



**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO SOLAR
UTILIZANDO CABOS DE FIBRA ÓPTICA NO CENTRO DE TECNOLOGIA
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.**

Bruno Galdino Silva

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Walter Issamu Suemitsu, Dr. Ing.

Rio de Janeiro

Setembro de 2012

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO SOLAR
UTILIZANDO CABOS DE FIBRA ÓPTICA NO CENTRO DE TECNOLOGIA
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.**

Bruno Galdino Silva

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovado por:

Walter Issamu Suemitsu, Dr. Ing.
(Orientador)

José Carlos de Oliveira, D.Sc.

Sergio Sami Hazan, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL.

SETEMBRO, 2012.

Galdino Silva, Bruno

Análise da Implantação de um Sistema de Iluminação Solar Utilizando Cabos de Fibra Óptica no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro/ Bruno Galdino Silva. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2012.

Orientador: Prof.: Walter Issamu Suemitsu, Dr. Ing.

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Elétrica, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 74-77.

1.Introdução 2.Eficiência Energética 3.Sistemas de Iluminação
4.Metodologia de Trabalho 5.Caracterização do Ambiente Estudado
6.Estudo de Viabilidade: Bloco “D” 7.Conclusão 8.Referências
Bibliográficas I. Suemitsu, Walter Issamu. II. Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Elétrica. III.
Análise da Implantação de um Sistema de Iluminação Solar Utilizando
Cabos de Fibra Óptica no Centro de Tecnologia da Universidade Federal
do Rio de Janeiro.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus, pois sem ele nada seria.

Aos meus pais Israel Galdino da Silva Sobrinho e Neusa Maria Galdino da Silva pelas incontáveis provas de amor e carinho principalmente em momentos difíceis e de dúvidas, nunca me deixaram desistir de nada em minha vida, sempre mostrando o caminho correto a ser seguido; a eles agradeço de todo o coração, quaisquer palavras aqui ditas serão poucas para descrever o sentimento de gratidão e amor que sinto por eles.

Ao meu irmão Alexandre Galdino da Silva, pois sempre estive ao meu lado em momentos bons e ruins, a ele expressei meu carinho e sei que em qualquer situação poderei contar com sua ajuda e seu apoio.

A minha noiva Ingrid Pereira de Medeiros, pois sempre estive ao meu lado durante todo o período que passei na UFRJ, foram incontáveis horas de estudo e apoio mútuo em nossos cursos; a ela expressei todo o meu carinho e amor e agradeço muito por ter me apoiado em absolutamente tudo que fiz e conquistei.

A todos os meus familiares que fizeram parte direta ou indiretamente desta conquista.

Aos meus amigos e irmãos do Centro Acadêmico de Engenharia, amigos que levarei para toda a vida. Aprendi muito e tenho muito orgulho por poder ter sido parte desta instituição centenária.

Aos meus professores, em especial ao Prof. Walter cujo apoio sempre pude contar, tanto na parte acadêmica quanto quando fui representante discente; agradeço a ele por ter me orientado na realização deste projeto e também por todas as incontáveis ajudas que prestou ao Centro Acadêmico, sempre nos recebendo de portas abertas. Agradeço também aos Professores Sergio Sami Hazan e José Carlos de Oliveira por fazerem parte da minha banca; a eles fica o agradecimento por tudo que fizeram por mim.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO SOLAR
UTILIZANDO CABOS DE FIBRA ÓPTICA NO CENTRO DE TECNOLOGIA
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.**

Bruno Galdino Silva

Setembro/2012

Orientador: Walter Issamu Suemitsu, Dr. Ing.

Curso: Engenharia Elétrica

Atualmente a preocupação com o meio ambiente é de conhecimento de todos, e o tema do desenvolvimento sustentável é muito comum nas mesas de discussão de grandes líderes mundiais. Em um país em desenvolvimento como o Brasil, o investimento no setor energético é de fundamental importância e, às vezes por questões ambientais, as práticas de eficiência energética são, na maioria das vezes, a solução encontrada para suprir o aumento de demanda de energia. Pensando nesta eficiência e sabendo que grande parcela do gasto em energia elétrica é proveniente da iluminação, uma solução seria a utilização de uma forma mais direta da iluminação natural, através de um sistema utilizando cabos de fibra óptica para a transmissão da energia luminosa proveniente do sol para o interior dos edifícios. Este trabalho visa realizar um estudo de viabilidade da implantação deste sistema no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro e tornando assim o sistema de iluminação mais eficiente.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Desenvolvimento Sustentável, Iluminação Natural, Cabos de Fibra Óptica.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

**ANALYSIS OF IMPLEMENTATION OF A SOLAR LIGHTING SYSTEM
USING FIBER OPTIC CABLES IN THE TECHNOLOGY CENTER (CT),
FEDERAL UNIVERSITY OF RIO DE JANEIRO (UFRJ)**

Bruno Galdino Silva

September/2012

Advisor: Walter Issamu Suemitsu, Dr. Ing.

Course: Electrical Engineering

Currently the concern with the environment is known to all, and the theme of sustainable development is very common in roundtable discussions of major world leaders. In a developing country like Brazil, investment in the energy sector is of fundamental importance and, sometimes, for environmental practices energy efficiency is, in most cases, the solution to meet the increasing demand for energy. Regarding this efficiency and knowing that a large portion of energy is spent on lighting, a solution would be to use a more direct natural lighting through a system using fiber optic cables for the transmission of light energy from the sun into the buildings. This paper aims to conduct a feasibility study to try to implement this system in the Technology Center of the Federal University of Rio de Janeiro and thus making the lighting system more efficient.

Keywords: Energetic Efficiency, Sustainable Development, Natural Lighting, Fiber Optic Cables.

Sumário

FIGURAS.....	IX
TABELAS.....	XI
GRÁFICOS.....	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	8
2.1. PROGRAMA DE INCENTIVO	8
2.1.1. PROCEL.....	8
2.2. BARREIRAS.....	9
2.2.1. Aspectos Institucionais.....	9
2.2.2. Imperfeições de Governo.....	10
2.2.3. Infraestrutura	11
2.2.4. Incentivos Mal Alocados	11
2.2.5. Informação e Treinamento	11
2.2.6. Procedimento de Compra.....	12
2.2.7. Concessionárias	12
2.2.8. Fornecedores e Equipamentos	12
2.2.9. Capital.....	13
3. SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO	14
3.1. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	14
3.1.1. Equipamentos	19
3.1.1.1. Lâmpadas.....	19
3.1.1.1.1. Lâmpadas Incandescentes	21
3.1.1.1.2. Lâmpadas Halógenas.....	22
3.1.1.1.2.1. Lâmpadas Dicroicas	23
3.1.1.1.3. Lâmpadas de Descarga.....	24
3.1.1.1.3.1. Lâmpadas Fluorescentes Tubulares.....	25
3.1.1.1.3.2. Lâmpadas Fluorescentes Compactas	26
3.1.1.1.4. Lâmpadas a Vapor de Mercúrio	27
3.1.1.1.5. Lâmpadas Mistas.....	27
3.1.1.1.6. Lâmpadas de Vapor Metálico.....	28
3.1.1.1.7. Lâmpadas de Vapor de Sódio	28
3.1.1.1.7.1. Lâmpadas de Vapor de Sódio de Baixa Pressão.....	28
3.1.1.1.7.2. Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão	29
3.1.1.1.8. LED (Diodos Emissores de Luz).....	29
3.1.1.2. Luminárias	30

3.1.1.3.	Reatores	33
3.1.1.4.	Equipamentos Auxiliares	34
3.1.1.4.1.	Sensor de Presença	34
3.1.1.4.2.	Sistema por Controle Fotoelétrico.....	35
3.1.1.4.3.	Minuterias.....	35
3.1.1.4.4.	Dimmers	35
3.2.	ILUMINAÇÃO NATURAL	36
3.2.1.	<i>Incidência Solar no Brasil</i>	36
3.2.2.	<i>Benefícios da Luz Natural</i>	39
3.2.2.1.	Efeitos da Luz Natural no Homem	40
3.2.2.2.	Luz Solar no Escritório	40
3.2.2.3.	Luz Solar na Universidade.....	41
3.2.3.	<i>Tipos de Iluminação Natural</i>	41
3.2.3.1.	Projeto de Edifícios.....	42
3.2.3.1.1.	Lucernários Tipo <i>Shed</i> e Lamelas Difusoras	44
3.2.3.1.2.	Prateleiras de Luz	46
3.2.3.2.	Dispositivos de Iluminação.....	47
3.2.3.2.1.	Solatube®.....	48
3.2.3.2.2.	<i>Parans Solar System</i>	49
4.	METODOLOGIA DE TRABALHO	53
4.1.	ANÁLISE DO PERFIL DE CONSUMO	53
4.1.1.	<i>Fator de Carga</i>	53
4.1.2.	<i>Fator de Potência</i>	55
4.2.	PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	57
4.2.1.	<i>Avaliação Econômica e Financeira</i>	57
4.2.1.1.	Valor Presente Líquido	57
4.2.1.2.	Tempo de Retorno de Capital	58
4.2.1.3.	Relação Benefício-Custo – RBC	59
5.	CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE ESTUDADO.....	60
5.1.	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO	60
5.2.	CENTRO DE TECNOLOGIA (CT).....	60
5.3.	BLOCO “D”	63
5.4.	AMOSTRA DO DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DO BLOCO “D”	64
6.	ESTUDO DE VIABILIDADE: BLOCO “D”	65
6.1.	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL	65
6.2.	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PROPOSTO.....	68
6.3.	ANÁLISE DE VIABILIDADE	68

6.3.1. Viabilidade Luminotécnica.....	68
6.3.2. Viabilidade Financeira.....	69
6.3.2.1. Relação Benefício-Custo e Tempo de Retorno.....	71
7. CONCLUSÃO.....	72
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXO I - DADOS DIÁRIOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL.....	78
ANEXO II - INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DO PARANS SOLAR SYSTEM..	82
ANEXO III -CÁLCULO DA RELAÇÃO BENEFÍCIO CUSTO (RBC) SEGUINDO METODOLOGIA DA ANEEL.....	88

Figuras

Figura 3.1: Iluminação Geral.....	15
Figura 3.2: Iluminação Localizada.....	15
Figura 3.3: Características Construtivas da Lâmpada Incandescente	22
Figura 3.4: Características Construtivas da Lâmpada Halógena.....	23
Figura 3.5: Modelos de Lâmpadas Halógenas.....	23
Figura 3.6: Modelo de Lâmpada Dicroica.....	24
Figura 3.7: Características Construtivas da Lâmpada Fluorescente Tubular	25
Figura 3.8: Características Construtivas da Lâmpada Fluorescente Compacta.....	26
Figura 3.9: Modelos de Lâmpadas Fluorescentes Compactas.....	27
Figura 3.10: Modelos de Lâmpadas LEDs	30
Figura 3.11: Exemplo de Luminárias	31
Figura 3.12: Representação das Estações do Ano e do Movimento da Terra em Torno do Sol.....	37
Figura 3.13: Media Anual de Insolação Media no Brasil (em horas).....	37
Figura 3.14: Corte Transversal do Edifício <i>Plaza di América</i> em Sevilha	45
Figura 3.15: Esquema de Funcionamento dos <i>Sheds</i> e <i>Lamelas</i>	46
Figura 3.16: Exemplos de Prateleiras de Luz Plana (a) e Curva (b) e seu Funcionamento	47
Figura 3.17: Exemplo de Utilização de Prateleiras de Luz abaixo de aberturas Zenitais	47
Figura 3.18: Exemplo de Funcionamento do Solatube®	48
Figura 3.19: Receptores utilizados no Sistema da <i>Parans</i>	49
Figura 3.20: Lentes de Fresnel Utilizadas nos receptores do sistema da <i>Parans</i>	50
Figura 3.21: Cabos de Fibra Óptica utilizado no sistema da <i>Parans</i>	51
Figura 3.22: Modelo de Utilização do <i>Parans Solar System</i> em edifícios.....	51

Figura 3.23: Modelo de Luminária do <i>Parans Solar System</i>	52
Figura 5.1: Localização do Centro de Tecnologia no Mapa da Cidade Universitária....	61
Figura 5.2: Seccionadora Principal do CT.	62
Figura 5.3: Localização Aproximada das Subestações do CT.	62
Figura 6.1: Modelo de Luminária Existente no Bloco “D”.	66
Figura II.1: Vista Superior e Lateral do <i>Parans SP3</i>	82
Figura II.2: Vista Frontal e Traseira do <i>Parans SP3</i>	83
Figura II.3: Modelo <i>Parans Luminaires L1 Small</i> (Dados Técnicos e Difusão Luminosa).....	84
Figura II.4: Modelo <i>Parans Luminaires L1 Medium</i> (Dados Técnicos e Difusão Luminosa).....	85
Figura II.5: Modelo <i>Parans Luminaires L3 Spotlight</i> (Dados Técnicos e Difusão Luminosa).....	86

