessita de reator para funcionar, pois o filamento além de emitir energia luminosa, funciona também como elemento de

estabilização da lâmpada. A vida útil de uma lâmpada mista é superior a 6.000h com 30% de depreciação do fluxo luminoso no período e seu rendimento luminoso é maior apenas que o da lâmpada incandescente, possuindo metade da eficiência luminosa das lâmpadas de vapor de mercúrio e apenas 25% das de vapor de sódio de alta pressão.

- ◆ Lâmpada a vapor de sódio baixa pressão: consta de um tubo de descarga em forma de U com um eletrodo em cada extremidade e cheios de gás argônio e neônio em baixa pressão para facilitar a partida, contendo também sódio metálico que irá se vaporizar durante o funcionamento. O conjunto é protegido por um invólucro de vidro tubular no qual existe vácuo, coberto na superfície interna por óxido de índio, que funciona como um refletor infravermelho, mantendo a parede do tubo de descarga na temperatura de funcionamento apropriada (270° C). A descarga elétrica na partida, inicia-se com o gás neônio que provoca a produção de um pequeno fluxo luminoso de cor rosa e elevação da temperatura, o que causa uma progressiva vaporização do sódio. A lâmpada atinge sua condição normal de funcionamento em aproximadamente 15 minutos, produzido um fluxo luminoso de cor amarela, devido à descarga no vapor de sódio. A vida útil de uma lâmpada a vapor de sódio baixa pressão é acima de 15.000h com depreciação de 30% do fluxo luminoso no período, e sua eficiência luminosa é da ordem de 200lm/W, portanto, maior de que todas as lâmpadas vistas até agora. Ideal para quando se pretende obter baixo custo de operação. A alta eficiência é, entretanto, obtida à custa da reprodução de cores, ou seja, este tipo não permite reconhecimento de cores além do sofrível.
- ◆ Lâmpada a vapor de sódio alta pressão: É composta de um tubo de descarga de óxido de alumínio sinterizado translúcido, dentro do qual tem-se os eletrodos de nióbio e o meio interno formado de xenônio, mercúrio e sódio metálico. A função

desta composição de gases é facilitar a partida da lâmpada. O tubo de descarga é localizado dentro do bulbo externo, de vidro duro, que é similar ao bulbo da lâmpada a vapor de mercúrio. O vácuo existente entre os dois bulbos é para diminuir a perda de calor para o exterior, aumentando a pressão no tubo de descarga e a eficiência luminosa da lâmpada. A vida média dessas lâmpadas é da ordem de 24000hs, sendo sua eficiência extremamente elevada.

2.3 Luminárias e dispositivos de controle

As luminárias servem de fixação para as lâmpadas e, eventualmente, para os reatores. Estas desempenham três funções principais: dirigir o fluxo da lâmpada, adaptando a distribuição luminosa à finalidade de iluminação; proteger contra ofuscamento ocultando a lâmpada ou reduzindo a luminância (com meios difusores de luz), a um nível suportável; e protege a lâmpada contra danos mecânicos ou químicos promovendo proteção elétrica adequada.

As luminárias para iluminação de interiores, na concepção de Chen (1990), são divididas em cinco grupos, conforme sua distribuição luminosa:

- *Direta*: Quando o fluxo luminoso é dirigido diretamente ao plano de trabalho. Nesta classe se enquadram as luminárias refletoras espalhadas, comumente chamadas de *spots*.
- *Indireta*: Quando o fluxo luminoso é dirigido diretamente em oposição ao plano de trabalho. As luminárias que atendem a esta classe em geral assumem uma função decorativa no ambiente iluminado.
- *Semidireta*: Quando parte do fluxo luminoso chega ao plano de trabalho diretamente dirigido e outra parte atinge o mesmo plano por reflexão. Neste caso, deve haver predominância do efeito direto.
- *Semi-Indireta*: Quando parte do fluxo luminoso chega ao plano de trabalho por

efeito indireto e outra parte é diretamente dirigida ao mesmo. Neste caso, o efeito predominante deve ser o indireto.

- *Geral-Difusa*: Quando o fluxo luminoso apresenta praticamente a mesma intensidade em todas as direções.

E para fins de iluminação pública, as luminárias, segundo Moreira (1987), são classificadas conforme sua distribuição luminosa (ver figura 2.4) de acordo com três critérios:

- *Distribuição longitudinal* (segundo um plano vertical) à via pública.

Curta: Intensidade luminosa máxima entre $1.00h$ e $2.25h$, onde h representa a altura de montagem da luminária.

Média: Intensidade luminosa máxima entre $2.25h$ e $3.75h$.

Longa: Intensidade luminosa máxima entre $3.75h$ e $6.00h$.

Sendo h a altura de montagem da luminária.

- *Distribuição luminosa lateral*.

Tipo I: Amplitude lateral não ultrapassando $1.00h$, tanto do lado das casas quanto do lado das vias.

Tipo II: Amplitude lateral compreendida entre a linha de referência horizontal ($0h$) e a linha $1.75h$.

Tipo III: Amplitude lateral não ultrapassando $2.75h$.

Tipo IV: Amplitude lateral ultrapassando $2.75h$.

- *Controle da distribuição luminosa vertical* (acima do ângulo de máxima intensidade luminosa):

Distribuição limitada: Intensidade luminosa não excede, numericamente, 10% dos lúmens nominais da fonte luminosa empregada.

Distribuição semi-limitada: Intensidade luminosa situa-se, numericamente, entre 10% e 30% dos lúmens nominais da fonte luminosa empregada.

longitudinal da pista. Permitem alturas baixas de montagem.

- *Central duplo.* Normalmente instalado ao longo do canteiro central de vias de duas pistas.
- *Em oposição alternada.* Luminárias colocadas alternadamente dos dois lados da pista, em forma de zigue-zague. A uniformidade da iluminância longitudinal é, em geral, baixa.
- *Suspensão por cabos.* Luminárias suspensas por cabos atravessados sobre a via. Arranjos normalmente usados para baixa altura de montagem (6 a 8 metros) ou onde não é possível usar colunas ao lado da via
- *Fixação à parede.* Usada normalmente em áreas de pouco espaço, por exemplo: ruas estreitas. Sem emprego de colunas.

As lâmpadas de descarga necessitam de dispositivos para estabilização da corrente e para a ignição. Esses dispositivos serão apresentados a seguir:

- *Reatores:* são responsáveis pela estabilização da corrente a um nível adequado de projeto da lâmpada. São dispositivos que, dependendo de sua fabricação, podem consumir uma elevada corrente reativa da rede de alimentação, sobrecarregando demasiadamente os circuitos de distribuição e os transformadores que os alimentam. Assim, são comercializados reatores de baixo e alto fator de potência. Os primeiros apresentam apenas uma indutância em série com a lâmpada; o segundo tipo, além da indutância, tem inserido em paralelo um capacitor responsável pela melhoria do fator de potência.
- *Starters:* são dispositivos constituídos de um pequeno tubo de vidro dentro do qual são colocados dois eletrodos, imersos em gás inerte responsável pela formação inicial do arco que permitirá estabelecer um contato direto entre os referidos eletrodos. Somente um eletrodo é constituído de uma lâmina bimetálica que volta ao estado inicial decorridos alguns instantes.
- *Ignitores:* são elementos utilizados em lâmpadas a vapor metálico e vapor de sódio, e que atuam gerando uma série de pulsações de tensão elevada, a fim de iniciar a

descarga destas.

2.4 Iluminação Pública

Iluminação pública proporciona segurança, conforto, além da extensão do tempo útil de uma cidade (PROCEL/ELETROBRÁS, 1998).

Considerando-se que nos tempos atuais, as atividades noturnas são quase tão intensas quanto as diurnas, faz-se necessário criar uma visão rápida, precisa e confortável das vias públicas.

Para tanto, a iluminação artificial das vias de trânsito motorizado, vias de pedestres, áreas residenciais, lugares públicos, distritos industriais e outros locais do gênero, deve satisfazer requisitos indispensáveis, como segurança contra crimes e acidentes, além de facilidade de movimentação, conforto visual, e desempenho visual satisfatório.

Desta forma, as necessidades de motoristas, pedestres e moradores após o pôr do sol podem ser resumidas como seguem:

Movimentação segura do tráfego. À noite, a visibilidade do motorista é influenciada principalmente pelos fatores de luminosidade da via (quanto maior a luminância da pista, maior a visibilidade que se tem dos objetos); restrição do ofuscamento (reduzindo o ofuscamento, a visibilidade melhora sensivelmente); uniformidade da iluminação (trechos escuros nas ruas também reduzem a capacidade de detecção de objetos) e orientação visual (o motorista deve receber informação sobre os limites laterais e sobre a direção da pista à sua frente, de modo a antever e reagir adequadamente).

Segurança para as pessoas. A iluminação pública desempenha papel importante como fator inibidor da criminalidade, pois produz uma sensação de segurança que é influenciada por basicamente quatro fatores: reconhecimento adequado de pessoas (de modo a identificar e perceber a intenção de pessoas que se aproximem); detecção de objetos (a detecção de

obstáculos deve ser facilitada ao máximo); ofuscamento; familiaridade e orientação no ambiente (a orientação visual aumenta com o grau de familiaridade com o ambiente).

Atividade e conforto. Os critérios associados com o conforto visual são: brilho, modelagem, impacto visual, penetração e qualidade de cor.

Boa imagem da cidade.

Segundo a norma NBR 5101 (ABNT, 1992), as vias poderão ser classificadas, conforme sua natureza, em três classes distintas a saber:

1. *Classe A.* São as vias rurais ou estradas (municipais, estaduais ou federais), divididas em três grupos:
 - A_1 : vias arteriais, são as vias de ligação entre as cidades, exclusivas para tráfego motorizado, que se caracterizam por grande mobilidade e pouco acesso de tráfego, várias pistas, cruzamento em dois planos, escoamento contínuo, elevada velocidade de operação e estacionamento proibido na pista.
 - A_2 : vias coletoras, são vias cujo tráfego motorizado é inferior ao da arterial dando acesso às vias locais.
 - A_3 : vias locais, são vias que permitem acesso às propriedades rurais com grande acesso e pequena mobilidade de tráfego.
2. *Classe B.* São as vias de ligação entre centros urbanos e suburbanos, porém não pertencendo ao grupo anterior. Geralmente, só têm importância para tráfego local.
3. *Classe C.* são as vias urbanas caracterizadas pela existência de construções ao longo da mesma e a presença de tráfego motorizado e de pedestres. Estas são áreas residenciais, áreas comerciais, áreas industriais, áreas de ligação entre residencial, comercial e industrial, e as áreas públicas de recreação (praças, parques, monumentos e etc.).

As vias podem ser classificadas conforme o tráfego: de acordo com o trânsito de veículos, tabela 2.1, e de acordo com o trânsito de pedestres, tabela 2.2.

Um dos pontos básicos de um projeto de iluminação é a fixação dos níveis de

iluminamento médio de uma via. As tabelas 2.3 e 2.4 apresentam iluminâncias médias no pavimento da via quando a fonte luminosa está com o mais baixo rendimento admissível e quando a mencionada fonte encontra-se no estado de uso antes da limpeza.

Tabela 2.1 - Tráfego motorizado

Classificação	Veículos em trânsito no período noturno em ambas as direções (por hora)
Leve	150 - 500
Médio	500 - 1200
Intenso	Acima de 1200

fonte: ABNT, NBR - 5101.

Tabela 2.2 - Tráfego de pedestres.

Classificação	Pedestres cruzando as vias
Praticamente com ausência de pedestres	Como nas vias A ₁
Leve	Como nas ruas residenciais médias
Médio	Como nas ruas comerciais secundárias
Intenso	Como nas ruas comerciais principais

fonte: ABNT, NBR - 5101.

Tabela 2.3 – Iluminâncias médias em lux.

	Classificação das vias				
	B e C			A ₁	A ₂
Tráfego de pedestres	Tráfego Motorizado				
	L	M	I		
Leve					
Médio	4*	8	10	15	4
Intenso	8	10	15		
Ausente	10	15	20	20	

Fonte: ABNT, NBR - 5101.

(*) Em vias residenciais de tráfego muito reduzido e local, poderá adotar-se a iluminância de 2 lux.

Quando existirem dados numéricos sobre o tráfego das vias da classe B e C, utiliza-se a tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Iluminâncias como função do tipo de vias (lux).

Tipo de vias	Localidade		
	Importante	Média*	Pequena**
Vias de acesso e ligação	20	15	8
Vias de circulação principal			
Vias comerciais principais	15	15	8
Vias de área central			
Vias comerciais secundárias	10	8	4
Vias de área secundária			
Vias comerciais (calçadas)	20		
Vias industriais e similares	10	10	
Vias residenciais	6	4	4
Vias residenciais de tráfego muito reduzido e local	4	2	2
Praças	De acordo com a localidade e importância da praça.		

Fonte: ABNT, NBR – 5101.

(*) Localidade média até 50.000 habitantes.

(**) Localidade pequena até 5.000 habitantes.

Para se elaborar um projeto, conforme ELETROPAULO (1981), faz-se necessário realizar um levantamento das características do local a ser iluminado, observando as possíveis interferências com o sistema de iluminação a ser instalado. Tais informações são as seguintes:

- Volume de tráfego de veículo e pedestres;
- Arruamento do leito carroçável e dos passeios;
- Interferências no subsolo;
- Posteação existente das redes de distribuição e de iluminação pública;
- Bueiros e galerias;
- Localização de entrada de veículos;
- Equipamentos existentes (estações transformadoras, bancos de capacitores, chaves fusíveis, chave faca, entradas primárias etc.)