Tabelas

Tabela 3-1: Iluminâncias por Classes de Tarefas Visuais.	16
Tabela 3-2: Fatores Determinantes da Iluminância Adequada.....	17
Tabela 3-3: Iluminâncias por Tipo de Ambiente de Trabalho.....	18
Tabela 3-4: Eficiência Luminosa das Diferentes Tecnologias de Lâmpadas.....	20
Tabela 3-5: Classificação das Luminárias.	32
Tabela 3-6: Percentual de Redução da Carga Instalada em Relação ao Tipo de Luminária.	33
Tabela 3-7: Relação do FP e THD com os Tipos Diferentes de Reatores.	34
Tabela 3-8: Tabela da Média de Iluminação Natural na cidade do Rio de Janeiro.....	38
Tabela 3-9: Classificação dos Componentes para a Luz Natural	44
Tabela 4-1: Tabela do Fator de Carga de Acordo Com o Ramo de Atividade.....	55
Tabela 5-1: Tabela da Potência Total das Subestações do CT.....	63
Tabela 6-1: Quantitativos de Equipamentos Existentes no Bloco “D”.	65
Tabela 6-2: Modelo de Lâmpada Existente no Bloco “D”.	66
Tabela 6-3: Tarifas Cobradas pela LIGHT.....	67
Tabela 6-4: Dados de Consumo, Demanda e Gasto Anual do Sistema Atual.....	67
Tabela 6-5: Quantitativos e Preço Total dos Equipamentos.....	68
Tabela 6-6: Fluxo Luminoso Total (Sistema Atual e Sistema Proposto).....	69
Tabela 6-7: Dados de Consumo, Demanda e Gasto Anual Parcial do Sistema Proposto.	70
Tabela 6-8: Gasto Total Anual Considerando a Eficiência do Sistema.	70
Tabela 6-9: Resultados Obtidos entre a Comparação da Situação Atual e a Situação Proposta.	71
Tabela 6-10: Valor da RBC do Sistema Proposto.	71
Tabela I-1: Tabela de Dados Diários dos Horários do Nascer do Sol e do Por do Sol. .	79

Tabela I-2: Tabela do Tempo Total Diário de Iluminação Natural.....	80
Tabela II-1: Tabela dos Dados Técnicos do Receptor SP3 da Parans.....	83
Tabela II-2: Tabela dos Dados Técnicos dos Diversos Modelos do <i>Parans Optical Cable</i>	85
Tabela II-3: Tabela dos Dados Técnicos dos Diversos Modelos do <i>Parans Luminaires</i>	86
Tabela II-4: Tabela de Preço dos Componentes do <i>Parans Solar System</i>	87

Gráficos

Gráfico 1.1: Geração Elétrica no Brasil (ano base 2009).....	2
Gráfico 1.2: Consumo Energético do Setor Público no Brasil.....	4
Gráfico 1.3: Consumo de Eletricidade por Setor no Brasil.....	5
Gráfico 1.4: Perfil Médio de Uso da Eletricidade nos Prédios Públicos do Brasil, em 2002.....	6
Gráfico 1.5: Perfil Médio do Uso de Eletricidade nos Prédios Públicos do Brasil (sem ar condicionado), em 2002.....	7
Gráfico II.1: Gráfico da Taxa de Decaimento do Fluxo Luminoso pelo Comprimento do Cabo.....	84

1. Introdução

Este projeto de graduação analisa a viabilidade, através da Relação Benefício-Custo e Tempo Médio de Retorno, de se implantar no CT¹ da UFRJ² (Bloco “D”), uma solução inovadora para a iluminação – a instalação de iluminação solar através de cabos de fibra óptica – fazendo com que se possa aumentar o potencial de conservação de energia elétrica. A medida de eficiência a ser analisada neste trabalho será da substituição e adaptação do novo modelo inovador de iluminação solar, juntamente com o sistema já existente, fazendo a análise técnica do sistema de iluminação artificial atual, para que o mesmo seja o mais eficiente possível.

A energia elétrica sempre ocupou um lugar de destaque e importância na matriz energética brasileira, sendo a modalidade de energia atualmente mais consumida no país, além de ser, geralmente, o segundo maior gasto das empresas, sejam elas públicas ou privadas. O atual crescimento econômico do País tem exigido um aumento proporcional na disponibilidade e fornecimento de insumos energéticos. Atualmente vivemos a chamada “onda verde” onde o pensamento de preservação da natureza é essencial para todos os segmentos da sociedade. O Brasil em termos de geração sempre foi, em sua grande maioria, abastecido com hidrelétricas (que consiste em uma geração de energia limpa), ou seja, geração que não prejudica o meio ambiente como as termelétricas por exemplo. Segundo os dados do relatório do BEN³ de 2010 (ano base de 2009) o Brasil possui quase que 77% de sua geração de energia na matriz hidráulica, como podemos comprovar através do Gráfico 1.1. Pode-se citar também que este tipo de geração de energia se caracteriza por ser uma fonte de energia renovável, fazendo com que o Brasil seja exemplo para muitas nações do mundo em termos de geração de energia elétrica.

Pode-se dizer que o aumento do consumo da eletricidade ao longo dos anos representa uma grande parcela do consumo nacional de energia. Desta forma, o consumo crescente, aliado à falta de investimento por parte dos órgãos governamentais no setor de geração e distribuição de energia, vem diminuindo gradativamente a distância entre a demanda e a oferta, tornando o fornecimento cada vez mais crítico no

¹ CT – Centro de Tecnologia

² UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

³ BEN – Balanço Energético Nacional

curto prazo, fazendo necessária a implantação de programas de conservação e uso racional de energia elétrica.

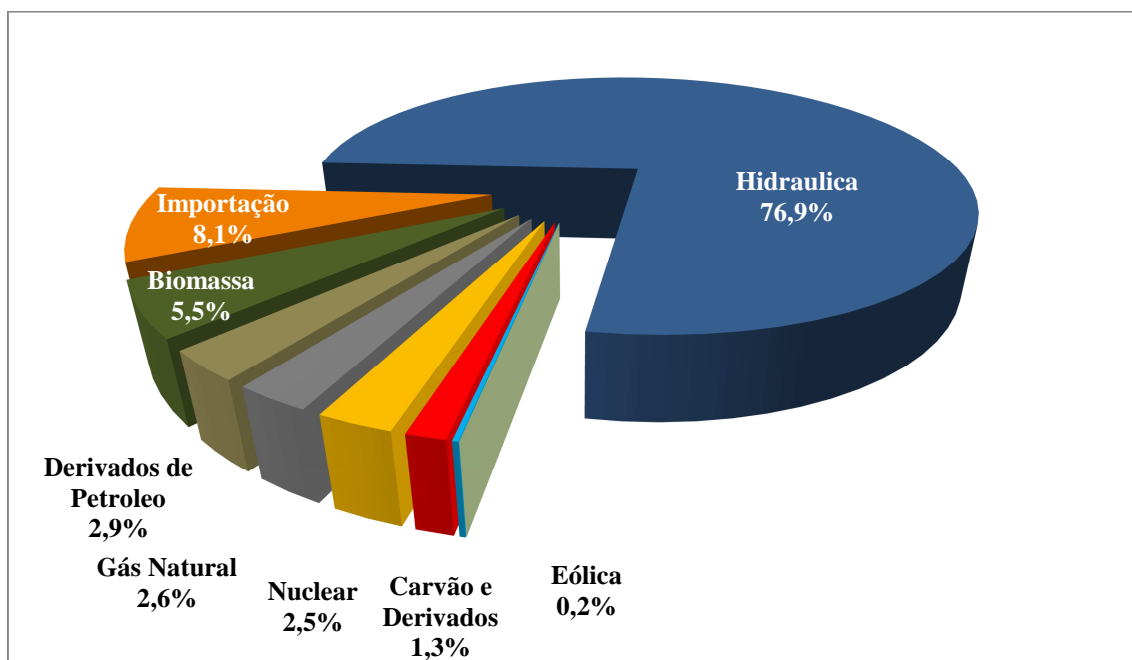


Gráfico 1.1: Geração Elétrica no Brasil (ano base 2009)
Fonte: Elaboração própria através do relatório do BEN, 2010.

Sempre foi importante utilizar a energia de forma racional, mas desde o racionamento de energia elétrica em 2001, o brasileiro passou a ter consciência desta importância. No entanto, a solução para se economizar energia não se reduz apenas a desligar os aparelhos e/ou substituí-los por outros mais eficientes; muitas vezes a solução para uma economia de energia é o gerenciamento e monitoramento correto dos sistemas elétricos, aliados também a soluções inovadoras, a fim de se controlar o consumo e garantir a produtividade com mais rentabilidade.

Considerando os elevados níveis de investimento que o setor elétrico (tanto geração quanto distribuição) necessita para atender a esta crescente demanda, toda e qualquer ação que resulte na diminuição da necessidade de aporte de recursos do sistema, sem comprometimento de sua confiabilidade, e que também contribua para a redução nas despesas com energia elétrica por parte dos consumidores, deve ser sempre incentivada.

Projetos de Eficiência Energética apresentam tempos de retorno reduzidos na maioria dos casos, principalmente quando comparados com os investimentos necessários para a expansão dos suprimentos de energia (Eletrobrás / PROCEL 2006). Neste sentido, as ações de eficiência podem ser representadas como forma de produção

de energia descentralizada, tendo como consequência o aumento da oferta de energia do país.

Ao economizar energia, estamos adiando a necessidade de construção de novas usinas geradoras e sistemas associados, disponibilizando recursos para outras áreas e contribuindo para a preservação da natureza (Eletrobrás / PROCEL 2006). Portanto, com a racionalização no uso da energia elétrica, evitando assim o desperdício, podem-se criar perspectivas de se compensar as taxas de crescimento da demanda de energia, a curto, médio e longo prazo, postergando assim a necessidade de expansão do parque instalado, ou seja, de investimento por parte do governo nas atividades de geração, transmissão e distribuição desta energia elétrica, obtendo uma redução na alocação de recursos externos.

Desta maneira, se faz necessário que todos os setores da sociedade e da economia se conscientizem da atual situação e passem a utilizar a energia de forma mais racional, através de providencias técnicas e também, não menos importante, na mudança dos hábitos de consumo.

As decisões de investimento em alternativas e projetos de economia e uso eficiente da energia passam, necessariamente, por uma análise de viabilidade econômica. Estas questões podem se apresentar de duas maneiras: ou se deseja decidir sobre a escolha entre duas alternativas mutuamente excludentes, ou se deseja conhecer a economicidade de uma dada alternativa.

A alternativa de eficiência energética deste projeto é a relação benefício-custo na substituição e/ou adaptação do sistema atual de iluminação artificial por um sistema de iluminação solar através de cabos de fibra óptica. Este sistema inovador, e pouco implantado mundialmente, prevê a otimização da iluminação natural no ambiente de trabalho, fazendo assim com que os gastos de eletricidade com iluminação artificial sejam, em alguns casos, reduzidos a zero. Para analisar a viabilidade técnica e econômica desta solução inovadora, é preciso, inicialmente, determinar a forma como a energia elétrica está sendo utilizada, procedimento este chamado de diagnóstico energético, permitindo propor soluções técnicas que aumentem a eficiência do sistema a ser analisado, bem como calcular os respectivos potenciais de conservação. Conhecidos estes potenciais, é possível analisar a viabilidade econômica da solução proposta, devendo ser implantado caso esta apresente alguma vantagem econômica ou socioambiental.

Para se implantar um programa de racionalização do uso da energia elétrica, é muito importante conhecer as aplicações e também os equipamentos que consomem energia. De posse destas informações, deve-se procurar identificar os pontos onde ocorrem desperdícios de energia elétrica e onde é possível obter-se maiores economias com a implantação de um programa de ação desta natureza.

Antes de tomarmos qualquer iniciativa ou ação visando à economia em uma empresa, seja ela pública ou privada, é de toda a conveniência implantar um programa interno de conservação de energia. Este tipo de conveniência se faz necessário ao fato de que estas ações isoladas de racionamento, por melhores resultados que apresentem, tendem a perder seu efeito ao longo do tempo, pois chega a um determinado ponto em que a economia de energia, inicialmente através da conscientização, atinge seu valor máximo. Depois deste tempo, mesmo como programa em atividade, não será possível obter mais aumento do nível de economia; porém, isto não significa que se deve abandonar o programa de racionalização, para que o consumo de energia não volte ao valor inicial antes do começo do programa de conservação.

Sendo a UFRJ, mais especificamente o CT, pertencente ao Governo Federal, enquadra-se no setor Público, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2010). O Gráfico 1.2 mostra que o consumo do setor Público concentra-se na eletricidade que corresponde a 84,9% do consumo total.