Todas estas informações são indicadas numa planta que serve de base para a elaboração dos projetos luminotécnicos, elétrico e de instalação, e remanejamento necessário para a execução dos serviços. Esta planta deverá ser em escala 1:1000.

Para logradouros tais como praças, pontes, viadutos, deverão ser desenhados cortes e detalhes especiais, a fim de se obter melhores informações do local, numa planta em escala 1:500.

Esta verificação é feita em local a ser beneficiado com iluminação pública, com base na planta geral que já possui as indicações relativas aos projetos luminotécnicos e elétrico.

Nos casos das unidades com alimentação aérea, faz-se um levantamento detalhado das construções existentes, determinado-se os postes que poderão ser aprovados, substituídos ou instalados.

No caso das unidades com alimentação subterrânea, faz-se a verificação das interferências com a rede de distribuição aérea e subterrânea, transmissão, bem como com os equipamentos de outras companhias de utilidade pública.

Assim, conforme afirmações da ELETROPAULO (1981), para se elaborar um projeto luminotécnico pelo método de cálculo de coeficiente de utilização ou fator de utilização, que é a maneira mais fácil e rápida de calcular o iluminamento médio, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$E_{\text{médio}} = \frac{\mu \cdot n \cdot \phi}{l} \quad (2.9)$$

sendo:

μ = coeficiente de utilização

n = número de luminárias por km de instalação.

ϕ = fluxo luminoso das lâmpadas em kilolúmens.

l = largura da via a ser iluminada.

O coeficiente de utilização (μ) é uma função da largura da via a ser iluminada (l) menos a projeção da luminária sobre a via (a) expressa em unidades da altura de montagem da luminária (h), fig. 2.5. Isto é:

$$\mu = f\left(\frac{l-a}{h}\right)$$

(2.10)

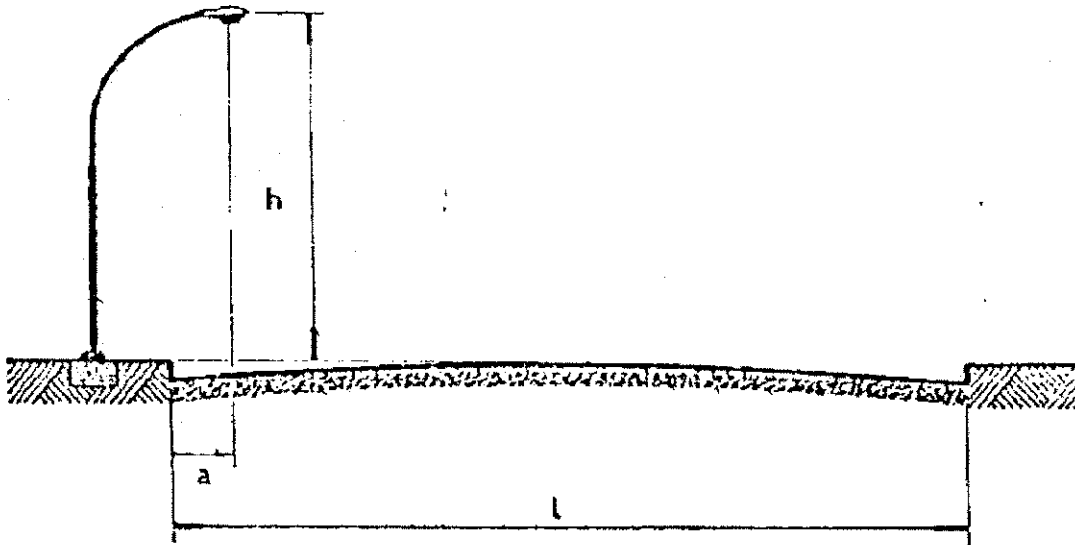


Fig. 2.5 – Iluminação de uma via pública. Altura de montagem da luminária (h), largura da via (l) e projeção da luminária sobre a via (a).

O *fator de utilização* é a relação entre o fluxo luminoso que atinge a área a ser iluminada e o fluxo luminoso emitido pela lâmpada.

Uma vez determinado o valor de $\frac{l-a}{h}$ o coeficiente de utilização pode ser lido na *escala de utilização* da fig.2.6.

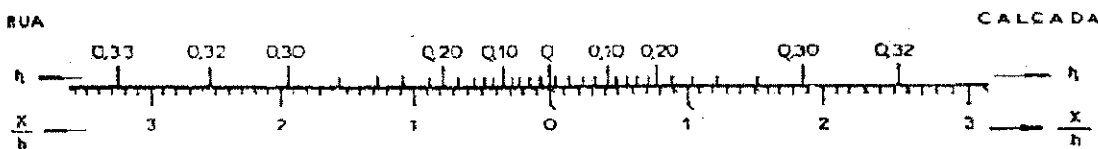


Fig. 2.6 – Escala de utilização para determinação do coeficiente de utilização.

Nesta escala, se a largura da rua é igual a l e a projeção da luminária igual a a , o valor de x no lado da calçada é igual a a e o valor de x do lado da rua é igual a $l-a$.

O coeficiente de utilização do fluxo luminoso para a parte da rua do lado da calçada deve ser lido na escala de utilização em $\frac{a}{h}$ e para a parte da rua, do lado da calçada deve ser lido na

escala de utilização em $\frac{a}{h}$ e para a parte da rua, do lado carroçável em $\frac{l-a}{h}$.

O coeficiente de utilização do fluxo luminoso para toda rua é igual à soma daqueles valores.

Por exemplo, quando se deseja instalar uma unidade de 4 pétalas, com lâmpadas de 400W por pétala, em uma via de 10m de largura em cada pista e um canteiro central de 5 m, faz-se da seguinte forma:

- Cálculo do iluminamento médio:

$$h = 12\text{m}$$

$$l = 10+10+5 = 25\text{m}$$

$$a = 0$$

$$\text{vão entre unidades} = 40\text{m} \quad n=1000/40 = 25 \text{ luminárias por km.}$$

$$400\text{w} \rightarrow 23.000 \text{ lúmens}$$

- Cálculo do coeficiente de utilização:

$$\frac{x}{h} = \frac{l/2}{h} = \frac{12,5}{12} = 1,04 \rightarrow \mu = 0,24$$

$$E_{\text{médio}} = \frac{\mu \cdot n \cdot \Phi}{l} = \frac{0,24 \cdot 25 \cdot 4 \cdot 23}{25} = \frac{0,24 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 23}{12,5} = 22,1 \text{ lux}$$

$$E_{\text{médio}} = 22,1 \text{ lux}$$

- Cálculo do $E_{\text{médio}}$ com depreciação:

$$E_{\text{medep}} = E_{\text{médio}} \times 0,75 = 16,6 \text{ lux}$$

$$E_{\text{medep}} = 16,6 \text{ lux.}$$

Capítulo 3

ANÁLISE ECONÔMICA DE PROJETOS

Os problemas de engenharia têm dois aspectos igualmente importantes: técnico e econômico. Qualquer projeto carece de viabilidade econômica. Isto é, em todas as situações práticas, o problema básico está centrado na escolha da alternativa de solução mais econômica entre todas as que se apresentam. Na elaboração de um projeto haverá de se responder as seguintes questões: Por que fazer? Como fazer? Quando fazer? Onde fazer? Essas questões fundamentais levam a uma outra: Qual das alternativas planejadas é capaz de desempenhar satisfatoriamente a função desejada dentro do período de tempo requerido e exigindo dispêndio mínimo de capital?

O projeto de engenharia é um problema que compreende dois subproblemas. O primeiro consiste em criar um elenco de alternativas de eficácia técnica comprovada. O segundo requer o exercício de engenharia econômica de escolher entre as alternativas tecnicamente viáveis aquela que é mais adequada economicamente. Alternativas economicamente viáveis são aquelas possíveis de ser realizáveis. Nem todas têm esta característica, uma vez que os recursos são

limitados. Uma proposta de investimento muito rentável, mas que demande uma quantidade de recursos além da que está disponível, simplesmente terá que ser abandonada. Portanto, a análise econômica de projetos não se restringe a determinar aquele que é mais rentável. De fato, é uma análise muito mais abrangente, em que além da rentabilidade outros fatores como disponibilidade de recursos e capacidade de arcar com encargos financeiros precisam ser considerados paralelamente. Alguns desses fatores não podem ser expressos com precisão em valores monetários. Isto é, não há critérios objetivos que possam ser usados para definir seus valores monetários. São os chamados *fatores imponderáveis* (HESS *et al*, 1969). Uma denominação mais apropriada seria *fatores de ponderação subjetiva* ou simplesmente *fatores subjetivos*. Mesmo sendo de avaliação absolutamente subjetiva, eles deverão ser considerados na tomada de decisão e muitas vezes são mais determinantes que qualquer outro. Exemplos desses fatores são os custos ou benefícios sociais em geral. Ou seja, as implicações do projeto sobre a saúde e segurança públicas e a qualidade de vida como um todo. A repercussão urbanística e o impacto ambiental do projeto são outros fatores imponderáveis de grande importância.

3.1 Engenharia econômica, capital e juros

Engenharia econômica é o conjunto de princípios e técnicas que podem ser empregados para orientar a tomada de decisão sobre investimentos. Essa área da ciência das finanças se preocupa com o uso eficiente de fundos. Um dos fundamentos da engenharia econômica é o de que o capital é um bem escasso cujo valor real é função do tempo. Isso significa que o capital aplicado num empreendimento deve ser remunerado independentemente de qual seja sua origem: capital próprio, empréstimo de curto prazo ou financiamento de longo prazo. A remuneração do capital ou *juros* é decorrente de vários fatores, entre os quais:

- Inflação: a diminuição do poder aquisitivo da moeda exige que o retorno seja maior que o investimento, em valor nominal, para que o capital mantenha seu valor real.

- Utilidade: investir significa postergar consumo, o que só é atraente se houver uma compensação.
- Risco: há sempre a possibilidade do investimento não corresponder às expectativas.
- Oportunidade: os recursos disponíveis para investir são limitados. Ao se aceitar determinado projeto perde-se a oportunidade de ganhos em outros, razão pela qual o primeiro deve oferecer retorno satisfatório.

É possível definir-se uma taxa única que englobe todos esses fatores embora também se possa empregar uma taxa para cada um dos fatores individualmente. A parte da remuneração do capital para compensação da inflação é denominada de *correção monetária* (não corresponde a juros). O fator inflação pode ser excluído expressando-se os valores numa *moeda forte* ou numa *base de referência monetária*. Há sempre algum risco nisso, o qual pode ser agregado aos riscos gerais do investimento. O fator utilidade só faz sentido para pequenos investidores. Denomina-se de *juros reais* a parte da remuneração do capital para efeito de compensação pela perda de oportunidade.

O capital inicialmente aplicado, denominado *principal*, pode crescer devido aos juros segundo duas modalidades:

- Juros simples: só o principal rende juros enquanto dura o investimento.
- Juros compostos: periodicamente os juros apurados são incorporados ao principal, e assim passam a render juros.

O período considerado para incorporação dos juros ao capital é denominado de *período de capitalização* ou *período de composição*. Diz-se que os juros são capitalizados mensalmente, semestralmente ou anualmente. Em projetos de engenharia, o período de capitalização anual é o usual.

A metodologia de análise de investimentos baseia-se em juros compostos para estabelecer padrões de comparação. O uso de juros simples não se justificava em estudos econômicos, já que as quantias geradas pelo fluxo de fundos costumam ser reinvestidas. De

qualquer modo, o caso em que eventualmente não haja reinvestimentos pode ser tratado como com reinvestimento a taxa nula e analisados pelos mesmos princípios.

3.2 O princípio da indiferença

Alternativas de investimento envolvem entradas e saídas de caixa de valores diferentes em instantes de tempo diferentes. O movimento de entrada e saída de recursos num investimento é denominado de *fluxo de caixa*, cuja representação gráfica é denominada de *diagrama de fluxo de caixa* (fig. 3.1). A escala horizontal do diagrama de fluxo de caixa representa o tempo (em meses, semestres ou anos), as flechas para cima correspondem a entradas de caixa ou receitas, e as flechas para baixo representam saídas de caixa ou despesas. Adotam-se ainda as seguintes convenções: investimento (inicial) é feito no instante 0 (zero); receitas e despesas ocorrem no fim dos períodos considerados.

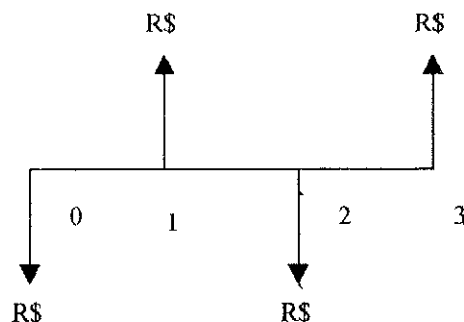


Fig. 3.1 – Diagrama do fluxo de caixa.

Como comparar alternativas com fluxos de caixa diferentes para achar a de menor custo ou a de maior rentabilidade? Só se pode comparar grandezas diferentes após ter sido definido uma medida de equivalência.

Segundo o princípio da indiferença, são *fluxos de caixa equivalentes* aqueles pelos quais não há preferência relativa, isto é, tanto faz um quanto os outros. Ao se estabelecer a

equivalência entre dois fluxos se define uma taxa de juros, que por coerência e racionalidade do processo de decisão, deve ser aplicada aos demais fluxos que se pretende comparar.

Exemplo 3.1

Um determinado produto está sendo anunciado pelo preço em dois pagamentos (50% no ato mais 50% com 30 dias). O desconto para pagamento integral à vista é 4%. Como seria o plano de pagamento equivalente em duas vezes sem entrada?

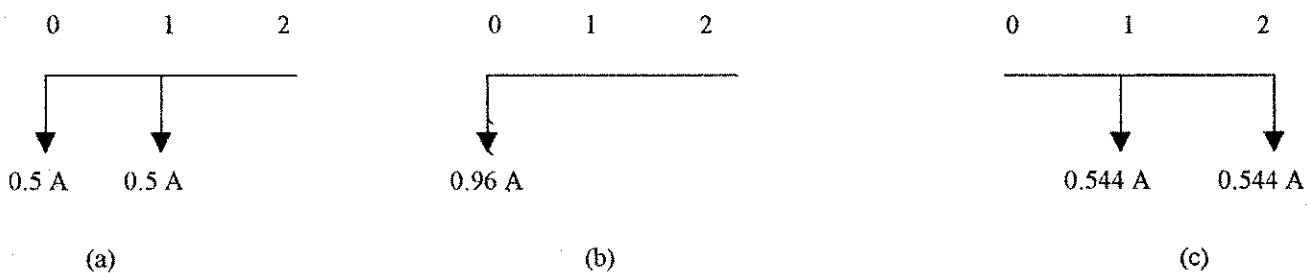


Fig. 3.2 – Planos de pagamento do exemplo 3.2. (a) anunciado (1+1), (b) à vista e (c) dois pagamentos sem entrada.

As três alternativas de compra são representadas na fig. 3.2, onde A é o preço anunciado. A taxa de juros cobrada, $i = 8,7\%$, é determinada a partir da equivalência entre os planos em dois pagamentos com entrada e o de pagamento à vista: $0,5A + 0,5A / (1+i) = 0,96A$. Cada uma das parcelas do pagamento em duas vezes sem entrada é igual a $C = 0,544$ do preço anunciado. Esse valor se determina a partir da equivalência dessa alternativa com uma das anteriores. Fazendo-se a equivalência com o pagamento à vista tem-se:

$$0,96 \cdot 1,087 = C \left(\frac{1}{1,087} + 1 \right).$$

As alternativas que se apresentam no exemplo 3.1 são equivalentes para o fornecedor, mas podem não ser para o comprador. Se não há disponibilidade de recursos para pagamento da entrada as duas primeiras alternativas não são viáveis.

A noção de equivalência está intimamente relacionada à taxa de juros, de modo que quando se lida com quantias monetárias não interessa apenas o valor numérico, mas também o instante em que tais quantias serão movimentadas. Uma vez definida a taxa de juros, se pode ajustar os valores para que coincidam no mesmo instante de tempo. Isso é imprescindível para efeito de comparação de alternativas econômicas. De modo genérico pode se dizer que um fluxo (entrada ou saída) de recursos de valor Q_j no instante j é equivalente, à taxa de juros i , ao fluxo de valor Q_k no instante k , se a relação

$$Q_k = (1 + i)^{k-j} Q_j. \quad (3.1)$$

for verificada.

3.3 Métodos de Análise econômica

Ao ser atraído por um novo investimento o capital deixará de auferir retorno da aplicação que tinha até então. Se isso ocorreu é porque a proposta se mostrou mais vantajosa (mais rentável e/ou menos arriscada). Para que a nova alternativa seja atrativa deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco que se encontram no mercado. Esta é a taxa de juros mediante a qual se estabelece a equivalência entre as alternativas de investimento segundo o princípio da indiferença. Ela é chamada *taxa mínima de atratividade*. Na verdade a taxa de atratividade normalmente é maior que a do investimento atual pois além da taxa de juros real incluem taxa de risco¹ e eventuais custos de movimentação².

Um estudo econômico sempre compreende a análise de alternativas de investimento para subsidiar a tomada de decisão entre não fazer nada, alterar ou abandonar projetos em andamento, ou investir em novos projetos. Os métodos de comparação de alternativas de investimentos, em

¹ Considerando que geralmente novos investimentos são de maior risco.

² Por exemplo, IOF - Imposto sobre Operações Financeiras e CPMF - Contribuição Provisória sobre Movimentação Financeira.

primeira instância, consistem em expressá-las através de quantias únicas determinadas com base no princípio da indiferença.

Método do valor atual. Denomina-se como *valor atual de um movimento simples* S , a quantia P , a ser investida a juros i , para que se tenha após n períodos de capitalização o montante S . Define-se como *fator do valor atual de um movimento simples*, o fator que aplicado a S permite achar P . O fator do valor atual é função de i e n e é expresso por:

$$FVA' = (1+i)^{-n}. \quad (3.2)$$

A equação (3.2) foi obtida a partir da definição e da eq. (3.1) particularizada para $k=0$ e $j=n$, levando-se em conta que $Q_0 = P$ e $Q_n = S$ e que $FVA' = \frac{S}{P}$.

Pelo método do valor atual, todos os custos que ocorram durante a vida de cada projeto são convertidos em seus valores atuais, tomando-se a taxa mínima de atratividade. O projeto mais econômico é aquele que totalizar o menor custo atual.

Alguns custos anuais, tais como juros e depreciação, são constantes e constituem uma série uniforme de fluxos de caixa. Seja R o total desses custos por ano. Então o valor atual da série uniforme é

$$P = R \sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k}. \quad (3.3)$$

O fator que aplicado à anuidade R resulta no valor atual da série uniforme e é denominado de como *fator de valor atual da série uniforme*, FVA . De acordo com a eq. (3.3),

$$FVA(i, n) = \sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k}. \quad (3.4)$$

A série da eq. (3.4) corresponde aos n primeiros termos de uma progressão geométrica cujo termo inicial é $\frac{1}{1+i}$ e cuja razão também é $\frac{1}{1+i}$. Portanto, seu valor é

$$FVA(i, n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}. \quad (3.5)$$

O inverso do fator de valor atual da série uniforme é denominado de *fator de recuperação de capital em série uniforme*:

$$FRC(i, n) = \frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} \quad (3.6)$$

Método do custo anual. A comparação de alternativas de investimentos pelo método do custo anual é feito reduzindo-se os fluxos de caixa de cada proposta a uma série uniforme equivalente, empregando-se para isso a taxa mínima de atratividade. Seleciona-se a alternativa que tiver menor custo (ou maior rendimento) anual. Para se determinar o custo anual de um investimento, primeiro deve-se determinar o valor atual do investimento como um todo. Esse valor corresponde ao somatório dos valores atuais de cada um dos movimentos, que são determinados empregando-se o FVA' (eq. 3.2). Em seguida se aplica o fator de recuperação de capital em série uniforme (eq. 3.6).

Método do custo capitalizado. Alguns tipos de investimentos se propõem a fornecer benefícios por períodos tão grandes que são considerados eternos. É o que ocorre com obras públicas como estradas, redes de esgoto e viadutos. O custo capitalizado é calculado a partir do custo anual do investimento. Ao se aplicar o fator de valor atual de série uniforme se considera $n = \infty$:

$$FVA(i, \infty) = \frac{1}{i} \quad (3.7)$$

Método da taxa de retorno. A *taxa de retorno* de um investimento é a taxa de juros que anula mutuamente as entradas e saídas de recursos no investimento durante sua vida. O método consiste em se calcular a taxa de retorno do investimento, a qual deve ser maior que a taxa mínima de atratividade do investimento. Portanto, um investimento não basta ser simplesmente rentável (com taxa de retorno positiva), além disto, deve ter uma rentabilidade acima da média de mercado. Esse é o critério para se decidir por um investimento sem necessidade de comparação de alternativas, como exigem os métodos anteriores. Quando várias alternativas de

investimentos se apresentam, escolhe-se a mais rentável, se alguma é atraente. Do contrário, não se escolhe nenhuma. A taxa de retorno nem sempre pode ser calculada analiticamente, como foi feita no exemplo 3.1. Quando o fluxo de caixa é mais complexo, calcula-se a taxa de retorno iterativamente.

3.4 Análise econômica assistida por computador

Hoje, a análise econômica está facilitada pela enorme disponibilidade de recursos computacionais. Há uma variedade muito grande de programas de computador específicos para auxiliar nesta tarefa. Por outro lado, tem-se tornado cada vez mais simples criar um aplicativo de análise (econômica, inclusive). O analista, desde que não seja um principiante no uso de computador, encontrará inúmeras maneiras de fazer isso.

Há uma classe de programas de computador de propósito geral que tem recebido a preferência de um contingente cada vez maior de engenheiros, administradores, economistas e muitos outros profissionais. São as chamadas *planilhas eletrônicas*, cujas características mais atraentes tem sido as seguintes:

- Comodidade: as planilhas eletrônicas estão baseadas numa interface gráfica avançada extremamente ergonômica (amigável).
- Utilidade: São dotadas de uma gama de funções e recursos de cálculo, de análise, de organização de dados e de apresentação de resultados extremamente úteis e pelos quais há uma demanda muito grande nos problemas práticos. Além disso, possuem suportes gráficos de alta qualidade.
- Agilidade e precisão: as respostas das planilhas são muito rápidas e precisas.
- Capacidade: são capazes de processar grandes volumes de informação.

- Comunicabilidade: permitem completa interação com outros aplicativos, tais como: processadores de textos, gerenciadores de bancos de dados e assistentes de apresentação.

Os estudos desenvolvidos para efeito de elaboração dessa dissertação foram realizados com auxílio da planilha eletrônica Excel[®] 7.0 (MICROSOFT, 1995) que conta com 15 funções financeiras. Algumas dessas funções (tab. 3.1) têm relação direta com os métodos de análise apresentados acima.

Tab. 3.1 Métodos de análise econômica e funções do Excel[®] 7.0 relacionadas.

método	função	argumentos	retorno
• do valor atual	VP	taxa, nper, pgto, vf, tipo	valor atual de um investimento
	VPL	taxa, valor1, valor2, ...	valor líquido atual
• do custo anual	PGTO	taxa, nper, vp, vf, tipo	pagamento periódico de uma anuidade
• do custo capitalizado	PPGTO	taxa, per, nper, vp, vf, tipo	pagamento sobre o montante de um investimento em um determinado período
• da taxa de retorno	TAXA	nper, pgto, vp, vf, tipo, estimativa	taxa de juro por período
	TIR	valores, estimativa	taxa interna de retorno
	MTIR	valores, taxa_financ, taxa_reinv	taxa interna de retorno em que fluxos de caixa positivos e negativos são financiados com taxas diferentes

3.5 Renovação de instalações como uma alternativa econômica

A substituição de equipamentos e a renovação ou modernização de sistemas de modo geral constituem um dos campos em que a engenharia econômica tem sido aplicada com maior sucesso. O problema central desta dissertação é justamente desse tipo. Especificamente o que se cogita é a substituição de lâmpadas, luminárias e reatores por outros de maior qualidade tecnológica, para que o sistema de iluminação pública seja mais eficiente economicamente.

Em síntese, o problema consiste em determinar se a redução de custos decorrente da substituição compensa o investimento que se faz necessário. O que se procura é comparar os

fluxos de caixa com e sem a substituição proposta, a fim de escolher a melhor solução. O problema não é simples por várias razões, mas a parte mais difícil é o levantamento de custos, pois eles dependem de vários fatores, inclusive da maneira como a renovação das instalações é feita.

Há dois tipos de substituição de equipamento, que implicam custos diferentes: substituição de unidades que se destroem e unidades que se desgastam ou se desatualizam. A vida de um equipamento obedece a uma lei probabilística, de maneira que é impossível determinar o instante exato em que irá falhar. Em via de regra, o custo de uma falha não corresponde apenas ao da substituição do equipamento, mas também ao prejuízo eventual decorrente da falha. Dependendo de qual seja o valor desse último, pode ser mais econômico substituir o equipamento quando ele alcançar um determinado índice de desgaste, ou seja, antes dele falhar.

Os estudos que ora se apresentam, não foram de natureza probabilística. Consideram-se três alternativas econômicas:

- Caso base: manter o sistema como está, sem nenhuma renovação. Neste caso, os equipamentos são substituídos por outros similares ao falharem. O custo médio dessas substituições é estimado e incorporado ao custo anual de manutenção. Não há investimento inicial.
- Renovação imediata: O sistema é renovado, por inteiro, de uma só vez. O custo de substituição é o investimento inicial da alternativa. A redução no custo de manutenção, decorrente da renovação e o aumento da vida útil dos equipamentos são estimados.
- Renovação por etapa: Esta é uma alternativa intermediária entre as duas anteriores, em que a renovação ocorre em etapas.

Capítulo 4

AVALIAÇÃO DE CUSTOS E CÁLCULO DE PERDAS

Antes de analisar alternativas técnicas em busca daquela que seja a mais econômica, é imprescindível avaliar os diferentes custos que estão envolvidos e quantificá-los em termos unitários. Os principais custos envolvidos na efficientização de sistemas de iluminação pública são apresentados a seguir:

4.1 Custos da efficientização

Custo de novos equipamentos. Estes custos são levantados a partir de pesquisa de preço no mercado fornecedor. O resultado de uma pesquisa dessa natureza é mostrada na tab. 4.1.

Custo de mão-de-obra. Segundo o Serviço de Iluminação Municipal – SIMA, órgão da Prefeitura Municipal de Maceió, os custos de mão-de-obra são aqueles que se apresentam na tab. 4.2. Esses foram os valores empregados nos estudos realizados para efeito de elaboração desta dissertação.