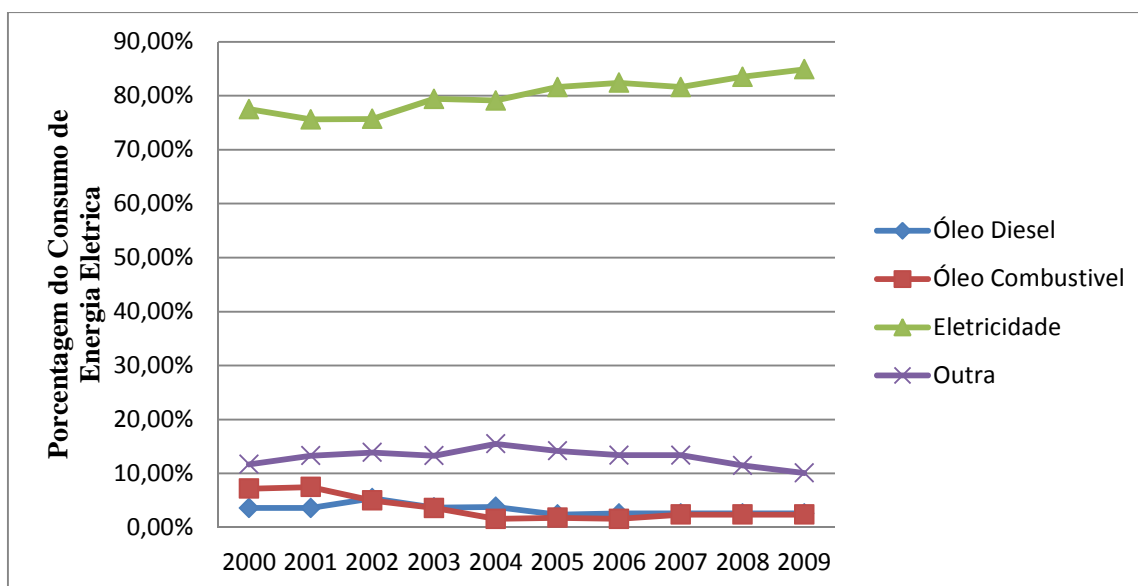


Gráfico 1.2: Consumo Energético do Setor Público no Brasil

Fonte: Elaboração própria a partir do BEN, 2010.

O uso da energia elétrica em prédios públicos está vinculado aos padrões tecnológicos e de eficiência energética dos diversos sistemas e equipamentos instalados,

as suas características arquitetônicas, ao clima local, à atividade que se destina e ao comportamento e grau de consciência dos usuários para o uso adequado e racional da energia.

A parte arquitetônica da edificação e a situação do sistema elétrico também influenciam no consumo de energia elétrica. A observação de fatores, tais como: materiais e cores de fachada, interiores e coberturas; situação da subestação; situação dos quadros de distribuição; aproveitamento da iluminação natural; uso da ventilação natural e utilização de sistema de gerenciamento de energia, podem indicar importantes potenciais de conservação de energia elétrica.

O Gráfico 1.3 mostra, por sua vez, o consumo de eletricidade por setor. Neste gráfico estão apresentados apenas alguns dos setores que mais consomem energia elétrica no Brasil, ficando comprovado, assim, que o setor público tem grande importância no consumo de energia do país.

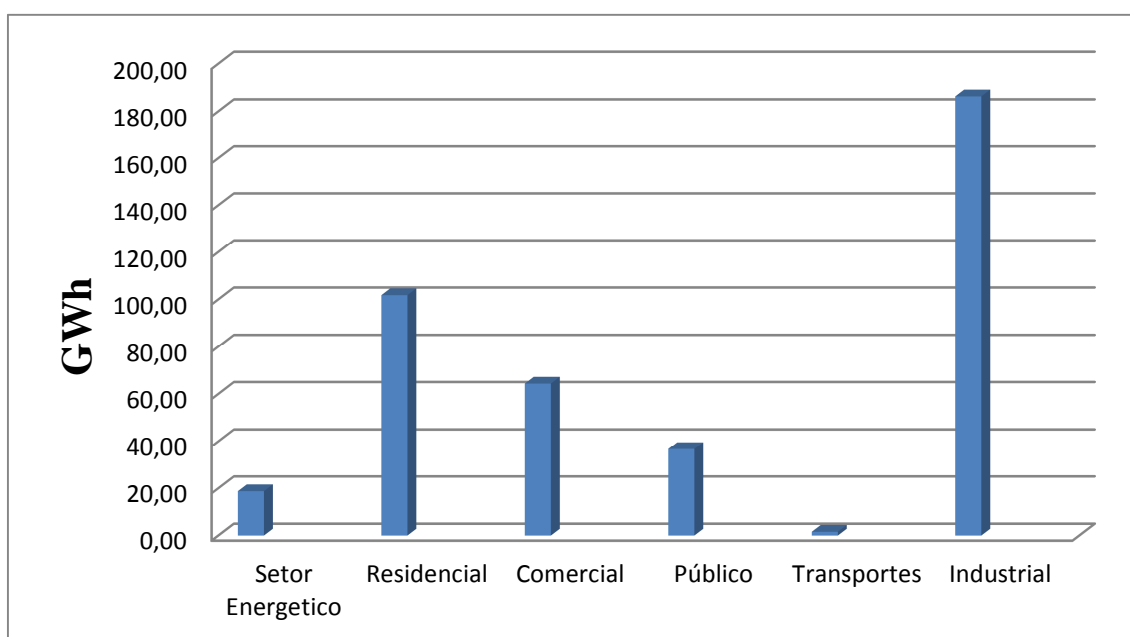


Gráfico 1.3:Consumo de Eletricidade por Setor no Brasil.

Fonte: Elaboração própria a partir do BEN, 2010.

Podemos observar, também, através do Gráfico 1.3 que a solução inovadora que este projeto irá tratar poderia ser implantado também no setor comercial, fazendo com que as demandas energéticas do país diminuíssem, visto que, além do setor industrial e do residencial o setor comercial é o que mais consome energia elétrica no Brasil.

O perfil de consumo de energia elétrica nos prédios públicos tem a seguinte forma nos prédios que possuem aparelhos de ar condicionado ou prédios com sistema de ar condicionado central.

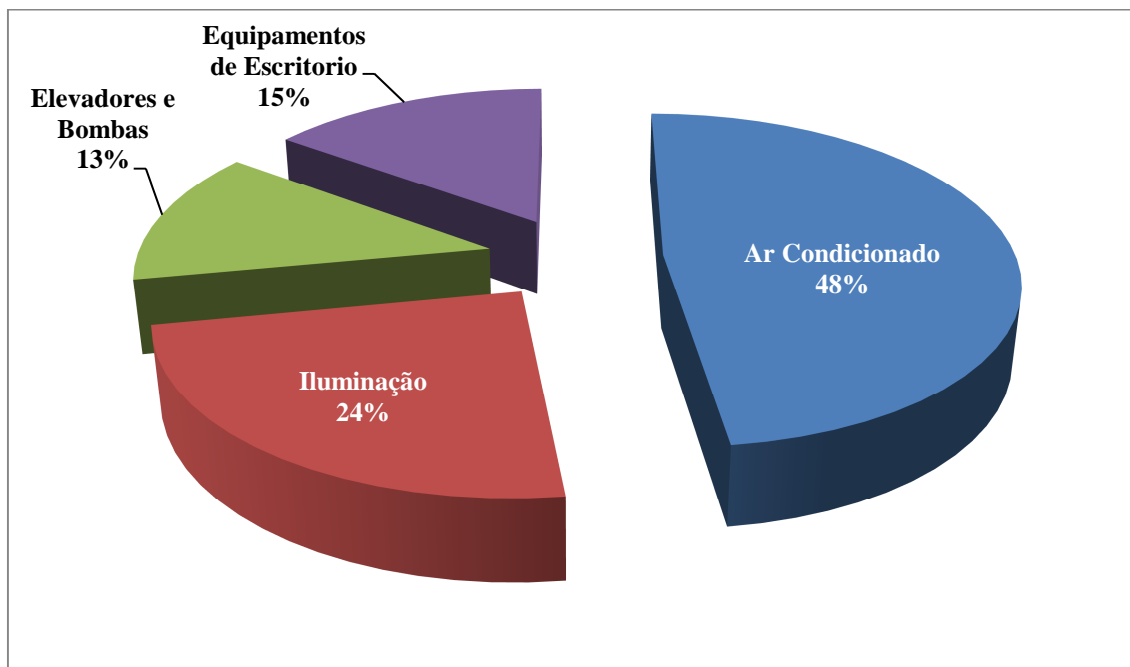


Gráfico 1.4: Perfil Médio de Uso da Eletricidade nos Prédios Públicos do Brasil, em 2002.

Fonte: Elaboração própria a partir do PROCEL EPP⁴, 2003.

O Gráfico 1.5 representa o consumo de energia elétrica nos prédios públicos que não possuem ar condicionado, apesar de atualmente a maioria dos prédios, tanto de empresas públicas quanto privadas, possuírem aparelhos de ar condicionado instalados, para mostrar como a iluminação demanda muita energia elétrica. O estudo deste projeto tentará ao máximo reduzir estes custos, para que possamos conseguir tanto a redução no consumo de energia elétrica, quanto diminuir um pouco a demanda dos sistemas geradores nacionais.

⁴ PROCEL EPP – Programa de Eficiência Energética nos Prédios Públicos.

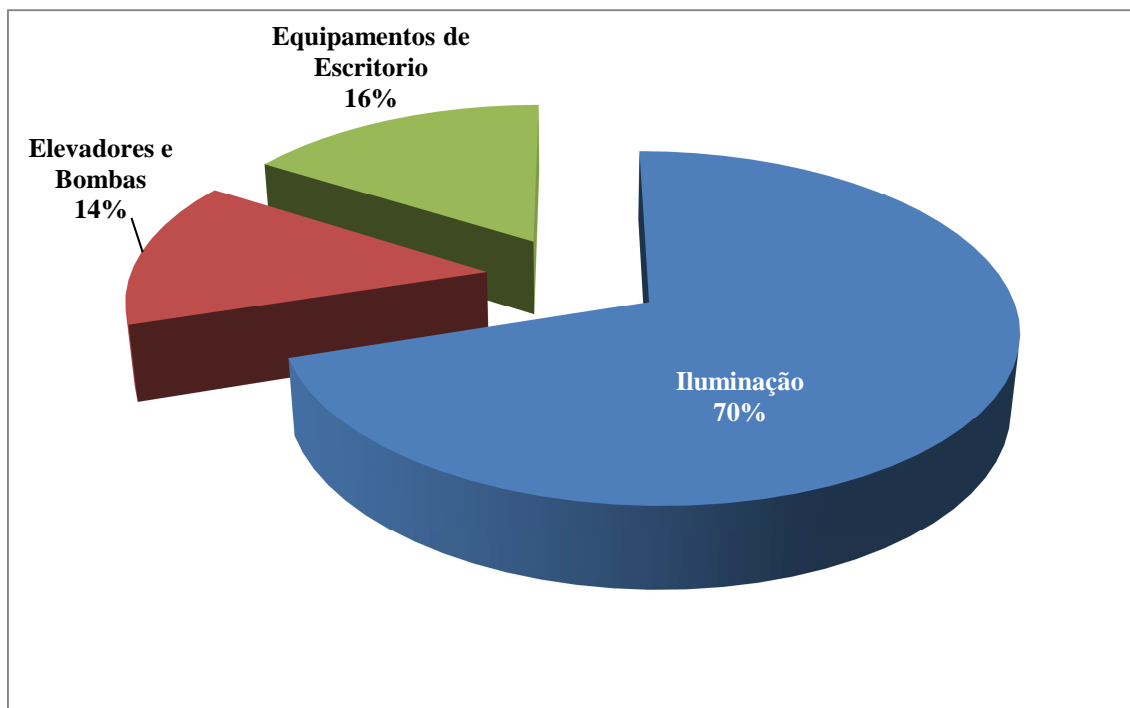


Gráfico 1.5: Perfil Médio do Uso de Eletricidade nos Prédios Públicos do Brasil (sem ar condicionado), em 2002.

Fonte: Elaboração própria a partir do PROCEL EPP, 2003.

Foi escolhido o sistema de iluminação para realizar os estudos técnicos, pois a iluminação solar através de cabos de fibra óptica é uma solução inovadora e pouco explorada, que pode significar um grande avanço na engenharia e também na diminuição da demanda de energia elétrica em um determinado país. Um bom projeto de iluminação sendo ele natural ou artificial, em praticamente 100% dos casos, acaba produzindo uma redução da carga térmica, influenciando com isso o dimensionamento do ar condicionado daquele local.

Os objetivos principais deste trabalho serão estimar para a UFRJ, especificamente para o CT, o seguinte:

- O potencial técnico-econômico da redução de consumo de energia elétrica, devido à ação do novo sistema de iluminação solar, utilizando cabos de fibra óptica;
- O custo de implantação e manutenção deste novo sistema de iluminação;
- O tempo de retorno desta solução.

2. Eficiência Energética

O termo eficiência energética está associada à produtividade porém, atualmente, o seu conceito também é muito empregado visando à proteção ambiental e ao desenvolvimento sustentável garantindo, desta forma, o atendimento das necessidades atuais da sociedade como um todo em relação à demanda de energia, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem as suas necessidades.