Tabela 4.1 – pesquisa de preço dos materiais usados em iluminação pública.

	Descrição	Potência (W)	Incomel	Eletro Silva	Colmed	Ejetoluz	MBMat. Elétricos	Cinteli	F. Santos	Iluminight
Lâmpada	mista	250	12,98	12,90	9,90	10,90	11,50	13,16	14,40	14,00
	vapor mercúrio	80	8,02	8,31	5,90	7,50	8,50	8,00	8,25	8,50
	vapor mercúrio	125	8,88	9,38	6,90	8,78	8,70	9,53	8,98	9,50
	vapor mercúrio	250	18,20	19,48	13,40	16,73		18,00	18,26	18,00
	vapor mercúrio	400	26,61	28,13	19,90	24,47		27,50	32,29	28,00
	vapor sódio	250	35,54	31,37	24,60	26,61		50,00	30,00	
	vapor sódio	360	41,74	45,00	32,90	36,04		44,50	39,90	36,00
Reatores	p/ lâmp. VM	80		18,35	15,20	16,48		19,87		15,60
	p/ lâmp. VM	125		20,40	16,80	18,75		21,00		16,60
	p/ lâmp. VM	250		31,91	26,30	26,45		29,8		
	p/ lâmp. VM	400		38,49	32,00	29,14		34,36		36,00
	p/ lâmp. VS	250		64,59	52,90					
	p/ lâmp. VS	400	57,86	76,08	62,90			95,00	57,62	
Luminária	padrão I1		43,58					11,33	11,00	48,62
	padrão I2		99,22					75,00	56,74	
	padrão I3		99,22					75,00	56,74	
Braço	p/ lum. padrão I1		8,50			6,58		15,00	9,00	9,10
	p/ lum. padrão I2							45,00	27,20	
	p/ lum. padrão I3							72,00		53,50
	Relé fotoelétrico NF		9,71	10,00	6,90	8,05		12,60	10,50	9,90

Fonte: Comércio de material elétrico de Maceió, 1997.

Custo financeiro. Tomou-se uma taxa de juros de 12% ao ano para efeito de remuneração do capital investido no sistema de iluminação pública. Este valor, embora muito aquém dos patamares atualmente cobrados no mercado financeiro nacional, em geral é, sem dúvida, o mais adequado, levando-se em conta a natureza do investimento, além de sua duração. Neste trabalho, a taxa de 12% a.a. foi sempre utilizada indistintamente como taxa de juro ou de desconto.

Custos da potência máxima e da energia. Foram considerados os seguintes valores de custos unitários: R\$ 66,77/MWh e R\$ 6,23/kWh. O primeiro valor corresponde à tarifa de energia B4a,

específica para iluminação pública; já o segundo, corresponde à tarifa de suprimento em 13,8 kV (CEAL, 1998).

Tabela 4.2 – custos de mão de obra para manutenção do sistema de iluminação pública,

Descrição	Potência (W)	Custo de mão-de-obra R\$
Lâmpada	mista	3,01
	vapor mercúrio	3,01
	vapor mercúrio	3,01
	vapor mercúrio	3,01
	vapor mercúrio	3,01
	vapor sódio	3,01
	vapor sódio	3,01
Reatores	p/ lâmp. VM	4,22
	p/ lâmp. VM	4,22
	p/ lâmp. VM	4,22
	p/ lâmp. VM	4,22
	p/ lâmp. VS	4,22
	p/ lâmp. VS	4,22
Luminárias	padrão I1	1,50
	padrão I2	2,50
	padrão I3	3,00
Braços	p/ lum. padrão I1	4,00
	p/ lum. padrão I2	7,00
	p/ lum. padrão I3	7,50
Relé fotoelétrico NF		1,50

Fonte: SIMA, 1998.

Convém esclarecer que os procedimentos de análise desenvolvidos com este trabalho são gerais, e que os valores acima mencionados foram empregados na aplicação e podem ser alterados a qualquer tempo, se for necessário, para que os resultados se ajustem melhor à realidade vigente.

4.2 Cálculo das perdas de potência

Para avaliar as perdas de potência no sistema de distribuição em decorrência da demanda de

energia por parte do sistema de iluminação pública, se elaborou uma planilha eletrônica baseada no método aproximado que é apresentado por SOUZA (1997). O método é muito simples, embora tenda a subestimar as perdas, pelo fato de adotar o chamado *modelo plano de perfil de tensão*, ou seja, por considerar que a queda de tensão ao longo do alimentador seja desprezível. Optou-se por esse método simplificado pelo fato do estudo ser de planejamento. Em estudos dessa natureza, a precisão com que os dados geralmente são disponíveis é baixa.

Os cálculos se limitam às perdas no alimentador primário, não se tem informação detalhada de como a carga efetivamente se distribui na rede secundária, o que inviabiliza o cálculo exato das perdas nessa. As perdas nos transformadores de distribuição e na rede secundária são estimadas por correlação usando fatores universais. Segundo PABLA (1981), para cada 4 kW de potência perdida no alimentador primário se perdem 2 kW na rede secundária e 3 kW nos transformadores de distribuição. Com os avanços na tecnologia de materiais dessas duas últimas décadas, aumentaram a eficiência dos transformadores, mesmo assim, a correlação entre as perdas nos transformadores de distribuição e no alimentador primário é da ordem de um para dois.

Perdas de potência no alimentador primário

O estudo analítico de perdas, que é feito por Souza (1997), diz respeito a um alimentador uniforme (impedância por unidade de comprimento constante) com carga contínua genérica expressa em termos de uma função densidade linear de carga, $s(y)$. A variável independente y é a coordenada de um ponto genérico do alimentador com referência ao seu início (fig. 4.1). Se as cargas são expressas em kVA, e os comprimentos em km, a unidade de $s(y)$ é o kVA/km.

A carga total correspondente à carga distribuída a jusante de um ponto qualquer y entre o início ($y=0$) e o fim ($y=l$) do alimentador é:

$$S(y) = \int_y^l s(\gamma) d\gamma, \quad 0 \leq y \leq l \quad (4.1)$$

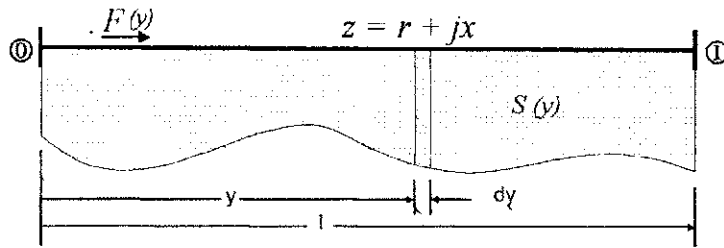


Fig. 4.1 Alimentador com carga contínua.

Essa função é denominada de *carga acumulada*. Considerando toda a carga do alimentador concentrada em seu extremo, as perdas são:

$$\mathcal{P} = RI^2$$

ou

$$\mathcal{P} = lr \frac{S_T^2}{V^2(0)}$$

onde r corresponde à resistência por unidade de comprimento do alimentador.

Ao desconsiderar a variação de tensão ao longo do alimentador, ou seja, ao supor que em todos os pontos do alimentador a tensão seja igual a do início:

$$V(y) = V(0), \quad 0 < y \leq l,$$

as perdas unitárias de potência ativa podem ser aproximadas por:

$$\mathcal{P} = lH S_T^2$$

onde S_T é a potência da carga e

$$H = \frac{r}{V^2(0)}$$

são as perdas unitárias, ou seja, as perdas por unidade de carga ao quadrado e de comprimento do alimentador.

Desse modo, as perdas num trecho infinitesimal do alimentador são:

$$d\mathcal{P} = HS^2(y)dy$$

e no alimentador completo

$$\mathcal{P} = \frac{r}{V^2(0)} \int_0^l S^2(y)dy. \quad (4.2)$$

Quando a queda de tensão ao longo do alimentador não é desprezada, as perdas diferem daquelas que são determinadas pela eq. (4.2). Na verdade são maiores, pois

$$P = r \int_0^l \left(\frac{F(y)}{V(y)} \right)^2 dy . \quad (4.3)$$

Na equação (4.3), $F(y)$ é o fluxo no alimentador. Para $y < l$, $F(y) > S(y)$. Ou seja, em qualquer ponto, exceto o extremo do alimentador, o fluxo é maior que a carga acumulada. De fato, se $S(y)$ são as perdas de potência aparente no trecho a jusante de ponto y , elas se relacionam com as perdas de potência ativa nesse mesmo trecho por:

$$S(y) = \frac{z}{r} P(y) . \quad (4.4)$$

Logo,

$$F(y) = S(y) + S(y) . \quad (4.5)$$

Continuando a comparar os valores das perdas dados pelas eqs. (4.2) e (4.3), se observa que a diferença se deve também ao fato de

$$V(y) \leq V(0), \quad 0 < y \leq l .$$

Não seria assim, se houvesse predominância capacitiva das cargas ou regulador de tensão instalado. De todo modo e via de regra $V(y) \neq V(0)$.

A figura 4.2 é a representação gráfica, sem escala, das relações fasoriais dos sinais no ponto genérico de coordenada y de um alimentador trifásico. Nessa figura

$$I(y) = \frac{F(y)}{\sqrt{3}V(y)} \quad (4.6)$$

é a corrente pelo ponto considerado. Se $F(y)$ é o fluxo de potência trifásica total em MVA e $V(y)$ é a tensão de linha em kV, então $I(y)$ é a corrente de linha em kA.

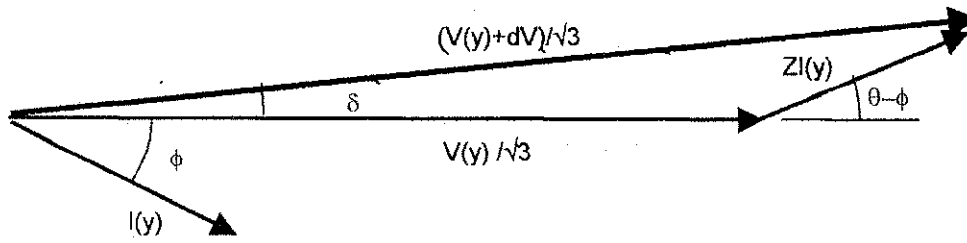


Fig. 4.2 Diagrama fasorial dos sinais num ponto genérico do alimentador da fig. 4.1.

De acordo com o diagrama da fig., 4.2, o módulo das tensões em pontos separados por uma distância infinitesimal dy , se relacionam pela seguinte equação bi-quadrada:

$$V^2(y+dy) = V^2(y) + Z^2 I^2(y) + 2ZI(y)V(y)\cos(\theta - \phi) \quad (4.7)$$

ou seja,

$$V^2(y+dy) = V^2(y) + \frac{Z^2 F^2(y)}{V^2(y)} + 2ZF(y)\cos(\theta - \phi) \quad (4.8)$$

Para que se possa empregar o computador digital, a carga contínua do alimentador precisa ser discretizada, o que pode ser feito em intervalos regulares Δl . Assim, as eq. (4.3) e (4.8) são reescritas como

$$\mathcal{P} = r \Delta l \sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i}{V_i} \right)^2, \quad (4.9)$$

$$V_{i-1}^2 = V_i^2 + \frac{Z^2 F_i^2}{V_i^2} + 2ZF_i \cos(\theta - \phi) \quad (4.10)$$

Na equação (4.9) n é o número de trechos, todos de extensão Δl , em que o alimentador de comprimento l tenha sido dividido, isto é $n = l/\Delta l$, i é qualquer um desses trechos ($i = 1, 2, \dots, n$). As variáveis V_i e F_i se referem ao trecho i . A primeira é o módulo da tensão no fim do trecho e a segunda é o fluxo de potência aparente no trecho.

A equação (4.9) expressa as perdas totais do alimentador em função do perfil de tensão, que pode ser levantado empregando-se a equação (4.10) como fórmula recursiva num processo iterativo que a partir da estimativa da tensão na barra terminal se possa calcular a tensão em todos os pontos

intermediários do alimentador do fim para o início. O desvio entre as tensões calculadas e especificadas na barra da subestação é utilizada para corrigir a estimativa inicial da tensão no fim do alimentador. Esse processo iterativo é de convergência fácil e termina quando o desvio torna-se menor que uma tolerância pré-especificada. O exemplo numérico a seguir esclarece ainda melhor o processo:

Exemplo 4.1

Um alimentador primário de 13,8 kV e 10 km de extensão é constituído de cabo de impedância $0,4+j0,5 \Omega/\text{km}$. A carga do alimentador de 2597,6 kVA pode ser considerada contínua, mas foi concentrada em intervalos regulares de 0,5 km, para efeito de cálculo e é apresentada na tab. 4.3. O fator de potência é de 0,85. Calcular as perdas de potência no alimentador:

Tab. 4.3 Carga do alimentador do exemplo 4.1 discretizada em intervalos regulares,

i	y_i , km	S_i , kVA	i	y_i , km	S_i , kVA	i	y_i , km	S_i , kVA
0	0,0	0,0	7	3,5	84,1	14	7,0	117,7
1	0,5	166,5	8	4,0	137,2	15	7,5	127,1
2	1,0	175,5	9	4,5	137,2	16	8,0	119,6
3	1,5	162,8	10	5,0	88,9	17	8,5	93,8
4	2,0	155,3	11	5,5	127,5	18	9,0	73,1
5	2,5	139,1	12	6,0	169,7	19	9,5	93,8
6	3,0	87,3	13	6,5	165,8	20	10,0	175,7

Neste caso, o alimentador foi dividido em 20 trechos ($=10/0,5$). Como $r = 0,4$ e $x = 0,5 \Omega/\text{km}$, então $\theta = \text{tg}^{-1}(x/r) = 51,3^\circ$. Por outro lado, $\phi = \cos^{-1}(0,85) = 31,79^\circ$. Logo, $\theta - \phi = 19,6^\circ$ e $\cos(\theta - \phi) = 0,942$.

Antes de se calcular as perdas de potência, levanta-se o perfil de tensão pelo método iterativo apresentado acima, o qual foi implementado numa planilha eletrônica. O perfil de tensão é mostrado na fig. 4.3. A convergência foi alcançada com desvio da ordem de 10^{-8} em apenas 3 iterações.

As perdas de potência calculadas pelos métodos exatos e aproximados são respectivamente 16,15 kW e 15,54 kW.

O erro inerente ao método de cálculo das perdas baseado no modelo do perfil plano de tensão é de 3,8%, portanto, não chega a ser o dobro da queda de tensão máxima, que é de 2,5%.

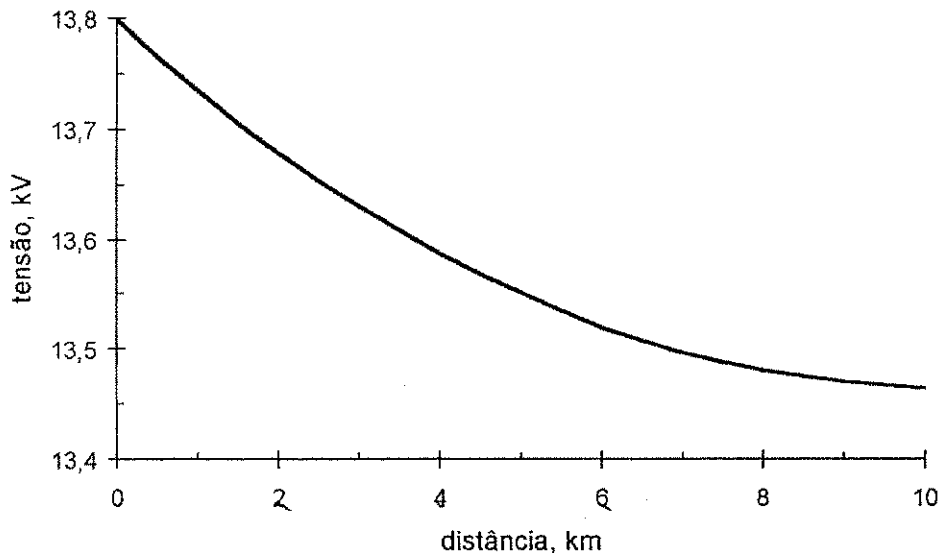


Fig. 4.3 Perfil de tensão do alimentador do exemplo 4.1.

4.3 Cálculo das perdas de energia

Para efeito de cálculo das perdas de potência são necessários apenas os valores de pico de potência da carga. Entretanto, para cálculo das perdas de energia, essas informações são insuficientes. Precisa-se conhecer como as cargas ao longo do alimentador variam com o tempo, ou seja, precisa-se das curvas de carga de todas as cargas do alimentador, o que evidentemente nunca são dados acessíveis. De fato, a curva de carga que se dispõe é a do alimentador como um todo, registrada na subestação. Na prática, essa dificuldade é contornada fazendo-se a hipótese de que todas as cargas tenham curvas de cargas individuais semelhantes à do alimentador como um todo. Desse modo, é possível e mais conveniente se trabalhar com a *curva de duração de carga* (GÖNEN, 1981).

A curva de carga diária do alimentador não é a mesma todos os dias da semana, mas a

diferença só é mais significativa comparando-se a curva de carga de um dia útil com a de um dia de fim de semana ou feriado. Portanto, deve-se considerar duas curvas de cargas distintas: uma que seja representativa de um dia útil, outra que seja representativa de fim de semana.

As perdas de energia correspondem à área abaixo da curva de perda de potência. Para simplificar o problema, é usual segmentar a curva de carga ou a curva de duração de carga, em intervalos, em números de dois a seis. As perdas de potência são calculadas em cada um desses intervalos. Já as perdas totais é a soma das perdas de energia em cada intervalo, que se obtém pelo produto das perdas de potência pelo tempo correspondente ao intervalo.

Outra vez se recorrerá a um exemplo ilustrativo para esclarecer o procedimento de estimação das perdas de energia.

Exemplo 4.2

Calcular as perdas anuais de energia no alimentador primário do exemplo 4.1, sabendo que suas curvas de duração de carga típicas são aquelas da fig. 4.4.

A partir das curvas da fig. 4.4 são criadas as curvas de duração de carga normalizadas e segmentadas que se vêem na fig. 4.5. Apenas dois horários de carga são considerados aqui: os chamados *horário de pico* e *horário fora-de-pico*. O resultado da segmentação das curvas são apresentados na tab. 4.4.

Para se determinar as perdas de energia, calculam-se antes as perdas de potência nas quatro diferentes condições de operação indicadas na tab. 4.4. Fazendo-se isso, se obtém as perdas diárias de energia (tab. 4.5).

Tab. 4.4 Resultado da segmentação das curvas de duração de carga do exemplo 4.2.

Horário		de pico	fora de pico
dia útil	carga	84,6%	40,3%
	duração	9,5 h	14,5 h
fim de semana	carga	54,6%	20,4%
	duração	5,5 h	18,5 h

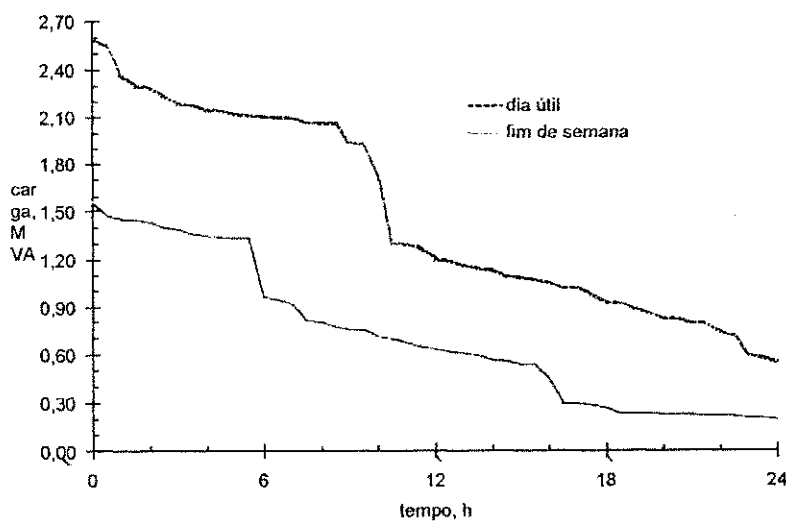
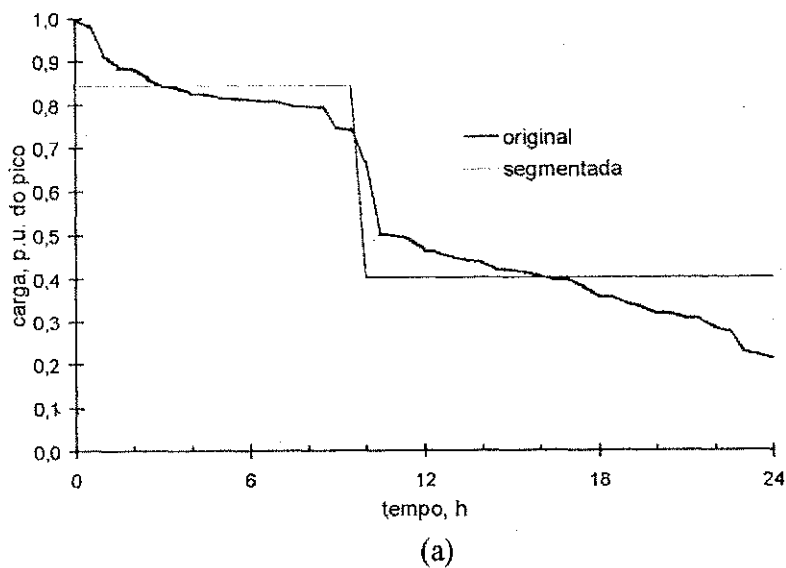
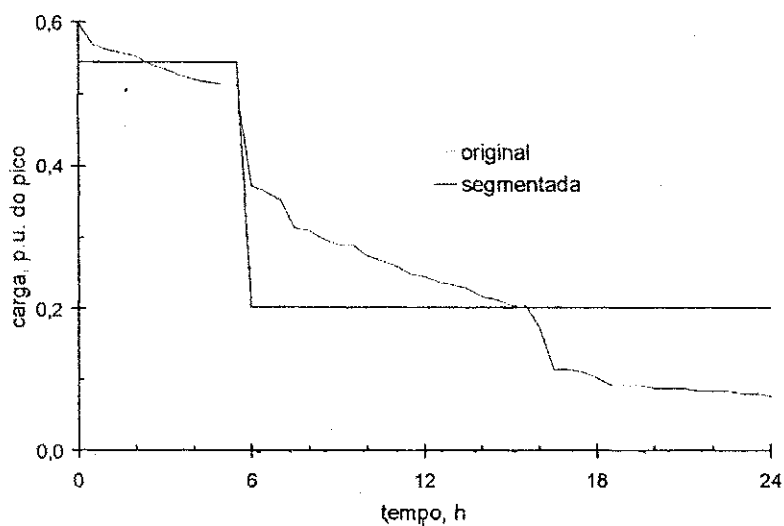


Fig. 4.4 Curvas de duração de carga do exemplo 4.2.



(a)



(b)

Fig. 4.5 Curvas de duração de carga normalizadas. (a) Dia útil e (b) fim de semana.

Tab. 4.5. Perdas de potência e perdas diárias de energia no alimentador do exemplo 4.2.

Horário	de pico	fora de pico	
dia útil	Carga, % do pico	84,6	40,3
	Duração, hora	9,5	14,5
	Perda de potência, kW	11,49	2,56
	Perda de energia, kWh/dia	109,16	37,12
fim de semana	Carga, % do pico	54,6	20,4
	Duração, hora	5,5	18,5
	Perda de potência, kW	4,73	0,65
	Perda de energia, kWh/dia	26,02	12,03

Estimando-se que 250 dias do ano sejam úteis e portanto 115 sejam sábados, domingos e feriados, as perdas anuais de energia são:

$$\mathcal{E} = 250 \times (109,16 + 37,12) + 115 \times (26,02 + 12,03)$$

ou seja,

$\xi = 40,95$ MWh/ano.

Essas são as perdas de energia no alimentador. Pelo menos outra parcela de energia se perde nos transformadores de distribuição e na rede de distribuição secundária.

Como ficou evidente com o exemplo anterior, para cálculo das perdas de energia são necessários os seguintes dados do alimentador:

- Tensão nominal;
- Impedância e comprimento de cada trecho;
- Configuração;
- Curvas de cargas típicas.

Já com respeito as cargas, precisa-se de:

- Demanda máxima;
- Fator de potência;
- Fator de distribuição da carga,

O algoritmo básico para cálculo das perdas de energia é o seguinte:

1. Criar as curvas de duração de carga do alimentador.
2. Normalizar e segmentar as curvas de duração de carga, determinando os fatores de carga (percentagem do pico de carga do alimentador) e as durações (horas/dia) dos diferentes níveis de carga.
3. Calcular as perdas de potência correspondentes aos vários níveis de carga.
4. Calcular as perdas anuais de energia (kWh/ano) multiplicando-se as durações (horas/ano) dos vários níveis de carga, pelas perdas de potência (kW) correspondentes.

Quando o fator de demanda individual não é conhecido, mas apenas a carga instalada, a demanda máxima pode ser estimada empregando-se o fator de utilização do alimentador.

Para segmentação da curva de duração de carga, elaborou-se uma planilha Excel[®] com base nos princípios do método proposto por Loney (1971). A segmentação *ótima* é obtida utilizando-se o Solver[®].

Capítulo 5

ESTUDO DE CASO

Iluminação pública traduz segurança, conforto e melhor qualidade de vida para os habitantes de uma cidade. Embora seja absolutamente imprescindível nos dias de hoje, a iluminação pública deve reunir as seguintes características: *qualidade* (deve iluminar as vias de forma uniforme em níveis satisfatórios), *eficiência* (não deve desperdiçar energia) e sobretudo, *viabilidade econômica*.

Assim, para solucionar os problemas energéticos e econômicos que advém a necessidade de escolher qual o sistema de iluminação pública mais conveniente a ser empregado, faz-se necessário dispor de ferramentas que auxiliem nessa tomada de decisão.

Este trabalho consiste na elaboração de um procedimento computadorizado de análise de sistemas de iluminação pública. Ele se desenvolve utilizando como ferramenta principal a planilha eletrônica Excel[®]. É um estudo de simulação digital compreendido em três etapas. Inicialmente, as características do sistema na sua configuração atual são levantadas e todos os custos associados são quantificados em valores monetários. Esta etapa inicial é denominada de

caso base, justamente porque é a partir dele que são criados os cenários do sistema. A criação dos cenários é a segunda etapa do estudo. Na terceira e última etapa, as alternativas são comparadas sob o ponto de vista econômico.