A eficiência energética pode ser descrita como uma atividade que procura otimizar o uso das fontes de energia, fazendo com que, através de estudos, utilizemos menos energia para realizar uma determinada atividade. Esta eficiência pode ser obtida através de muitas formas, como por exemplo, inovação tecnologia e máquinas ou tecnologias de menor consumo energético. A inovação e o desenvolvimento tecnológico tem propiciado a introdução de novas tecnologias no mercado. Lâmpadas e motores mais eficientes, novos eletrodomésticos e sistemas de automação, que aperfeiçoam a geração, a transmissão e a distribuição de energia, novos dispositivos eletrônicos de administração da carga pelo lado da demanda e tantos outros avanços tecnológicos que implicam em melhor uso da energia elétrica.

2.1. Programa de Incentivo

Para adequar o sistema elétrico à nova necessidade de modernização, o governo concluiu que era preciso criar projetos de incentivo à conservação da energia, através do Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL).

2.1.1. PROCEL

Criado pelo governo federal, em 1985, o programa é executado pela Eletrobrás e utiliza recursos da empresa, da Reserva Global de Reversão (RGR) e também recursos de entidades internacionais.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) visa a promover a racionalização do consumo de energia elétrica, combatendo o desperdício e reduzindo os custos e os investimentos setoriais, aumentando ainda a eficiência energética.

Até 2008, a atuação do Procel possibilitou a economia de 4,37 bilhões de kWh, o suficiente para abastecer 2,5 milhões de residências por um ano. O resultado se deve especialmente ao Selo Procel, com a indicação de eletrodomésticos e lâmpadas de consumo reduzido de energia. Apenas no ano de 2008, os investimentos do programa alcançaram R\$ 45 milhões.

Instituído em 1993, o Selo Procel de Economia de Energia indica ao consumidor, no ato da compra, os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. O objetivo é estimular a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a redução de impactos ambientais.

Desde 1993, o Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, conhecido como Prêmio Procel, reconhece o empenho e os resultados obtidos pelos agentes que atuam no combate ao desperdício de energia. Concedido anualmente, o prêmio visa estimular a sociedade a implantar ações que efetivamente reduzam o consumo de energia elétrica. (Eletrobrás / Eficiência Energética)

O Procel conta ainda com os vários subprogramas: Procel GEM (Gestão Energética Municipal), Sanear (Eficiência Energética no Saneamento Ambiental), Educação (Informação e Cidadania), Indústria (Eficiência Energética Industrial), Edifica (Eficiência Energética em Edificações), EPP (Eficiência Energética nos Prédios Públicos) e Reluz (Eficiência Energética na Iluminação Pública).

2.2. Barreiras

Existem, ainda hoje, diferentes tipos de barreiras que, infelizmente, limitam a implantação das diversas medidas de eficiência energética, principalmente nas instituições públicas brasileiras.

As principais barreiras às medidas de eficiência energéticas são listadas a seguir.

2.2.1. Aspectos Institucionais

A conservação de energia em prédios públicos possui alguns entraves no que se refere aos recursos financeiros obtidos com a economia de energia. Pode-se afirmar que as despesas com energia elétrica fazem parte do custeio dessas instituições, por isso a economia não se reverte para o próprio órgão; ao contrário, ele ainda tem redução no seu orçamento para o ano seguinte. Esse fato dificulta a atuação nesse tipo de

instituição, pois o estabelecimento em si não terá benefícios financeiros com um projeto de conservação de energia elétrica. Certamente ocorrerão melhorias nas condições de trabalho, já que se atuando no sistema de iluminação, os níveis de iluminação dos ambientes serão melhores e atuando no sistema de ar condicionado, a climatização também irá melhorar, mas financeiramente a instituição não terá nenhum benefício (VARGAS, JR.,2006).

2.2.2. Imperfeições de Governo

Algumas sinalizações para o desperdício de energia são frutos de políticas que, visando um objetivo muitas das vezes específico, acabam incentivando a ineficiência energética. O mais importante exemplo no passado recente foi a política governamental de manter os preços de muitos produtos energéticos abaixo de custo como forma de reduzir os índices de inflação. Atualmente as taxas de juros elevadas, para atrair capitais internacionais, reduzem a atratividade de ações de conservação de energia que exigem investimentos, muitas das vezes, antecipados. A sobrevalorização cambial do real também reduz a atratividade de soluções renováveis internas, pois reduz a competitividade com os combustíveis fósseis importados.

Grande parte das distorções deriva da estrutura centralizada do setor elétrico, tão importante para desenvolver os potenciais hidrelétricos. Esta força hegemônica, por exemplo, impediu o desenvolvimento óbvio de transformar em eletricidade energias hoje desperdiçadas pelas siderúrgicas e na agroindústria sucroalcooleira.

O novo modelo para o setor elétrico, em implantação, incentiva a competição na geração, reduz o protecionismo para as concessionárias e cria novos agentes e mecanismos de competição. Estas novidades devem aumentar a eficiência energética na transformação da energia primária e poderão estimular soluções que viabilizem combustíveis renováveis. Por outro lado, a privatização do setor elétrico com a desverticalização das concessionárias pode colocar em risco algumas ações de fomento da eficiência junto aos consumidores. A função de regulamentação dos diversos produtos energéticos cresce de importância para que sejam evitadas distorções como as observadas no passado (POOLE; HOLLANDA; TOMALSQUIM, 1998).

2.2.3. Infraestrutura

A barreira relacionada à infraestrutura concentra-se na falta de prestadores de serviço com a especialização necessária para desenvolver projetos desse tipo (GELLER, 2003).

2.2.4. Incentivos Mal Alocados

Muitas vezes administradores das unidades consumidoras aplicam seus recursos através de uma visão “imediatista”, contabilizando o menor custo inicial do projeto de instalação ou reforma e assim optam por comprar equipamentos mais baratos, porém menos eficientes. No aluguel de uma propriedade, por exemplo, o dono normalmente é responsável pela compra de equipamentos, mas são os inquilinos que pagam a conta de energia. O incentivo para o proprietário é minimizar os custos imediatos, levando a compra de equipamentos ineficientes (GELLER, 2003).

2.2.5. Informação e Treinamento

A falta de informação é um dos principais empecilhos para a expansão das técnicas de eficiência energética. Normalmente os responsáveis pelas unidades consumidoras acabam por confundir conservação com racionamento, não possuem informação sobre o assunto e muitas das vezes acabam não acreditando nas informações que recebem de terceiros, duvidando dos benefícios que poderão ter e, assim, não se sensibilizam, ignorando os conceitos de conservação de energia elétrica em seus projetos. Este tipo de atitude acaba sendo até mais acentuado quando falamos das instituições públicas, onde a verba para aquisição de equipamentos é pouca, e os funcionários responsáveis pela manutenção aliam a falta de informação sobre o assunto com a falta de recursos financeiros, optando na maioria das vezes por equipamentos baratos e conseqüentemente ineficientes.

A maneira encontrada para superar esta barreira informacional foi a criação da Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE) que visa difundir os conceitos e técnicas de eficiência energética.

A criação da CICE é uma obrigação legal prevista no decreto 99.625, de 26 de outubro de 1990, que dispõe sobre a criação desta comissão nos órgãos ou entidades da Administração Federal direta ou indireta, fundações, empresas públicas e sociedades de

economia mista, controladas diretamente ou indiretamente pela União, que apresentem consumo anual de energia elétrica superior a 600.000kWh.

Apesar de a obrigação ser somente para órgãos públicos, a CICE é instrumento importante e que deveria ser implantado ao menos em todos os tipos de unidades consumidoras de grande porte (VARGAS JR., 2006).

2.2.6. Procedimento de Compra

Para se implantar um projeto de eficiência energética, é necessário que durante o processo de licitação dos equipamentos, exista uma especificação técnica adequada ao tipo de produto que se quer adquirir. Muitas das vezes, a falta de uma especificação correta, implica na compra de produtos de má qualidade e que não trarão os benefícios esperados. Portanto, a incapacidade dos técnicos em especificar os equipamentos torna-se um problema para implantação desse tipo de projeto (VARGAS JR., 2006).

2.2.7. Concessionárias

Na maioria dos casos as concessionárias aumentam os lucros quando vendem mais energia e reduzem quando vendem menos. Portanto, não há interesse delas em incentivar a eficiência energética. No entanto, a inadimplência, muito grande em países em desenvolvimento, pode ser utilizada como incentivo para as concessionárias, já que existem certos tipos de consumidores, às vezes públicos, que não pagam suas contas. Portanto, se incentivarem a eficiência energética do uso de eletricidade por partes destes consumidores, as concessionárias reduzirão seus prejuízos, disponibilizando mais eletricidade para quem pode pagar por ela (VARGAS JR., 2006).

2.2.8. Fornecedores e Equipamentos

Algumas indústrias tendem a se opor a uma política que vise à eficiência energética. Como exemplo, podem-se citar os construtores e fabricantes de equipamentos elétricos, que tendem a se opor a padrões mínimos de eficiência energética para seus produtos, já que esses padrões fazem com que eles tenham que investir mais em pesquisa e modernização de sua linha de produção (GELLER, 2003).

2.2.9. Capital

Muitas vezes os consumidores não possuem recursos financeiros para adquirir produtos mais eficientes que normalmente são mais caros e, assim, acabam comprando os mais baratos durante a execução de um projeto. Porém, isso pode ser resolvido através da utilização de fontes de financiamento destinadas para este fim, principalmente no caso dos grandes consumidores (VARGAS JR., 2006).

3.Sistemas de Iluminação

Todo e qualquer ambiente de trabalho precisa estar adequadamente iluminado de modo a permitir a execução de tarefas para os quais aquele ambiente se destina. O objetivo de um sistema de iluminação é justamente proporcionar essa iluminação de modo eficiente, evitando desperdícios (CERVELIN, 2002).

Pode-se dizer que existem tecnologias de controle de iluminação que combinam a iluminação natural externa produzida pelos raios solares com a iluminação artificial interna produzida pelo sistema de iluminação artificial convencional composto por lâmpadas e luminárias de diversos tipos. Este tipo de controle é realizado automaticamente, como por exemplo, interligação entre computadores e sensores que captam a iluminação de um determinado ambiente, controlando a intensidade da iluminação artificial em função da quantidade de iluminação natural presente no ambiente. Estudos mostram que este tipo de controle pode gerar economia de até 45% no consumo de energia elétrica no verão e 21% no inverno (ONAYG, GULER, 2003).

3.1. Iluminação Artificial

Na iluminação artificial, que consiste na iluminação de interiores utilizando energia elétrica por meio de lâmpadas, luminárias reatores etc. deve-se considerar a qualidade da iluminação, que nada mais é do que a escolha adequada do tipo de lâmpada a ser utilizada levando em consideração a orientação do seu feixe de luz, a fim de que se posicione de forma correta sobre o plano de trabalho e também seu posicionamento e distribuição dentro do ambiente a ser iluminado, para que assim possa se obter uma boa uniformidade na iluminação.

Na iluminação elétrica deve-se considerar, também, a quantidade de luz, que se refere aos níveis de iluminamento. As quantidades e as qualidades de iluminamento, quando corretamente projetadas, farão com que a tarefa visual ocorra com um máximo de rapidez, exatidão, facilidade e comodidade, despendendo assim, de um mínimo esforço por parte dos usuários daquele ambiente. A grande vantagem da iluminação artificial é de permitir o desenvolvimento de atividades em determinados horários pelos quais a iluminação natural não pode suprir, como por exemplo, durante o período da noite.

Pode-se considerar também dois tipos de iluminação artificial, a iluminação geral e a iluminação localizada, conforme mostrado nas Ilustrações 3.1 e 3.2 respectivamente.

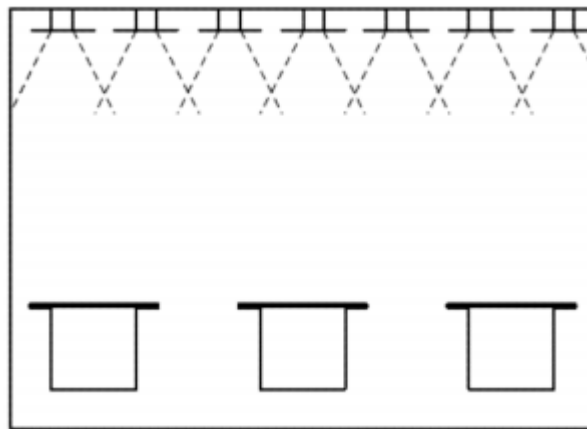


Figura 3.1: Iluminação Geral.
Fonte: ABILUX, 1992.

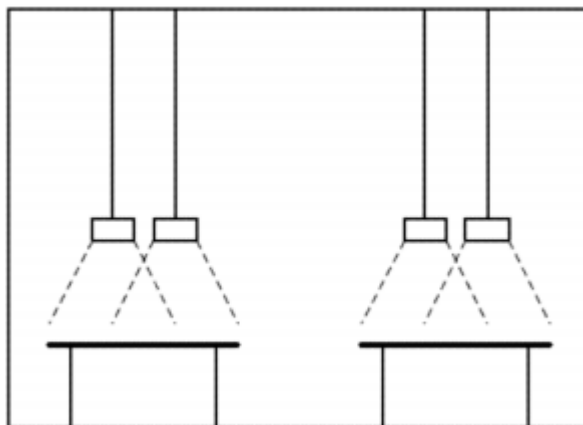


Figura 3.2: Iluminação Localizada.
Fonte: ABILUX, 1992.