Os cenários devem ser alternativas tecnicamente equivalentes ao caso base. Isto é, são configurações alternativas com mesmo desempenho técnico, ou até melhor. Nunca pior. Portanto, o nível médio de iluminância em todos os casos devem ser aproximadamente o mesmo. Para se estabelecer a equivalência entre as lâmpadas se deve comparar suas características, as quais se apresentam na tabela 5.1. em conformidade com DIBRÁS (1992).

Tab. 5.1 Características de lâmpadas e de reatores.

lâmpada	vida útil (10 ³ hora)	potência (W)		fluxo luminoso (10 ³ Lm)	rendimento (Lm/W)
		nominal	efetiva ¹		
mista	8	250	250,0	5,5	22,0
	15	400	439,5	22,0	50,1
vapor de mercúrio	15	250	277,7	12,5	45,0
	15	125	140,5	6,0	42,7
	12	80	90,9	3,5	38,5
vapor de sódio	24	250	277,0	26,0	93,9
	24	150	176,0	14,5	82,4
	24	70	85,0	6,0	70,6
	24	50	62,0	3,4	54,9

¹ equivalente à potência nominal mais as perdas no reator.

A tabela 5.2, criada a partir da tabela 5.1, define como as lâmpadas devem ser substituídas para que o sistema de iluminação seja renovado do modo mais econômico possível, sem que haja diminuição do fluxo luminoso. No caso da substituição da lâmpada de vapor de mercúrio de 80W pela de vapor de sódio de 70W há um aumento exagerado de 41,3% no fluxo luminoso. Entretanto a única alternativa disponível seria empregar a lâmpada de vapor de sódio de 50W na substituição, o que contrariaria o critério de não reduzir o fluxo luminoso, mesmo num percentual muito reduzido (2,9% no caso).

Tab. 5.2 Diretriz para substituição de lâmpadas.

lâmpada original		lâmpada substituta		aumento de fluxo luminoso
tipo	potência (W)	potência (W)	tipo	
mista	250	70	vapor de sódio	8,3%
vapor de mercúrio	80	70		41,3%
	125	70		0,0%
	250	150		13,8%
	400	250		15,4%

Aqui cabe um esclarecimento quanto as formas de substituição de um equipamento do sistema. A *reposição* é a mera substituição de um equipamento por outro novo e idêntico. A *renovação* é a substituição do equipamento por outro de maior eficiência. Usualmente é comum, reporem-se equipamentos danificados, enquanto que a renovação se faz de equipamento danificados ou não. A reposição de equipamentos não danificados, pode ocorrer em casos especiais, durante a manutenção preventiva do sistema, quando o custo da interrupção de serviço é muito alto, sendo indicado evitar o risco de sua ocorrência. Portanto, *manutenção* do sistema é uma operação de reposição de equipamentos, enquanto a *renovação* do sistema é diferente, pois implica renovação de equipamento.

5.1 Um estudo de aplicação

A metodologia descrita antes será aplicada ao estudo do alimentador 007 da subestação de Pinheiro da CEAL, cujo diagrama esquemático de barra é mostrado na fig. 5.1. Para o estudo da viabilidade técnico-econômica de alternativas do sistema de iluminação pública da cidade Maceió se tomará esse alimentador como protótipo. Para tanto se levantará a configuração atual do alimentador através de seu diagrama unifilar e de outros dados técnicos, administrativos, financeiros e comerciais fornecidos pela CEAL e pela SIMA. Todas essas informações foram organizadas numa planilha eletrônica da forma explicada adiante.

Nesta aplicação dois cenários serão criados. No primeiro, 50% da configuração atual

será renovada de imediato e os 50% restantes após dois anos. No segundo cenário, a renovação é total e imediata, isto é, 100% da configuração é renovada no ano zero.

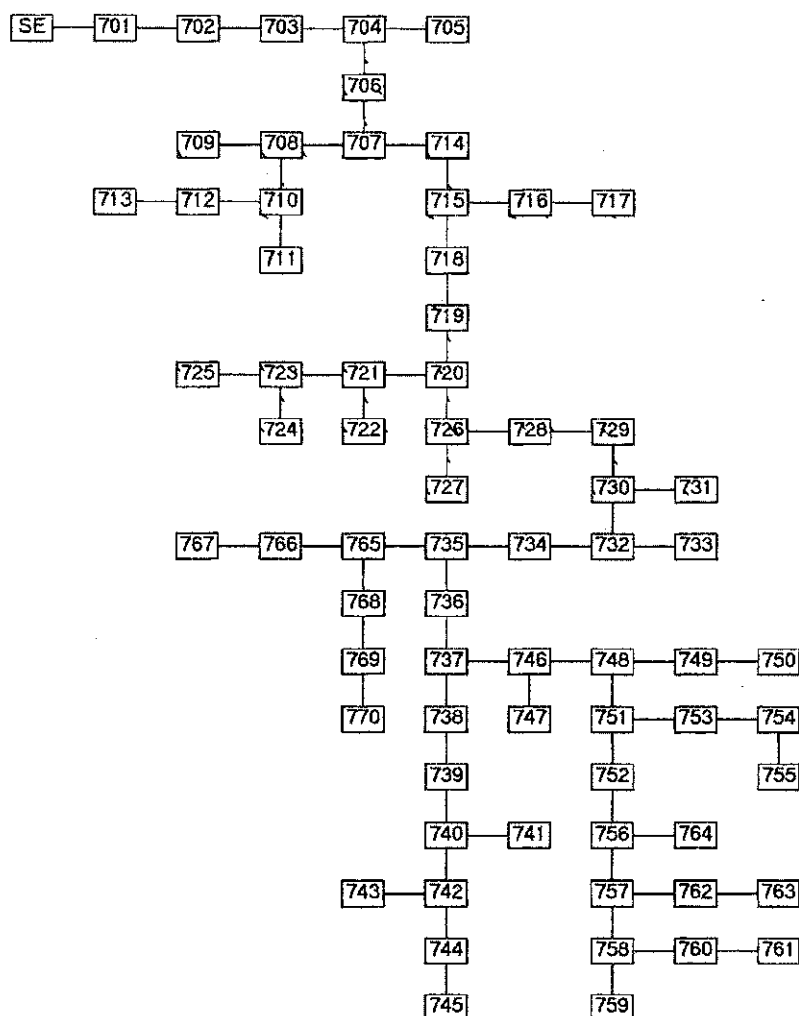


Fig. 5.1 Diagrama esquemático de barra do alimentador PNO007.

5.2 Construção da base de dados

A base de dados consta de quatro planilhas eletrônicas, num único arquivo, denominadas de *curva de carga*, *configuração atual*, *custo de manutenção* e *perdas*.

Na planilha *curva de carga* processa-se a curva de carga do alimentador levantada na subestação. Isto é, se segmenta-a, determinam-se as demandas máxima e média, e calculam-se as o fator de demanda e o fator de carga do alimentador. Também cria-se a curva de carga com a demanda da iluminação pública excluída. Essa segunda curva de carga será útil na determinação

do custo marginal das perdas associadas à iluminação pública.

A planilha *configuração atual* contém dados gerais do alimentador, de lâmpadas e reatores e também dados específicos de cada trecho. Os primeiros são:

- tensão nominal,
- fator de potência médio,
- fator de demanda,
- fator de carga

As potências nominais dos vários tipos de lâmpada empregados, ou que se cogita empregar, e as perdas dos reatores respectivos formam o segundo conjunto de dados. Finalmente, o terceiro conjunto compreende registros, em número igual ao de trechos do alimentador, de 27 campos, os quais são descritos na tab. 5.3.

Tab. 5.3 Estrutura dos dados específicos.

grupo	campo		descrição
	rótulo	n°	
trecho	inicial	1	Identificação do ponto inicial do trecho.
	final	2	Identificação do ponto final do trecho.
	cabo	3	Tipo e seção transversal [mm ²] do cabo utilizado no trecho.
	comprimento	4	Comprimento [m] do trecho.
transformador	posto	5	Número de identificação do transformador.
	kVA	6	Potência do transformador [kVA].
	postes	7	Quantidade de postes da rede secundária ligada a este transformador.
luminárias	I1, I2, I3	8-10	Quantidade de luminárias dos padrões I1, I2 e I3 respectivamente.
lâmpadas	mista, vapor de mercúrio, vapor de sódio	11-19	Quantidade de lâmpadas por tipo e potência: mista de 250W, vapor de mercúrio de 80, 125, 250 e 400W, além da vapor de sódio de 50, 70, 250 e 360W.
potência de iluminação	W	20	somatório das potências nominais das lâmpadas empregadas no trecho acrescidas das perdas dos reatores respectivos, [W].
	kVA	21	Potência aparente [kVA] correspondente ao valor do campo 18. Estimação com base no fator de potência médio do alimentador (de valor igual a 0,91, segundo dados da CEAL).
potência instalada	kVA	22	somatório das potências nominais de todos os transformadores (da concessionária e de consumidores) ligados no trecho.

Tab. 5.3 Continuação.

grupo	campo		descrição
	rótulo	n°	
demanda total	máxima	23	Calculada multiplicando-se a potência instalada pelo fator de demanda. Este fator foi obtido através da divisão da corrente de pico (indicada na curva de carga do alimentador, fornecida pela CEAL) pela corrente total instalada.
	média	24	Calculada multiplicando-se a demanda máxima pelo fator de carga do alimentador. Este fator foi calculado através da divisão da potência média pela potência de pico, obtidas a partir da curva de carga.
potência diurna	p. diurna	25	Diferença entre potência total instalada e a potência de iluminação.
demanda diurna	máxima	26	Calculada multiplicando-se a potência instalada pelo fator de demanda. Este fator foi obtido através da divisão da potência de pico diurna (indicada na curva de carga do alimentador, fornecida pela CEAL) pela potência total instalada.
	média	27	Calculada multiplicando-se a demanda máxima pelo fator de carga diurna do alimentador. Este fator foi calculado através da divisão da potência média diurna pela potência de pico diurna, obtidas a partir da curva de carga.

Em pesquisa realizada na concessionária, se constatou que o banco de dados do sistema de iluminação era incompleto. Para completá-lo se utilizou a quantidade média de lâmpadas por transformador. Esta média foi calculada somando-se o número de postes das redes secundárias suprida pelos transformadores de cada classe de potência e dividindo-se esse valor pela quantidade de transformadores da mesma classe.

5.3 A curva de carga do alimentador

A curva de carga do alimentador, corrente versus tempo, que é medida na subestação, foi segmentada em três horários (fig. 5.2). Como a tensão no início do alimentador se mantém aproximadamente constante e igual à tensão nominal de 13,8 kV é possível converter a curva de carga original para potência versus tempo (escala da direita do gráfico da fig. 5.2).

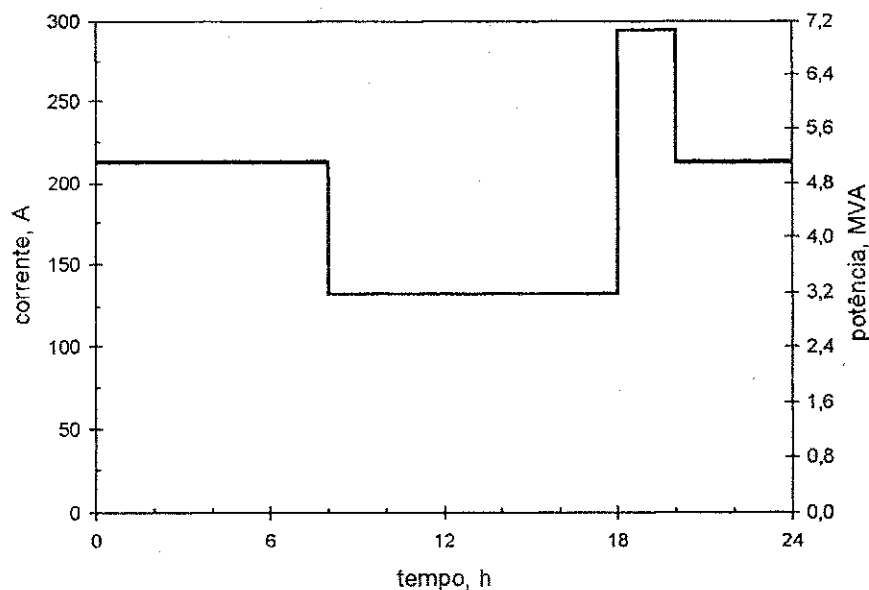


Fig. 5.2 Curva de carga segmentada do alimentador.

Outros dados gerais do alimentador são reunidos na tabela 5.4, alguns dos quais extraídos da própria curva de carga.

Tab. 5.4 Dados gerais do alimentador PNO007.

dado	valor
Tensão nominal, kV	13,8
Espaçamento equilateral equivalente, m	1,41
Fator de potência	0,91
Carga instalada, MVA	15,76
Demanda máxima, MVA	7,05
Fator de demanda, %	44,7
Fator de carga, %	63,3

Para avaliar a repercussão da iluminação sobre as perdas do sistema se comparam as perdas, tanto de potência quanto de energia, nas seguintes situações: (i) Com o sistema completo, isto é, considerando-se todas as cargas, inclusive a de iluminação pública. (ii) Descontando-se a carga de iluminação, o que resulta na curva de carga da fig. 5.3. A diferença entre as perdas calculadas numa situação e noutra é o que se denomina *responsabilidade* (do sistema de iluminação) *sobre as perdas* totais no alimentador. Ao expressar esta diferença em valores monetários se tem o *custo marginal da iluminação pública* relativo a perdas.