Quanto à iluminação geral, esta proporciona a iluminância⁵ horizontal sobre toda a área a ser iluminada com certa uniformidade. Quanto à iluminação localizada, ela é utilizada em locais em que há necessidade de se produzir um iluminamento suficientemente elevado, para o desenvolvimento de atividades de precisão (CERVELIN, 2002).

Para se determinar um correto iluminamento, ou seja, determinar a quantidade de iluminância (medidos em lux) do ambiente, o projetista deve usar como referência a NBR 5413. Esta Norma estabelece os valores de iluminância por classe de tarefas

⁵ Iluminância – Densidade de luz necessária para uma determinada tarefa visual. É um dado fundamental para se quantificar o nível de iluminação existente. É definida em termos mais simples como o fluxo luminoso incidente numa superfície por unidade de área, expressando-se o resultado em *lux*.

visuais, levando em consideração também, o requisito da tarefa e a faixa etária das pessoas que irão utilizar o ambiente. Podem-se notar através da Tabela 3-1 os valores médios das iluminâncias por classes de tarefas visuais.

Tabela 3-1: Iluminâncias por Classes de Tarefas Visuais.

Classe	Iluminância (lux)	Tipos de Atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 – 30 – 50	Áreas Públicas com arredores escuros.
	50 – 75 – 100	Orientação simples para permanência curta.
	100 – 150 – 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos.
	200 – 300 – 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
B Iluminação geral para área de trabalho	500 – 750 – 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	1000 – 1500 – 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 – 3000 – 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	5000 – 7500 – 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica.
	10000 – 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.

Fonte: NBR 5413

Pode-se perceber que para cada classe de tarefa são apresentados três valores possíveis de iluminância. Para se determinar a iluminância correta, deve ser realizada uma ponderação que leva em conta a idade do usuário, a velocidade e a precisão da tarefa visual, e a refletância do fundo de tarefa. Esta ponderação pode ser verificada na Tabela 3-2 em que são atribuídos pesos a cada um dos quesitos. A Norma determina que quando a soma algébrica destes pesos (considerando os sinais) for igual a -2 ou -3

adota-se a iluminância inferior do grupo; será adotado o valor superior da iluminância quando a soma for +2 ou +3; e será adotado a iluminância média nos outros casos.

Tabela 3-2: Fatores Determinantes da Iluminância Adequada.

Característica da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
<i>Idade</i>	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55
<i>Velocidade e precisão</i>	Sem importância	Importante	Crítica
<i>Refletância do fundo de tarefa</i>	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Fonte: NBR 5413.

A avaliação do desempenho do sistema de iluminação, que será considerado neste projeto, será inferida a partir da comparação dos dados obtidos em campo com os especificados na Norma.

A Tabela 3-3 apresenta os valores de iluminância a serem considerados no caso dos ambientes estudados neste projeto segundo a norma brasileira de iluminação de interiores (NBR 5413).

No processo de especificação de um projeto de iluminação deve-se ter muito cuidado com a utilização de conceitos teóricos sobre a natureza e características da luz, como por exemplo, propriedade de reflexão, transmissão e absorção da luz pelos corpos pois estes conceitos teóricos apesar de serem de fundamental importância para as especificações técnicas dos sistemas de iluminação, sua manipulação para a aplicação prática pode acarretar em alternativas nem sempre muito eficientes, e isto ocorre, principalmente, por que estes conceitos são poucos usuais e nem sempre compreendidos da forma adequada. Uma opção tecnológica equivocada ocasiona, na grande maioria dos casos, uma perda de eficiência energética, traduzida sob a forma de desperdício de energia. Assim sendo, podem-se destacar algumas recomendações em relação a elaboração e especificação dos projetos de iluminação, para que deste modo se possa atender aos requisitos de desempenho, conforto visual e economia. Neste sentido, destacam-se:

- Manutenção de nível de iluminância compatível com a acuidade visual definida pela norma brasileira de iluminação de interiores que leva em consideração para a execução das tarefas de um determinado ambiente a faixa etária de seus usuários;

- Utilização de equipamentos ativos (lâmpadas), passivos (luminárias, teto, paredes) e de controle (reatores e ignitores) que sejam eficientes na produção de luz e no direcionamento do fluxo luminoso;
- Realizar a setorização dos circuitos para que deste modo se possa operar de maneira mais flexível o sistema de iluminação desativando, por exemplos, os circuitos de áreas desocupadas;
- Utilização de cores que propiciem adequado contraste no plano de trabalho (desempenho visual), considerando também os efeitos da decoração;
- Emprego de lâmpadas que reproduzam o espectro de luz nas tonalidades requeridas pela tarefa a ser executada e/ou pela ocupação do ambiente;
- Disposição geométrica adequada de lâmpadas e luminárias no campo visual, evitando o emprego de materiais e situações que possam ocasionar ofuscamento.

Tabela 3-3: Iluminâncias por Tipo de Ambiente de Trabalho.

Ambiente	Iluminâncias (lux)
Corredores e escadas	75 – 100 – 150
Banheiros:	
• Geral	100 – 150 – 200
• Espelhos (iluminação suplementar)	200 – 300 – 500
Salas de aula	200 – 300 – 500
Quadros negros	300 – 500 – 750
Laboratórios:	
• Geral	150 – 200 – 300
• Local	300 – 500 – 750
Anfiteatros e Auditórios:	
• Plateia	150 – 200 – 300
• Tribuna	300 – 500 – 750
Salas de desenho	300 – 500 – 750
Sala de reuniões	150 – 200 – 300

Fonte: NBR 5413.

Para um projeto correto de eficiência energética em relação a iluminação de interiores utilizando a iluminação artificial podem-se destacar as medidas adotadas que visam a substituição e/ou a complementação dos elementos dos sistemas. Este tipo de ação requer algum tipo de investimento, pois serão empregadas tecnologias mais

eficientes em iluminação. Por outro lado, as medidas administrativas atuam no sentido de reorganizar e/ou otimizar os equipamentos ativos e passivos existentes e a utilização dos ambientes, sem a necessidade de elevados dispendidos financeiros. A aplicação destes dois conjuntos de maneira simultânea propicia o maior aproveitamento das oportunidades de aumento de eficiência energética.

A análise da utilização dos ambientes deve ser feita afim de, através muitas das vezes da utilização de medidas administrativas, determinar principalmente o horário de funcionamento de um determinado ambiente, pois feito isso se pode tomar medidas administrativas, como exemplo, desligar o sistema de iluminação quando o ambiente não esteja sendo utilizado. O horário de utilização deve ser bem mapeado principalmente durante o horário de ponta do sistema elétrico, ou seja, no intervalo compreendido entre 17h e 30min e 20h e 30min período em que são praticadas tarifas mais elevadas. Caso seja necessário manter ligado o sistema de iluminação durante este período do dia, é importante, sempre que possível, racionalizar sua utilização, desligando-o nos ambientes que não estejam sendo ocupados e até alterando o horário de início e término das atividades se possível.

O desligamento do sistema de iluminação durante o horário do almoço constitui-se numa efetiva medida administrativa, pois propicia a redução do seu tempo de funcionamento e, conseqüentemente, se traduz na diminuição do consumo de energia elétrica mediante a racionalização do uso e durabilidade da lâmpada.

3.1.1. Equipamentos

A seguir serão apresentados os principais tipos de equipamentos utilizados em sistemas de iluminação.

3.1.1.1. Lâmpadas

Segundo GUIZI (1998), as lâmpadas são os únicos componentes do sistema de iluminação que podem converter energia elétrica em luz visível. Porém, para que esta luz possa ser produzida e adequadamente distribuída é necessário utilizar os chamados componentes auxiliares como os reatores (dependendo da lâmpada utilizada) e luminárias.

As principais características de uma lâmpada são:

I. Fluxo Luminoso

Fluxo luminoso representa uma potência luminosa emitida por uma fonte luminosa, por segundo, em todas as direções, sob a forma de luz. Sua unidade é o lúmen. Em uma analogia com a hidráulica, seria como um chafariz esférico, dotado de inúmeros furos na sua superfície. Os raios luminosos corresponderiam aos esguichos de água dirigidos a todas as direções e decorrentes desses furos (Rodrigues, 2002).

II. Eficiência Luminosa

Pode-se dizer que eficiência luminosa de uma fonte luminosa é o quociente entre o fluxo luminoso emitido em lúmens, pela potência consumida em watts. Em outras palavras, esta grandeza retrata a quantidade de "luz" que uma fonte luminosa pode produzir a partir da potência elétrica de 1 watt. A Tabela 3-4 cita a eficiência luminosa das diferentes tecnologias de lâmpadas comercialmente disponíveis no mercado nacional.

Tabela 3-4: Eficiência Luminosa das Diferentes Tecnologias de Lâmpadas

Lâmpada	Eficiência Luminosa (lm/W)
Incandescente	10 a 15
Halógenas	15 a 25
Mista	20 a 35
Fluorescente Tubular	55 a 75
Fluorescente Compacta	50 a 80
Vapor Metálico	65 a 90
Vapor de Sódio	80 a 140
Vapor de Mercúrio	45 a 55
LED	30 a 70

Fonte: Rodrigues, 2002

III. Índice de Reprodução de Cor (IRC)

Este índice representa a medida de correspondência entre a cor real de um objeto e sua aparência diante de uma determinada fonte de luz. A luz artificial, como regra, deve permitir ao olho humano perceber as cores corretamente, ou o mais próximo possível da luz natural do dia (luz do sol). Lâmpadas com índice de 100% apresentam as cores com total fidelidade e precisão. Quanto mais baixo o índice, mais deficiente é a reprodução de cores. Os índices variam conforme a natureza da luz e são indicados de acordo com o uso de cada ambiente.

IV. Vida Média

Corresponde ao tempo no qual 50% de uma amostra de lâmpadas ensaiadas se mantêm acesas sob condições controladas em laboratórios.

Existem vários tipos de lâmpadas existentes hoje no mercado disponível para venda, as com filamento convencional ou halógenas produzem luz pela incandescência, assim como o sol. As de descarga aproveitam a luminescência, assim como os relâmpagos e descargas atmosféricas e os diodos utilizam a fotoluminescência, assim como os vaga-lumes.

Existem ainda as chamadas lâmpadas mistas, que combinam incandescência e luminescência, e as fluorescentes, cuja característica é o aproveitamento da luminescência e da fotoluminescência.

Os aspectos de eficiência luminosa e vida útil são os que mais contribuem para a eficiência energética de um sistema de iluminação artificial e devem, portanto, merecer grande atenção, seja na elaboração de projetos e reformas, seja na implantação de programas de conservação e uso eficiente de energia.

3.1.1.1.1. Lâmpadas Incandescentes

A lâmpada incandescente representa a fonte de luz artificial mais difundida no mundo, embora seja a menos eficiente e com menor duração. Da energia que consome só 10 a 15% se transforma em energia luminosa. Toda a outra parcela de energia se transforma em calor, por isso consegue uma reprodução de cor (IRC) de 100% (GAIA, 2004).

A iluminação incandescente resulta da incandescência de um fio percorrido por corrente elétrica, devido ao seu aquecimento, quando este é colocado no vácuo ou em meio gasoso apropriado. Para que o filamento possa emitir luz eficientemente, deverá possuir um elevado ponto de fusão e baixa evaporação. Os filamentos são, atualmente, construídos de tungstênio trefilado. A Figura 3.3 mostra as características construtivas de uma lâmpada incandescente.

Segundo a tabela do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do INMETRO, atualmente no Brasil, a vida mediana de uma incandescente é de 1000 horas, porém, no caso de ser dimensionada para funcionar em 127 V, a vida mediana pode ficar por volta de 750 h.



Figura 3.3: Características Construtivas da Lâmpada Incandescente

Fonte: Retirado do site: wikipedia.org/wiki/Lâmpada_incandescente. Acessado em 18/10/12.

Além de serem utilizadas para a iluminação de ambientes as lâmpadas incandescentes também são utilizadas de uma maneira em que possam fazer uso do calor produzido por si: chocadeiras de aviários, caixas de aquecimento para tanques de répteis, máquinas industriais de processamento por radiação infravermelha, entre outros. Nos climas frios o calor gerado por lâmpadas incandescentes contribui para o aquecimento dos edifícios. Para aplicações diversas, existem lâmpadas infravermelhas, germicidas, para iluminação geral ou refletora.

3.1.1.1.2. Lâmpadas Halógenas

As lâmpadas halógenas pertencem à família das lâmpadas incandescentes de construção especial, pois contêm halogênio dentro do bulbo, adicionado ao gás criptônio, e funciona sob o princípio de um ciclo regenerativo que tem como funções evitar o escurecimento, aumentar a vida mediana e a eficiência luminosa da lâmpada (FUPAI, 2006). Com isso, ela ganha estabilidade de fluxo luminoso e um aumento de durabilidade que varia entre 2.000 e 4.000 horas.

A Figura 3.4 mostra as características construtivas de um modelo de lâmpada halógena.

Em termos de economia, as lâmpadas halógenas oferecem mais luz com potência menor ou igual que as incandescentes comuns.

Já existem lâmpadas halógenas com proteção ultravioleta. Esse filtro reduz em até 5 vezes a radiação UV emitida pela lâmpada, evitando o desbotamento das cores.

As lâmpadas halógenas possuem luz mais branca e brilhante, o que possibilita realçar as cores e os objetos com eficiência energética maior que as lâmpadas incandescentes comuns.

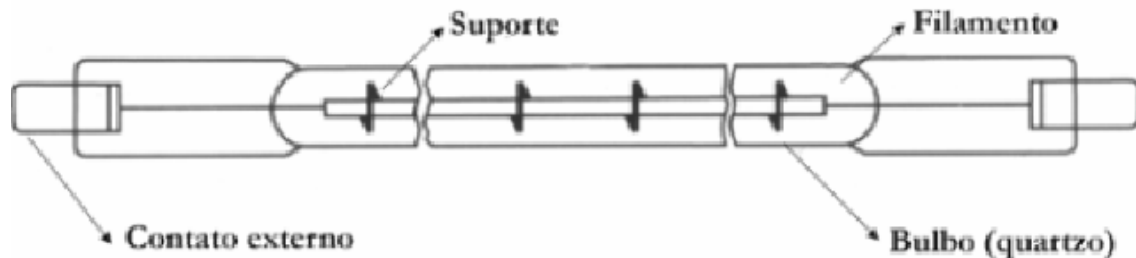


Figura 3.4: Características Construtivas da Lâmpada Halógena
Fonte: FUPAI, 2006.

As lâmpadas halógenas podem apresentar uma série de formatos e detalhes de características diferentes. A Figura 3.5 apresenta alguns modelos de lâmpada halógena.



Figura 3.5: Modelos de Lâmpadas Halógenas
Fonte: OSRAM, 2010 –B

A lâmpada halógena possui uma vida mediana e uma eficiência luminosa um pouco maiores do que a incandescente comum. Devido ao fato de apresentarem um fluxo luminoso maior e uma melhor reprodução de cores, suas aplicações são diversas, como iluminação de fachadas, áreas de lazer e de estacionamentos, artes gráficas, máquinas fotocopiadoras, filmadoras, faróis de automóveis, entre outras (FUPAI, 2006).

3.1.1.1.2.1. Lâmpadas Dicroicas

A lâmpada dicroica é uma lâmpada halógena com bulbo de quartzo, no centro de um refletor com espelho multifacetado numa base bipino. Possui fecho de luz bem delimitado, homogêneo, de abertura controlada e mais fria, pelo fato de transmitir aproximadamente 65% da radiação infravermelha para a parte superior da lâmpada. É disponível em duas versões com potência de 50W e tensão de 12 V, sendo necessário o uso de transformador, a saber:

- Dicroica fechada: abertura de fecho de 12°, 24° e 36°, com refletor dicroico com vidro frontal;
- Dicroica aberta: abertura de fecho de 24° e 36°, com vidro refletor dicroico sem vidro frontal.

As lâmpadas halógenas com refletor dicroico possuem uma luz mais branca, mais brilhante e intensa, são ótimas para fins decorativos, transmitem menos calor ao ambiente e possuem um fecho de luz homogêneo bem definido.

Este tipo de lâmpada possui o mesmo tipo de funcionamento das lâmpadas halógenas assim como sua durabilidade de cerca de 2.000 a 4.000 horas. A Figura 3.6 mostra um modelo de lâmpada dicroica.



Figura 3.6: Modelo de Lâmpada Dicroica
Fonte: TASCHIBRA, 2012

3.1.1.1.3. Lâmpadas de Descarga

Nas lâmpadas de descarga, a luz é produzida por uma descarga elétrica contínua em um gás ou vapor ionizado, às vezes, combinado com fósforo depositado no bulbo que, excitado pela radiação de descarga, provocam uma luminescência. Trata-se de uma lâmpada que internamente necessita de gases ou vapores que podem variar de acordo com o tipo de lâmpada. Os gases utilizados com maior frequência são o argônio, o neônio, o xenônio, o hélio ou o criptônio e os vapores de mercúrio e de sódio, muitas vezes com algum aditivo (FUPAI, 2006).

Uma lâmpada de descarga necessita de um reator para limitar a corrente e adequar as tensões ao perfeito funcionamento das lâmpadas. Os reatores podem ser eletromagnéticos ou eletrônicos. Os eletromagnéticos fazem parte da primeira geração de reatores e são constituídos por um núcleo de aço silício e bobinas de fio de cobre esmaltado, impregnados com resina de poliéster e com carga mineral, tendo grande poder de isolamento e dissipação térmica (FUPAI, 2006).

Lâmpadas com reatores eletrônicos podem ter uma partida convencional, precisando de um ignitor (*starter*) para acendimento, que é indicado para locais úmidos, de baixa temperatura ou sem condições de aterramento ou podem ter uma partida rápida, sem a necessidade de um ignitor associado ao reator, nesse caso, a lâmpada acende rapidamente desde que associado ao uso de uma luminária de chapa metálica devidamente aterrada (SILVA, 2008).

Estes tipos de reatores proporcionam uma luz com cor mais estável, menor consumo de energia elétrica e maior vida útil quando comparados com os reatores eletromagnéticos.

Graças a avanços tecnológicos, os reatores eletrônicos podem ser dimerizáveis, permitindo uma maior conservação de energia elétrica no uso de lâmpadas de descarga (SILVA, 2008).

3.1.1.1.3.1. Lâmpadas Fluorescentes Tubulares

São lâmpadas de descarga de baixa pressão, onde a luz é produzida por pó fluorescente que é ativado pela radiação ultravioleta da descarga. No bulbo de formato tubular e longo há um filamento em cada extremidade contendo vapor de mercúrio em baixa pressão com uma pequena quantidade de gás inerte para facilitar a partida. O bulbo é recoberto internamente com um pó fluorescente ou fósforo que, compostos, determinam a quantidade e a cor da luz emitida. A Figura 3.7 mostra as características construtivas de uma lâmpada fluorescente tubular.



Figura 3.7: Características Construtivas da Lâmpada Fluorescente Tubular
Fonte: FUPAI, 2006

Essas lâmpadas são a clássica forma para a iluminação econômica. Possuem comprimentos diversos que variam entre aproximadamente 400 mm, 600 mm, 1200 mm e 2400 mm, cuja potência varia de 15 a 110W, tonalidades de cor distintas e em dois diâmetros (26mm e 33,5mm) para operação em partida rápida, convencional ou eletrônica. A alta eficiência, longa durabilidade (7.500 a 20.000 horas) aliada com um IRC que pode chegar a 85%, possibilitam assim, uma reprodução de cores muito boa fazendo com que sejam muito utilizadas em iluminação de grandes áreas como escritórios, bancos, lojas, escolas, hospitais, hotéis, supermercados etc.

3.1.1.1.3.2. Lâmpadas Fluorescentes Compactas

São lâmpadas fluorescentes de tamanho reduzido, criadas para substituir com vantagens as lâmpadas incandescentes em várias aplicações. Estão disponíveis em várias formas e tamanhos, podendo vir com o conjunto de controle incorporado ou não, e ainda com bases do tipo Edson (roscas), igual a base das lâmpadas incandescentes (FUPAI, 2006).

Essas lâmpadas oferecem excelente qualidade de luz, alta eficiência energética, longa durabilidade (até 15.000 horas) e excelente distribuição de luz. Também apresentam, como vantagens, o consumo de energia elétrica até 80% menor, quando comparadas as incandescentes; e o índice de reprodução de cores (IRC) é de cerca de 85% (VARGAS JR., 2006).

As lâmpadas fluorescentes compactas podem ser compradas com o reator integrado ou não (AIE, 2006). A Figura 3.8 mostra as características construtivas de uma lâmpada fluorescente compacta.

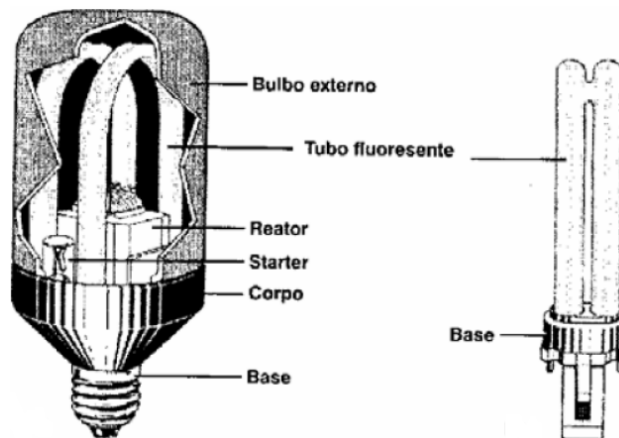


Figura 3.8: Características Construtivas da Lâmpada Fluorescente Compacta

Fonte: FUPAI, 2006.

Atualmente, existem no mercado diversos modelos de lâmpadas fluorescentes compactas com formatos, potências e cores distintas, possibilitando seu uso desde um simples abajur até em locais com pé direito mais elevado. A Figura 3.9 apresenta alguns modelos dessas lâmpadas.



Figura 3.9: Modelos de Lâmpadas Fluorescentes Compactas
Fonte: OSRAM, 2010 – C

3.1.1.1.4. Lâmpadas a Vapor de Mercúrio

Estas lâmpadas são constituídas basicamente de um bulbo de vidro duro, que contem em seu interior um tubo de descarga feito de quartzo para suportar altas temperaturas. Possuem em seu interior argônio e mercúrio que, quando vaporizado, produzirá o efeito luminoso.

A distribuição de cores na composição do espectro do fluxo luminoso destas lâmpadas é pobre, porém, o tubo de descarga emite uma quantidade considerável de energia ultravioleta. Torna-se então necessário fazer uma correção de cor, visando aumentar a cor vermelha, adicionando-se uma camada de fósforo no bulbo.

O IRC é de 45, a eficiência luminosa varia entre 45 a 55 lm/W, e a vida varia em torno das 18.000 horas, sendo encontradas em vias públicas, fábricas, parques, praças, estacionamentos, etc.

3.1.1.1.5. Lâmpadas Mistas

Constam de um tubo de arco de vapor de mercúrio em série com um filamento incandescente de tungstênio que, além de produzir fluxo luminoso funciona como elemento de estabilização da lâmpada. Reúne características da lâmpada incandescente, fluorescente e vapor de mercúrio.

As lâmpadas de luz mista dispensam o reator uma vez que o filamento além de produzir luz, limita a corrente de funcionamento, podendo ser ligados diretamente a rede, em tensões de 220 V, pois tensões menores não seriam suficientes para a ionização do tubo de arco. O IRC dessas lâmpadas é 60%, e a eficiência luminosa é em torno de

25 lm/W (muito baixa comparada com a lâmpada a vapor de mercúrio) e tem restrições quanto a posição de funcionamento, ou seja, não é uma boa opção para um sistema de iluminação, pois a vida útil é de aproximadamente 6000 horas. A potência varia entre 160 W a 500 W.

3.1.1.1.6. Lâmpadas de Vapor Metálico

Devido a grande popularização das lâmpadas a vapor de mercúrio e também devido ao aperfeiçoamento da tecnologia, surgiram às lâmpadas de vapor de mercúrio com iodetos metálicos ou brometos, ou simplesmente, lâmpadas de vapor metálico.

Estas lâmpadas são lâmpadas de vapor de mercúrio nas quais se introduzem outros elementos (iodetos, brometos) em seu tubo de descarga, de forma que o arco elétrico se realize numa atmosfera de vários vapores misturados. Obtém-se assim maior eficiência luminosa, até 90 lm/W e melhor composição espectral.

São especialmente recomendadas quando se quer ótima qualidade na reprodução de cores como em lojas, shoppings, estádios, pistas de corrida, principalmente quando se pretende televisionamento em cores.

O IRC varia entre 65 e 85, conforme tipo e potência, bem como a temperatura de cor, que varia entre 3000K a 4900K e tem uma vida média na ordem de 15.000 horas.

3.1.1.1.7. Lâmpadas de Vapor de Sódio

3.1.1.1.7.1. Lâmpadas de Vapor de Sódio de 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.

Este tipo de lâmpada atinge sua condição normal de funcionamento em aproximadamente 15 minutos, produzindo um fluxo luminoso de cor amarela, devido à descarga de vapor de sódio.

A vida mediana deste tipo de lâmpada chega a ser superior a 15.000 horas e devido ao fato de sua luz ser monocromática, sua aplicação fica limitada a locais que não é necessário um alto índice de reprodução de cor (IRC), ou seja, autoestradas, portos, pátios de manobras, entre outras (Eletrobrás / PROCEL, 2006).

3.1.1.1.7.2. Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão

Seu formato é bastante similar ao da lâmpada de mercúrio, diferenciando apenas pelo formato do tubo de descarga que é comprido, estreito e feito de oxido de alumínio sinterizado translúcido onde é colocado xenônio para iniciar a partida, mercúrio para corrigir a cor e sódio em alta pressão.