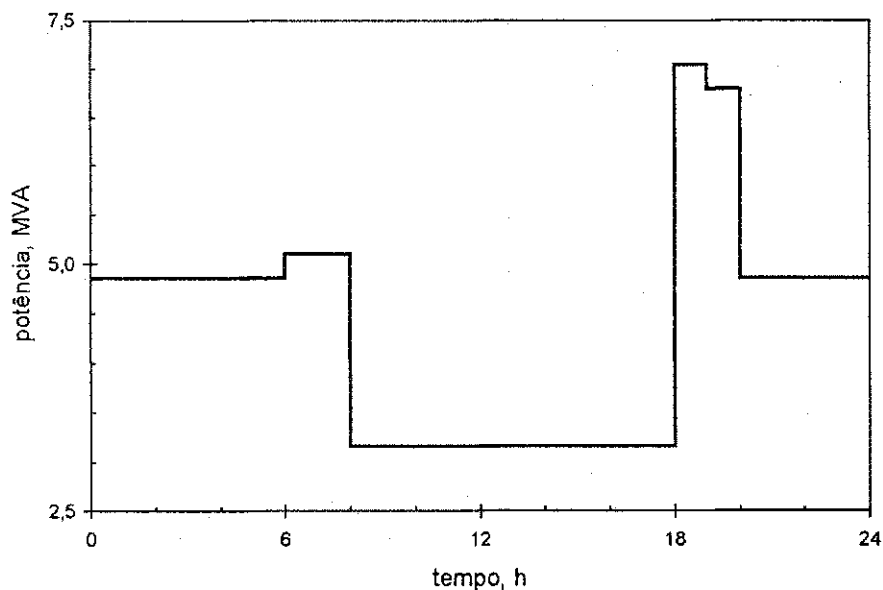


Fig. 5.3 Curva de carga do alimentador PNO007, com desconto da carga de iluminação pública.

5.4 Cálculo das perdas

Os cálculos das perdas de potência serão feitos empregando-se o método simplificado que foi discutido na seção 4.2. Uma dificuldade de ordem prática é o fato das demandas máximas individuais das várias cargas não serem disponíveis. Exceção é a carga de iluminação pública, por ter fator de carga de 100% durante as 12 horas aproximadas em que permanece ligada. Outra característica da carga de iluminação é seu fator de demanda de 100%. Portanto a demanda máxima da iluminação pública é igual à carga instalada, conhecida. A dificuldade será contornada considerando-se que as cargas em geral tenham fator de demanda igual ao do alimentador. Essa hipótese equivale a supor que o fator de diversidade do alimentador seja unitário.

O cálculo das perdas de potência do alimentador é feito de uma só vez, considerando as demandas máximas individuais, que ocorrem depois das 17 horas até as 19 horas, horário em o pico de carga do alimentador é da ordem de 7 MVA, independentemente da participação da carga de iluminação pública. A responsabilidade da iluminação pública nas perdas de potência foi calculada em 2,65 kW.

Para calcular a responsabilidade da iluminação pública nas perdas de energia é necessário calcular as perdas de potência nos horários do dia em que a carga é diferente. As perdas de energia é simplesmente o somatório dos produtos das perdas pelas respectivas horas de duração de cada intervalo. Conforme a fig. 5.3 são cinco os intervalos a se considerar. As cargas nos vários intervalos, em percentagem do pico de carga (7,05 MVA) são vistas na tab. 5.5.

A responsabilidade da iluminação pública nas perdas de energia no alimentador primário foram calculadas em 25,8 MWh/ano. Esse resultado pode ser estendido para o resto do sistema, estimando-se as perdas na rede secundária mais transformadores de distribuição, de acordo com indicadores universais, como de um para um, conforme discutido no capítulo 4. Ou seja, a

responsabilidade da iluminação pública nas perdas de energia do sistema de distribuição é da ordem de 51,6 MWh/ano.

Tab. 5.5 Níveis de carga do alimentador PNO007.

intervalo	duração	carga completa	descontada a carga de iluminação
6 – 8	2 h	72%	72%
8 – 18	10 h	45%	45%
18 – 19	1 h	100%*	100%
19 – 20	1 h	100%	97%
20 – 6	10 h	72%	69%

* 100% = 7,05 MVA

5.5 Levantamento de custos

Os principais custos relacionados com o sistema de iluminação pública são esquematizados na fig. 5.4. Existem vários outros, tais como encargos sociais, impostos, treinamento de mão de obra, os quais podem, de algum modo, ser incorporados aos custos principais. Por exemplo, o custo de transporte de equipamento, pode ser agregado ao custo do equipamento; encargos sociais a custo de mão de obra e assim por diante. Com respeito ao caso estudado em particular, os custos considerados são esquematizados na tab. 5.7.

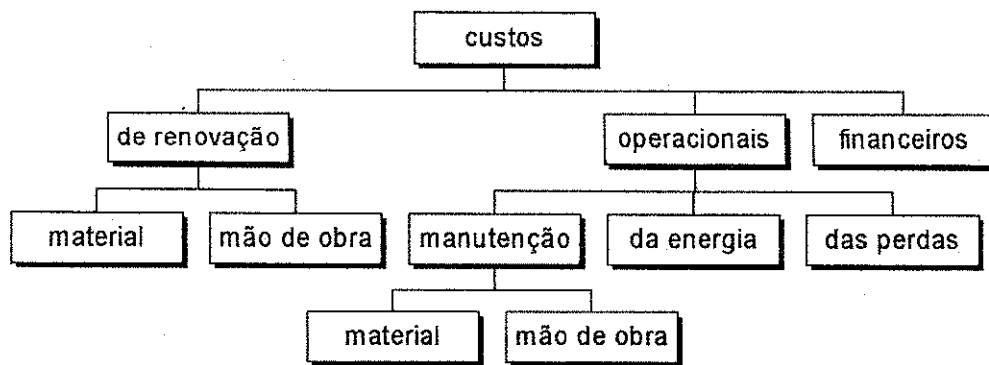


Fig. 5.4 Custos relacionados com a iluminação pública.

5.5.1 Custos das perdas

Para se converterem as perdas de energia em valores monetários se emprega diretamente a tarifa de energia para iluminação (tarifa B4a) cujo valor é R\$ 66,77/MWh. Deste modo, se conclui que o custo das perdas de energia é de R\$ $3,45 \cdot 10^3$ /ano. A tarifa B4a, pode ser empregada indiretamente para expressar as perdas de potência em unidades monetárias. Considerando-se que o sistema de iluminação pública opera 12 horas/dia ou $4,38 \cdot 10^3$ horas/ano, as perdas de potência de 2,65 kW correspondem a 11,6 MWh, ou seja, custam R\$ $0,77 \cdot 10^3$ /ano.

Os custos das perdas associadas às configurações alternativas que definem os cenários foram calculados seguindo o mesmo procedimento descrito antes e são apresentados na tab. 5.6.

Tab. 5.6 Comparativo das alternativas de iluminação pública via o alimentador PNO0007.

confi- guração	reno- vação	perdas		custo (R\$ 10^3 /ano)		
		potência (kW)	energia (MWh/ano)	potência	energia	total
base	—	2,65	51,7	0,77	3,45	4,23
alterna- tiva 1	50%	2,33	49,5	0,68	3,30	3,99
alterna- tiva 2	100%	2,02	47,2	0,59	3,16	3,75

5.5.2 Custos da manutenção

Os custos de manutenção subdividem-se em *custo de material* e *custo de mão de obra*. Os primeiros serão levantados aqui tomando-se a média dos preços praticados no comércio de Maceió (tab. 4.1). Os custos de mão de obra serão calculados de acordo com a experiência da SIMA (tab. 4.2).

As taxas de reposição de equipamentos serão definidas com base em suas vidas úteis:

$$r = \frac{4,38}{T} 100, \quad (5.1)$$

sendo r a taxa anual de reposição do equipamento em percentagem, 4,38 são os milhares de horas por ano em que o sistema de iluminação permanece em operação e T é a vida útil do equipamento, também em milhares de horas.

A equação (5.1) se aplica a lâmpadas, reatores, ignitores e relés fotelétricos de sistemas a muito tempo em operação. Para sistemas novos, completamente ou parcialmente, a reposição dos equipamentos novos, se dá a uma taxa evidente bem menor. A fórmula deve ser ajustada usando um redutor. Não é simples estimar esse redutor, de modo que ele foi arbitrado em 30%. Luminárias e braços têm muito mais durabilidade e independem do tempo de operação do sistema. De fato, a vida útil desses equipamentos são determinadas pela intempérie e pelo vandalismo. A vida útil média das lâmpadas são conhecidas (tab. 5.1) e a dos reatores foram estimadas em 2 vezes maiores que a da lâmpada correspondente. A vida útil média dos relés fotelétricos foi estimada em 20 mil horas.

5.5.3 Custo da renovação

Como acontece com a manutenção, na rubrica de renovação há dois custos: material e mão de obra. Entretanto, além de serem conceitualmente diferentes, as implicações financeiras da manutenção e da renovação são diferentes. A primeira é feita de forma aleatória, ou

aproximadamente contínua, daí se tê-la processado através de uma taxa de reposição anual. A renovação, por outro lado, é feita em instante de tempo bem definido. Neste trabalho se considera que ela seja feita de uma só vez, ou alternativamente em duas vezes.

Para se calcularem os custo de renovação total do sistema, os dados são estruturados na tab. 5.7 e se supõe que os valores de alienação dos equipamentos substituídos sejam iguais a 20% de seus respectivos valores originais.

Tab. 5.7 Cálculo do custo da renovação completa.

compo- nente	tipo	preço original, R\$	quantidade			custo, R\$		
			inicial	final	insta- lada	material	mão de obra	total
lâmpada	mista	8.82	2	0	-2	-3.53	0.00	-3.53
	vapor mercúrio de 80W	7.87	217	0	-217	-341.56	0.00	-341.56
	vapor mercúrio de 125W	8.83	132	0	-132	-233.11	0.00	-233.11
	vapor mercúrio de 250W	17.44	274	0	-274	-955.71	0.00	-955.71
	vapor mercúrio de 400W	26.70	88	0	-88	-469.92	0.00	-469.92
	vapor sódio de 70W	25.19	0	351	351	8,841.69	1,056.51	9,898.20
	vapor sódio de 150W	29.67	0	274	274	8,129.58	824.74	8,954.32
	vapor sódio de 250W	33.02	59	147	88	2,905.76	264.88	3,170.64
	vapor sódio de 360W	39.44	134	134	0	0.00	0.00	0.00
reator para lâmpada de vapor	mercúrio de 80W	17.10	217	0	-217	-742.14	0.00	-742.14
	mercúrio de 125W	18.71	132	0	-132	-493.94	0.00	-493.94
	mercúrio de 250W	28.61	274	0	-274	-1,567.83	0.00	-1,567.83
	mercúrio de 400W	34.00	88	0	-88	-598.40	0.00	-598.40
	vapor sódio de 70W	25.19	0	351	351	8,841.69	1,481.22	10,322.91
	vapor sódio de 150W	29.67	0	274	274	8,129.58	1,156.28	9,285.86
	vapor sódio de 250W	58.75	59	147	88	5,170.00	371.36	5,541.36
	vapor sódio de 360W	69.89	134	134	0	0.00	0.00	0.00
luminária	padrão 11	28.47	343	343	0	0.00	0.00	0.00
	padrão 12	76.74	341	341	0	0.00	0.00	0.00
	padrão 13	76.74	222	222	0	0.00	0.00	0.00
braço para luminária	padrão 11	9.64	343	343	0	0.00	0.00	0.00
	padrão 12	36.10	341	341	0	0.00	0.00	0.00
	padrão 13	62.75	222	222	0	0.00	0.00	0.00
relé fotelétrico	normalmente fechado	9.67	906	906	0	0.00	0.00	0.00
<i>custo total da renovação completa</i>								41,767.15

5.5.4 Custo da energia

O custo da energia é o mais expressivo e ao mesmo tempo o que é calculado com maior

facilidade. Definiu-se como *potência efetiva* da lâmpada sua potência nominal acrescida das perdas de potência no reator correspondente.

Conhecendo-se potência efetiva e a quantidade de lâmpadas de cada tipo, se tem a potência instalada do sistema de iluminação. Como o fator de demanda é de 100%, a energia consumida pelo sistema de iluminação é igual a sua potência instalada vezes seu tempo de operação. O custo da energia se obtém, aplicando-se a tarifa B4a.

Para manter-se a compatibilidade com os outros custos, se considerou o tempo de operação do sistema de iluminação em um ano, que é de aproximadamente $4,38 \cdot 10^3$ horas, embora a conta de energia seja mensal. Isto será compensado posteriormente.

Há evidentemente alguma imprecisão no método de cálculo da energia consumida como foi feito aqui. Isto é, com base na potência efetiva das lâmpadas. Ao se fazer assim está se aceitando a hipótese de que o modelo da carga de iluminação seja completamente a potência constante. A energia é o item mais significativo na planilha de custo. Ela corresponde a cerca de 79,91% do custo total, conforme se constatará adiante na tabela 5.8. Portanto, seria interessante, pesquisar a influência do perfil de tensão do alimentador sobre a energia consumida pelo sistema de iluminação.