Este tipo de lâmpada demora cerca de 3 a 4 minutos para atingir seu brilho máximo e dentro deste tempo acabam por existir várias mudanças nas cores emitidas em função da composição dos gases internos, até chegar na sua cor branca-dourada e este tipo de lâmpada ainda possui uma vida média que chega a ser superior a 24.000 horas.

Pelo fato de possuírem uma propriedade de cor mais agradável que as de baixa pressão, encontram um número maior de aplicações, sendo usadas em vias publicas, ferrovias, áreas de estacionamento, e em todo o tipo de iluminação externa bem como em iluminação interna de indústrias (Eletrobrás / PROCEL, 2006).

3.1.1.1.8. LED (Diodos Emissores de Luz)

Os diodos emissores de luz (*Light Emitting Diode - LED*) são componentes semicondutores que convertem corrente elétrica em luz visível. Com tamanho bastante reduzido, o LED oferece vantagens através de seu desenvolvimento tecnológico, tornando-o numa alternativa real na substituição das lâmpadas convencionais. Diferentemente do que ocorre com a lâmpada incandescente, que abrange todo espectro de cores o LED é monocromático, gerando apenas uma única cor que depende do tipo de material utilizado, como por exemplo, galênio, arsênio e fósforo (FUPAI, 2006).

Os LEDs podem ser de baixa (0,1 W), média (0,2 a 0,5 W) e de alta potência (acima de 0,5 W). Em geral, os de baixa e média potência são utilizados para sinalização e efeitos decorativos. Os de alta potência já podem ser aplicados em iluminação em geral (VARGAS JR., 2006).

Os LEDs apresentam alguns benefícios conforme listados a seguir:

- Longa durabilidade (pode-se obter até 100.000 horas de funcionamento);
- Alta eficiência luminosa;
- Variedade de cores;
- Dimensões reduzidas;
- Alta resistência a choques e vibrações;

- Não gera radiação ultravioleta e infravermelha;
- Baixo consumo de energia e pouca dissipação de calor;
- Redução nos gastos de manutenção, permitindo a sua utilização em locais de difícil acesso;
- Possibilidade de utilização com sistemas fotovoltaicos em locais isolados (Eletrobrás / PROCEL, 2006).

Com o desenvolvimento da tecnologia de materiais e a descoberta de novas técnicas de fabricação, os LEDs vêm sendo produzidos com custos cada vez menores, proporcionando uma diversidade de aplicações, como sinalização e iluminação de efeito (OSRAM, 2010 – D). Atualmente estão disponíveis no mercado uma série de módulos de LEDs que substituem as lâmpadas convencionais em diversas aplicações. A Figura 3.10 apresenta alguns modelos de LEDs.



Figura 3.10: Modelos de Lâmpadas LEDs
Fonte: OSRAM, 2010 – D

3.1.1.2. Luminárias

As luminárias são constituídas pelos aparelhos com as lâmpadas, e têm função de proteger as lâmpadas, orientar ou concentrar o fecho luminoso, difundir a luz, reduzir o ofuscamento e proporcionar um bom efeito decorativo. Consistem de uma cavidade onde se localiza o refletor (que deverá maximizar o aproveitamento da luz produzida pela lâmpada), de componentes para fixação das lâmpadas e de espaços para os reatores. Uma luminária não produz economia de energia diretamente, mas contribuirá para a economia através da otimização de desempenho de cada um de seus componentes (CERVELIN, 2002).



Figura 3.11: Exemplo de Luminárias

Fonte: Retirado do site: everlight.com.br. Acesso em 10/08/12.

Na Tabela 3-5 será apresentada a classificação das luminárias.

No caso de luminárias para edificações, embora se utilize basicamente lâmpadas fluorescentes, a diversidade de tipos é extensa e variada, variedade esta provocada não só pelo número e potência das lâmpadas utilizadas e pelos modos de instalação e montagem, mas principalmente pela forma de controle de luz.

A diversidade de luminárias utilizadas em interiores é muito grande e muitas vezes os projetistas ficam em dúvida sobre qual modelo apresenta melhor rendimento. Além do material utilizado na sua composição, deve-se observar também a finalidade para qual está sendo utilizada. Contudo, algumas conclusões já foram tiradas sobre este tema (GHISI, LAMBERTS, ENTAC 1998):

- Em ambientes muito grandes a reflexão nas paredes é desprezível;
- As luminárias com refletor de alumínio sem aletas representam a melhor solução para a redução de carga instalada, seguida pela luminária com refletor de alumínio com aletas brancas. Porém, para locais onde se necessita de controle de ofuscamento sugere-se a segunda opção;
- Luminárias com difusor são as que exigem maior carga instalada podendo ser 55,3% superior às luminárias com refletor de alumínio sem aletas.

Na Tabela 3-6 pode-se observar a redução percentual média da potência instalada em iluminação em função do tipo de luminária instalada.

Tabela 3-5: Classificação das Luminárias.

Tipo	Características Gerais
Embutidas	<ul style="list-style-type: none">- Normalmente usadas com lâmpadas incandescentes comuns.- Apresentam baixo rendimento.- Normalmente apresentam problemas de superaquecimento.- Difícil manutenção.
Fechadas (lâmpadas fluorescentes)	<ul style="list-style-type: none">- São encontradas com vários tipos de elementos de controle de luz (refletores espelhados com proteção visual, difusor prismático etc.).- Rendimento moderado, dependendo do tipo de elemento de controle da luz.- Podem ser fixadas sobre a superfície do teto e, em alguns casos, podem ser embutidas.- Os que dispõem de refletores sem elementos de controle de luz apresentam melhor rendimento.
Abertas	<ul style="list-style-type: none">- Podem ser encontradas com ou sem elementos de controle de luz.- Apresentam rendimentos superiores aos das luminárias fechadas.- Fácil manutenção.- Podem ser fixadas sobre a superfície do teto ou suspensas.
Spots	<ul style="list-style-type: none">- São utilizadas com vários tipos de lâmpadas incandescentes refletoras ou coloridas.- Utilizados para iluminação direcional do fluxo luminoso.- Fácil manutenção.- Podem ser fixados sobre as superfícies ou embutidos.
Projetores	<ul style="list-style-type: none">- Encontrados em vários tamanhos.- Apresentam bom rendimento luminoso.- São fixados sobre as superfícies ou suspensos.- Podem ser usados com lâmpadas incandescentes comuns até lâmpadas a vapor de sódio.- Fácil manutenção, dependendo das condições do local.

Fonte: Eletrobrás / PROCEL, 2006.

Tabela 3-6: Percentual de Redução da Carga Instalada em Relação ao Tipo de Luminária.

Tipo de Luminária	Redução na Carga Instalada
Refletor branco com difusor	0,0
Refletor branco sem difusor	15,2
Refletor e aletas em alumínio	18,9
Refletor e aletas brancos	19,0
Refletor de alumínio e aletas	31,9
Refletor de alumínio sem aletas	34,6

Fonte: GHISI; LAMBERTS; ENTAC 1998.

3.1.1.3. Reatores

Os reatores são acessórios necessários a operação das lâmpadas fluorescentes. Através de maior indutância, capacitância e/ou resistência, os reatores limitam a corrente elétrica ao valor necessário para operação adequada da lâmpada e também para produzir a ignição. Para obter o máximo desempenho em sistemas de iluminação é essencial o uso de reatores com baixas perdas (alto fator de potência) ou alta frequência de operação (CERVELIN, 2002).

Pode ser do tipo eletromagnético ou eletrônico, com partida rápida ou convencional, e com alto ou baixo fator de potência. O tipo de reator utilizado irá influenciar no consumo de energia (Eletrobrás / PROCEL, 2006).

Reatores eletromagnéticos são os mais comuns nas instalações. Geralmente compostos de núcleo de ferro, bobinas de cobre e capacitores para correção do fator de potência. Devido as suas perdas elétricas, emissão de ruído audível, efeito *Flicker*⁶ e carga térmica elevada não são vistos com bons olhos por aqueles que pretendem fazer uso eficiente da energia elétrica (Eletrobrás / PROCEL, 2002).

Reatores eletrônicos são os mais procurados por profissionais voltados ao uso eficiente da energia. Trabalham em alta frequência (20 a 50 kHz), sendo mais eficientes que os eletromagnéticos. A qualidade do produto, no entanto, é um fator que deve ser levado em consideração para que se obtenha sucesso na execução do projeto (Eletrobrás / PROCEL, 2002).

⁶ Efeito *Flicker* – intermitência no fluxo luminoso, também conhecido como cintilação e efeito estroboscópico.

Os reatores convencionais necessitam de um dispositivo auxiliar para o acendimento da lâmpada, chamado de *starter*⁷, enquanto os de partida rápida podem acionar até duas lâmpadas e não necessita de dispositivo auxiliar de partida (CERVELIN, 2002).

Os aspectos básicos a serem considerados na escolha adequada de um tipo de reator são o fator de potência (FP) e a distorção harmônica (THD), que são mostradas na Tabela 3-7.

Tabela 3-7: Relação do FP e THD com os Tipos Diferentes de Reatores.

Tipo	Reator Eletromagnético		Reator Eletrônico	
	Fator de Potência Normal	Alto Fator de Potência	Fator de Potência Normal	Alto Fator de Potência
FP	0,4 – 0,7	0,8 – >0,9	0,4 – 0,7	>0,9
THD (%)	6 – 18	15 – 27	75 – 200	16 – 42

Fonte: NLRIP CFL Specifier Report, Advanced Lighting Guidelines

Os reatores de baixo desempenho são aplicados normalmente para acender lâmpadas em ambientes residenciais. Os reatores de alto desempenho são equipados com filtros que evitam interferências no sistema elétrico e são indicados para instalações comerciais, hospitais e escolas.

Há ainda os reatores eletrônicos dimerizáveis, que permitem a dimerização de fluorescentes. Seu uso permite a integração da luz natural com a artificial - quando combinados a sensores, eles vão aumentando ou diminuindo a intensidade luminosa das lâmpadas conforme a necessidade, de modo que a luz artificial seja usada apenas como complemento a luz natural (VARGAS JR., 2006).

3.1.1.4. Equipamentos Auxiliares

Para que se possa realizar um projeto de iluminação eficiente é necessário que se conheça alguns equipamentos para que a partir destes conhecimentos possa se garantir uma eficiência energética elevada através da utilização adequada destes dispositivos.

3.1.1.4.1. Sensor de Presença

A utilização destes equipamentos pode gerar economias significativas. Estes dispositivos asseguram que as luzes permaneçam apagadas quando as salas estão

⁷ *Starter* – Equipamento que fecha o circuito de partida convencional da lâmpada fluorescente para aquecer os filamentos, e depois abre o circuito para a partida da lâmpada.

desocupadas, sendo suas aplicações mais apropriadas em locais com perfil de ocupação intermitente ou imprevisível.

O sistema é composto por um detector de movimento (que utiliza ondas ultrassônicas ou radiação infravermelha), uma unidade de controle eletrônica e um interruptor controlável (relé). O detector de presença sente o movimento e envia o sinal apropriado para a unidade de controle. A unidade de controle, então, processa o sinal de entrada para fechar ou abrir o relé que controla o acendimento da luz. (Eletrobrás / PROCEL, 2002).

3.1.1.4.2. Sistema por Controle Fotoelétrico

Este sistema possui sensores que identificam a presença de luz natural, fazendo a devida diminuição ou até mesmo o bloqueio da luz artificial através de dimmers controlados automaticamente. Quanto maior é a quantidade de luz natural disponível no ambiente, menor será a potência elétrica fornecida as lâmpadas e vice-versa (Eletrobrás / PROCEL, 2002).

3.1.1.4.3. Minuterias

A pessoa que entra no prédio ativa a minuteria, que acende as lâmpadas por um período de tempo preestabelecido, suficiente para o usuário chegar ao seu local de destino. Após o tempo programado, o temporizador desativa as lâmpadas evitando o desperdício de energia (Eletrobrás / PROCEL, 2002).

3.1.1.4.4. Dimmers

Este equipamento controla, através de um circuito eletrônico, a potência fornecida à lâmpada. Este aparelho é normalmente encontrado para lâmpadas incandescentes. Alguns modelos de reatores eletrônicos e mesmo eletromagnéticos incorporam a função do *dimmer*, permitindo o controle contínuo da luminosidade em lâmpadas fluorescentes. Existem também modelos de lâmpadas fluorescentes compactas que permitem a utilização de dimmers comuns, os mesmos empregados no controle de lâmpadas incandescentes (Eletrobrás / PROCEL, 2002).

3.2. Iluminação Natural

Apesar de todo o conhecimento, o aproveitamento da luz natural foi deixado de lado por um longo período da história. Com o surgimento da lâmpada incandescente e, posteriormente, da lâmpada fluorescente, a iluminação natural ficou em segundo plano nos edifícios residenciais e comerciais.

Por outro lado, após as duas grandes guerras, a crise na questão energética ficou iminente, cujo ápice se deu em 1973 com a grande crise do petróleo. Em função disso, medidas de racionamento do consumo de energia foram potencializadas, bem como cresceu a preocupação mundial em relação aos recursos naturais renováveis e não renováveis.