5.5.5 Custos financeiros

Os custos financeiros, ao contrário dos demais, não serão quantificados especificamente, mas serão considerados, a uma taxa de juro de 12% ao ano¹. A inflação é estimada em 10% ao ano, que corresponde a 0,799% ao mês. Isso equivale a considerar a moeda estável e utilizar uma taxa efetiva de 23,83% ao ano, ou de 1,797% ao mês. Os custos são todos sistematizados na tab. 5.7, para as três alternativas. Sendo que os valores que lá se apresentam são nominais. Os valores

¹ Esta é a taxa de juro real nominal. O que significa que o capital será remunerado em 1% ao mês. Para desconto, será empregada a mesma taxa.

anuais efetivos são maiores, uma vez que os custos são capitalizados ao mês. O procedimento de cálculo dos custos anuais efetivos será explicado a seguir.

Seja C_n um custo anual nominal, então o custo mensal correspondente é $C_n/12$. O custo anual efetivo, C_e , é o valor futuro da série uniforme de 12 pagamentos de valor $C_n/12$. Isto é,

$$C_e = \frac{C_n}{12} \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] \quad (5.2)$$

A parte da eq. 5.2 entre colchetes é o *fator de acumulação de capital através de uma série uniforme* (HESS et al, 1986).

No caso da correção monetária ser mensal como o período de capitalização, ela pode ser embutida na taxa de juros, ou seja, neste caso $i = 1,797\%$ e a razão entre os valores nominais e efetivos, de acordo com a eq. (5.2), é $\frac{C_e}{C_u} = 1,105$. Empregando-se esse fator corrigem-se os valores totais dos custos operacionais que constam da tab. 5.8, resultando na tab. 5.9.

Tab. 5.8 Consolidação dos custos nominais.

confi- guração	reno- vação	custos operacionais (R\$ 10 ³ /ano)				custos de renovação R\$ 10 ³
		perdas	energia	manutenção	total	
base	—	4,23	65,56	15,07	84,86	—
alterna- tiva 1	50%	3,99	57,87	12,75	74,61	20,88
alterna- tiva 2	100%	3,75	50,18	5,17	59,10	41,77

Tab. 5.9 Custos operacionais efetivos.

confi- guração	reno- vação	custos operacionais (R\$ 10 ³ /ano)	custos de renovação R\$ 10 ³
base	—	93,77	—
alterna- tiva 1	50%	82,44	20,88
alterna- tiva 2	100%	65,31	41,77

5.6 Análise econômica dos resultados

Agora que os custos totais das três alternativas estão completamente levantados pode-se compará-las. Será empregado o método do valor atual, discutido na seção 3.3. O fluxo de caixa ao fim de cada ano, durante um período de análise de quatro anos é esquematizado na tab. 5.10. Os valores da coluna a direita foram calculados usando a função VPL² do Excel[®]. Note-se que os valores que figuram não são corrigidos explicitamente. A correção monetária é feita compondo-se o índice de inflação com a taxa de juros.

Tab. 5.10 Análise econômica das alternativas.

alternativa	fluxo de caixa (R\$ 10 ³)					valor atual (R\$ 10 ³)
	inicial	ano 1	ano 2	ano 3	ano 4	
0 Manter a configuração atual.		93,77	93,77	93,77	93,77	226,14
1 Renovar metade da configuração atual de imediato e o restante depois de dois anos.	20,88	82,44	103,32	82,44	82,44	233,31
2 Renovar a configuração atual por completo e de imediato.	41,7	65,31	65,31	65,31	65,31	199,21

Os resultados da análise econômica indicam a alternativa 2 como a mais indicada. Durante as simulações digitais observou-se que o capital investido na renovação completa e

imediate do sistema de iluminação retorna em apenas dois anos. De longe, está é a melhor alternativa.

² Iniciais de valor presente líquido, denominação alternativa para valor líquido atual.

Capítulo 6

CONCLUSÃO

Neste trabalho, os princípios da iluminação pública e da análise econômica de projetos de engenharia foram estudados, culminando num procedimento de análise assistida por computador.

O estudo realizado, embora desenvolvido de modo generalizado, foi aplicado ao alimentador 007 da subestação da Companhia Energética de Alagoas – CEAL, no Pinheiro (Maceió). Para tanto, a configuração atual do sistema foi analisada previamente servindo de referência. E, a partir desse caso base foram criados, por simulação digital, duas configurações alternativas através da substituição das lâmpadas mistas e a vapor de mercúrio por lâmpadas a vapor de sódio, onde foram incluídos todos os custos, tais como, de equipamentos, de mão-de-obra e financeiros.

Comparando-se, entre as alternativas, as despesas com investimento e as despesas operacionais, concluiu-se que a alternativa mais viável a ser empregada para a efficientização energética do sistema de iluminação pública, não só pela energia conservada, mas pela redução de custos, é conseguida através da renovação total e imediata do sistema, cujo capital investido

retorna em apenas dois anos.

Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se a realização de estudos probabilísticos para análise da vida útil das lâmpadas instaladas, incluindo nos estudos econômicos propostos, o valor residual destas lâmpadas, ou seja, os devidos custos de substituição das mesmas.

Recomendam-se estudos mais aprofundados para o cálculo do nível de iluminamento nas vias, onde podem ser observados a altura e os espaçamentos entre as luminárias, largura da via, entre outros aspectos, como fator de depreciação e coeficiente de utilização das lâmpadas, para uma análise mais criteriosa dos estudos de efficientização.

Outra sugestão, é que seja realizada uma avaliação econômica visando a captação de recursos em torno das variações de taxas cobradas pelas instituições financeiras envolvidas nos projetos de efficientização energética.

Finalmente, sugerimos que seja analisada a utilização do retorno financeiro obtido num ano, como investimento para incrementar a efficientização do sistema nos anos subseqüentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABILUX, Manual da ABILUX: Uso racional de energia elétrica em edificações – Iluminação.

São Paulo, 1992.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. NBR 5101; Iluminação

Pública. Rio de Janeiro, 1992. 23p.

ARAÚJO, Ione M. T. de. Panorama do Setor de Iluminação Pública no Brasil: Potencial de

Combate ao Desperdício de Energia Elétrica e Atuação do PROCEL. EFFICIENTIA-98

(Seminário Internacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica), 1998.

ARAÚJO, Ricardo A. C. O Novo Sistema de Iluminação Pública de Salvador. EFFICIENTIA-98

(Seminário Internacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica), 1998.

BORBOREMA, Heraldo. Principais Resultados da Substituição do Sistema de Iluminação

Pública na Cidade de Recife. EFFICIENTIA-98 (Seminário Internacional de Combate ao

Desperdício de Energia Elétrica), 1998.

BRÄUER, Wolfgang. Considerações sobre os custos sociais da iluminação eficiente.

Eletricidade Moderna. p.95-100, Março, 1996.

BURINI JUNIOR, Elvo Calixto, SANTOS, Maria Mercedes Medina Marques dos, SAUER, Ildo Luis. Bases para política de iluminação pública – estudo de caso. In: II Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Dezembro, 1994, São Paulo. p.109-113.

_____, CAUVILLA, Pedro Roberto, SAUER, Ildo Luís. *Análise econômica de alternativas para iluminação*. In: VI Congresso Brasileiro de Energia e I Seminário Latino Americano de Energia. 1998, São Paulo. p.799-810.

CEAL (Companhia Energética de Alagoas) Padrão de estruturas de redes de distribuição aéreas urbanas, 1990.

CHEN, Kao. Industrial Power Distribution and Illuminating Systems. 1990.

CLAUDINO Filho, Oscar. A Questão da Taxa de Iluminação Pública no Brasil. EFFICIENTIA-98 (Seminário Internacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica), 1998.

COELBA. Os sistemas a vapor de sódio na iluminação pública. *Eletricidade Moderna*. Setembro, 1985. p.17-24.

COSTA, Gilberto J. C. da. Iluminação Econômica; cálculo e avaliação. 1.ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1998.

CRNUGEL, Martin. Luminância na iluminação pública. *Mundo Elétrico*. Agosto, 1975. p.45-50.

DIBRÁS, Catálogo da DIBRÁS, GE Iluminação, São Paulo, 1992.

ELETROPAULO (Eletricidade de São Paulo S.A) Iluminação Pública, 1981.

FERNANDES FILHO, Guilherme Eugênio Filippo. Reflexões sobre iluminação pública. In: : VI Congresso Brasileiro de Energia e I Seminário Latino Americano de Energia. 1998, São Paulo.

FRANCO FILHO, Antero de Souza. A política de iluminação pública e a relação entre concessionárias e prefeituras. In: XIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. 1997, São Paulo.

FURNAS Centrais Elétricas. Projeto de Eficientização Energética do Sistema de Iluminação Pública da Cidade do Rio Janeiro, 1995.

- GARCIA Jr, Eraldo. Luminotécnica; instalações elétricas, 1.ed. São Paulo; Érica, 1996.
- GELLER, H. S. Efficient electricity use: A development strategy for Brazil. Washington, D.C: American Council for an Energy-Efficient Economy, 1991. *Apud* LEONELLI, Paulo, MONTEIRO, Regiane, ARAÚJO, Ione, POLLIS, Hamilton, GELLER, Howard S. Evolução do mercado para produtos eficientes de iluminação. *Eletricidade Moderna*. N.º 281, p.60-76, Agosto, 1997.
- GHELMAN, Luiz. Sistemas de iluminação pública e suas fontes de luz. *Mundo Elétrico*. Maio, 1981. p.45-53. Junho, 1981. p.74-80.
- GÖNEN, T. Electric Power Distribution System Engineering, Nova Iorque, 1986, McGraw-Hill, 739 p.
- HESS, Geraldo, MARQUES, José L. de M., PAES, Luiz C. M. da R., PUCCINI, Abelardo de L. Engenharia Econômica. 19.ed. São Paulo: DIFEL, 1986.
- LEONELLI, Paulo A., ARAÚJO, Ione Maria Torres de, SILVA, Helder Vieira da. O uso racional de energia e as perspectivas da iluminação eficiente no país. *Eletricidade Moderna*. p.110-116, Dezembro, 1995.
- LONEY, S.T. "Dinamic programming algorithm for load duration curve fitting". In: LOOTSMA (1972).
- LOOTSMA, F.A. (Editor) Numerical Methods for Non-Linear Optimization, Academic Press, London, 1972.
- MAGNIN, Gerard. Gestão energética municipal. Rede Energie-Citée. EFFICIENTIA-98 (Seminário Internacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica), 1998.
- MICROSOFT, Guia do usuário da Microsoft Excel, 1995.
- MOREIRA, Vinícius de Araújo. Iluminação & Fotometria; teoria e aplicação. 3.ed. São Paulo: E. Blücher, 1982.
-
- _____ Anotações sobre iluminação pública. TECNOWATT INDÚSTRIA ELETROTÉCNICA LTDA. Outubro, 1975. (Publicação interna).

- MUNDO ELÉTRICO. Fundamentos de Luminotécnica. Fevereiro, 1976. p.45-46.
- MUROLO Filho, Rafael. O Projeto de Iluminação Pública Eficiente da Cidade de São Paulo. EFFICIENTIA-98 (Seminário Internacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica), 1998.
- NEGRISOLI, Manoel E. M. Instalações Elétricas; projetos prediais em baixa tensão. 3.ed. São Paulo: E. Blücher, 1987.
- NEVES, Amaury Vallim. Sistemas ópticos selados e filtrados em luminárias. General Electric CO. EUA. *Eletricidade Moderna*. Setembro, 1986. p.30-37. (Tradução de: General Electric Co.)
- OLIVEIRA, Augusto C. C., SÁ Jr., José C. de. Uso Eficiente de Energia Elétrica. 1.ed, Recife: Ed. Universitária da UFPE, 1998.
- PABLA, A. S. Electric Power Distribution Systems, Nova Deli, 1981, Tata-McGraw-Hil, 400 p.
- PHILIPS LIGHTING. Urban lighting – Application guide. Holanda, 1989. *Eletricidade Moderna*. Abril, 1993. p.136-149.
- PHILIPS. Manual de iluminação. 3.ed. Eindhoven: Philips Lighting Division, 1986
- PROCEL, <http://www.eletrabras.gov.br/prqcel/elet.htm>, ELETROBRÁS/PROCEL, 1998.
- PROCEL/ELETROBRÁS (Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica/ Centrais Elétricas Brasileiras) Iluminação Pública. EFFICIENTIA-98 (Seminário Internacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica), 1998.
- ROBBA, Ernesto J., MUROLO, Rafael, KAGAN, Nelson, OLIVEIRA, Carlos Barioni de. Vantagens das lâmpadas de vapor de sódio na iluminação pública. *Eletricidade Moderna*. N.º 281, p.88-101, Agosto, 1997.
- SANCHEZ, José J. B. O Sistema de Iluminação Pública de Barcelona: Tecnologias Aplicadas e Gerenciamento. EFFICIENTIA-98 (Seminário Internacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica), 1998.

- SANTO, Geoberto Espírito, SANTOS, Maria Betania Gama dos. Análise de vida útil em sistemas de iluminação pública. In: : VI Congresso Brasileiro de Energia e I Seminário Latino Americano de Energia. 1998, São Paulo.
- SIMA (Superintendência Municipal de Energia e Iluminação Pública de Maceió) Projeto de Eficientização Energética do Sistema de Iluminação Pública da Cidade de Maceió, 1997.
- SOUZA, B. A. de. Distribuição de Energia Elétrica (Apostila). Campina Grande: UFPB, 1997.
- TERNES Neto, Henrique J. tecnologias especiais para sistemas de iluminação Pública. EFFICIENTIA-98 (Seminário Internacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica), 1998.
- TORRES, Marcel Beda. Comutador fotoeletrônico no comando da iluminação pública. CPFL. *Eletricidade Moderna*. Setembro, 1989. p.37-41.