Um elevado potencial de economia de energia pode ser alcançado com a utilização da iluminação natural como fonte de luz para iluminar os ambientes internos. Além do potencial de economia, a iluminação natural possui outros benefícios insubstituíveis, tais como:

- Melhoria no conforto com a minimização de consumo energético;
- Bem-estar dos indivíduos com o aumento de produtividade;
- Ótima reprodução das cores.

3.2.1. Incidência Solar no Brasil

Além das condições atmosféricas, a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso se deve à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente (movimento de rotação) e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação) como mostra a Figura 3.12..

Desse modo, a duração solar do dia – período de visibilidade do Sol ou de claridade – varia, em algumas regiões e períodos do ano, de zero hora (Sol abaixo da linha do horizonte durante o dia todo) a 24 horas (Sol sempre acima da linha do horizonte).

A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima da linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações na duração solar do dia. Contudo, a maioria da população brasileira e das atividades socioeconômicas do País se concentra em regiões mais distantes do Equador.



Figura 3.12: Representação das Estações do Ano e do Movimento da Terra em Torno do Sol.
Fonte: MAGNOLI, D.; SCALZARETTO. R. Geografia, espaço, cultura e cidadania (adaptado)

O mapa da Figura 3.13 apresenta a média anual de insolação diária no Brasil.

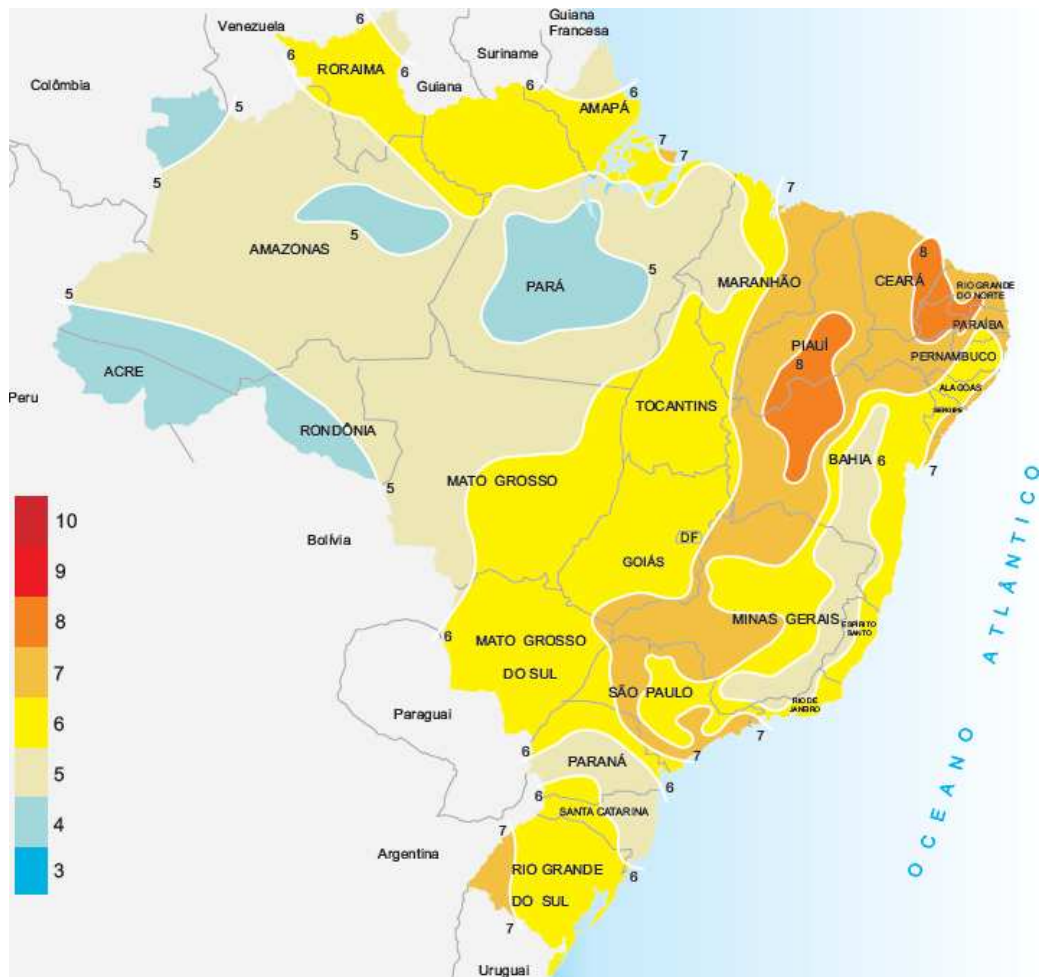


Figura 3.13: Média Anual de Insolação Média no Brasil (em horas).
Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil (adaptado)

Pode-se notar no mapa que o Rio de Janeiro, cidade na qual foca-se o estudo deste projeto de iluminação, tem em média uma incidência de raios solares, ou seja, de iluminação natural de cerca de 6 horas por dia. Estes dados apresentam apenas uma

média, pois durante o ano o Rio de Janeiro apresenta um mínimo de insolação diária de 5 horas durante o mês de setembro e um máximo de 7 a 8 horas de insolação diária média nos meses de janeiro e fevereiro.

Desse modo, para maximizar o aproveitamento da radiação solar, pode-se ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais incidência de radiação solar.

Deve-se lembrar de que o Atlas Solarimétrico utilizado como referência apenas leva em consideração o tempo de sol “útil” para a utilização de painéis fotovoltaicos para a conversão para a energia elétrica, ou seja, estes valores em horas é o tempo em que se tem o maior aproveitamento do sol para a conversão da energia.

O objetivo deste estudo é saber qual o tempo de luz solar na cidade do Rio de Janeiro, local onde se situa a Universidade Federal do Rio de Janeiro. Para isto foi consultado o Anuário do Observatório Nacional de 2011 no qual mostra a hora do nascer e do por do sol para todos os dias do ano de 2011. A partir da análise dos dados contido no Anexo I deste trabalho podem-se calcular as médias de iluminação natural por mês na cidade do rio de Janeiro conforme mostrado na Tabela 3-8.

Tabela 3-8: Tabela da Média de Iluminação Natural na cidade do Rio de Janeiro.

Média de Iluminação Natural (em horas)	
Janeiro	13,36
Fevereiro	12,86
Março	12,22
Abril	11,56
Mai	11,02
Junho	10,75
Julho	10,88
Agosto	11,34
Setembro	11,96
Outubro	12,62
Novembro	13,21
Dezembro	13,52

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Anuário do Observatório Nacional 2011.

Através da simples observação dos valores das médias de horas de iluminação natural por mês é possível notar que subutilizamos este tipo de iluminação no dia-a-dia,

que além de prover economia de energia elétrica, pois este tipo de energia luminosa proveniente do sol é de graça, ela ainda apresenta inúmeros benefícios à saúde.

3.2.2. Benefícios da Luz Natural

A luz natural proporciona ao ambiente uma variabilidade que depende do percurso do sol, bem como uma qualidade visual mais agradável e apreciada comparado à iluminação artificial. A relação do usuário com um ambiente iluminado naturalmente é, sem dúvidas, mais estimulante e prazeroso que aquele iluminado artificialmente.

Para aproveitamento adequado da luz natural, é importante um estudo acertado no desenvolvimento do projeto arquitetônico para se evitar a incidência da luz solar direta sobre os ambientes. A radiação solar pode gerar um superaquecimento do ambiente interno, principalmente em países de clima quente como o Brasil. Nesse sentido, o estudo de orientação da edificação deve ser feito respeitando as características locais do terreno.

Estudos recentes vêm relacionando as condições de trabalho dos ocupantes dos prédios ao meio ambiente interno. Novas doenças têm surgido nestes tempos modernos, relacionando este ambiente saturado a sintomas até então desconhecidos. Estas novas doenças que começam a fazer parte do nosso dia a dia prejudicam a produtividade e bem estar dos ocupantes. A mais importante destas novas doenças é a chamada *Sealed Building Syndrome*, ou Síndrome dos Prédios Selados.

A Síndrome dos Prédios Selados vem sendo estudada a mais de 15 anos nos EUA, e os resultados das pesquisas são impressionantes. Bem, antes de qualquer coisa, é bom dizer que se entende por “prédio selado” aqueles que, por projeto, não interagem de forma alguma com o meio ambiente externo.

Os estudos comprovam que o ser humano e seu relógio biológico reagem favoravelmente aos estímulos naturais que recebem, proporcionando uma sensação de bem estar. Comprovou-se também que o estímulo que mais atua no relógio biológico humano e suas reações é a luz do dia.

A luz do dia regula o apetite e o sono, entre outras funções básicas. O uso de iluminação natural, em qualquer prédio, melhora em até 40% o desempenho e o bem estar de seus ocupantes. Mas a utilização da iluminação natural, em um país como o Brasil, que tem um alto índice de iluminação solar durante o ano, infelizmente não é bem explorada. Talvez por falta de maiores informações, talvez por falta de materiais

eficientes, o uso da iluminação natural nas empresas de arquitetura e engenharia é encarado como um problema diretamente ligado à transmissão de calor ao interior do prédio, e por consequência, ao desconforto térmico.

Este desconforto é gerado pela ineficiência (ou inexistência) do sistema de ar condicionado ou de ventilação, não dimensionado para a carga térmica transmitida ao interior das instalações. Felizmente, o desconforto gerado pela incidência solar na iluminação natural está com seus dias contados. Novos materiais e técnicas fazem com que as alternativas existentes comecem a perder terreno. Estes materiais e estas novas técnicas de transmissão da energia luminosa do sol sem transmitir a energia térmica já está sendo utilizada em dispositivos como o Solatube e também no sistema de Iluminação por Cabos de Fibra Óptica.

3.2.2.1. Efeitos da Luz Natural no Homem

Os seres humanos são afetados tanto psicologicamente quanto fisiologicamente pelos diferentes espectros fornecidos pelos diferentes tipos de luz existentes. Estes efeitos são menos quantificáveis e facilmente esquecidos quando comparamos com os benefícios da luz natural. A iluminação natural tem sido associada com a melhora do humor, um aumento da autoestima e da moral das pessoas, menor fadiga além de também diminuir a chamada fadiga ocular.

De acordo com pesquisas medicas o corpo usa a luz como um nutriente para o seu próprio processo metabólico assim como utiliza a água e os alimentos. A luz natural estimula funções essenciais no cérebro e divide em cores que são vitais para a nossa saúde. Em um dia nublado ou em um ambiente com pouca iluminação, a inabilidade de perceber as cores da luz pode vir a afetar o humor e o nível de energia das pessoas.

3.2.2.2. Luz Solar no Escritório

Pessoas que trabalham em prédios comerciais que possuem boa iluminação natural dizem que isto aumenta o seu bem estar e a vontade de trabalhar, ou seja, o ambiente de trabalho se torna um lugar mais agradável.

Benefícios exclusivos da iluminação natural em ambientes de trabalho, segundo pesquisas, vão deste uma melhora na saúde das pessoas que trabalham naquele ambiente, um aumento no desempenho mental dos trabalhadores acarretando em um aumento da produtividade destas pessoas e também na diminuição de acidentes de trabalho o que leva a uma economia em termos financeiros da própria empresa, pois os

seus funcionários acabam por terem menos stress no dia-a-dia, uma qualidade de vida maior e assim os casos de doenças e acidentes de trabalho acabam diminuindo fazendo com que a empresa gaste menos dinheiro com custos médicos de seus funcionários através do benefício de assistência hospitalar (plano de saúde). Estudos mostram, também, que dores de cabeça e algumas síndromes são ocasionadas a um nível insuficiente de luz o que com a iluminação natural não ocorre.

Algumas pesquisas foram realizadas na Europa e os resultados mostram que em empresas que utilizam apropriadamente uma iluminação natural, seus funcionários aumentaram sua produtividade em média de 15 %, em algumas empresas os resultados foram mais expressivos, pois o aumento na produtividade chegou a 40 % e a partir destes dados vários empresários decidiram que seus funcionários não deveriam ficar afastados da janela por mais de 24 pés (7,3 m) a fim de obter uma boa iluminação natural em seu ambiente de trabalho.

3.2.2.3. Luz Solar na Universidade

Professores e alunos podem beneficiar-se muito com a integração e correta manutenção da luz solar dentro dos ambientes das escolas e universidades. A adoção deste tipo de iluminação em substituição ou com a complementação da luz artificial atualmente utilizada acaba por reduzir os custos dos gastos gerais das unidades de ensino, melhora a assiduidade do aluno e seu desempenho acadêmico e também torna o ambiente menos estressante para o estudante.

O artigo, *Benefits of Natural Daylighting* (1998), afirma que este tipo de iluminação aumenta a frequência tanto de alunos quanto de professores, aumenta a produtividade de ambos, reduz a fadiga, os alunos ficam mais saudáveis aumentando o seu desempenho de uma forma geral. A luz natural tende a reduzir ou até mesmo acabar com a fonte de luz artificial do local fazendo com o que diminua o ruído produzido pelo efeito Flicker aumentando assim a qualidade do ambiente. Outros estudos mostram que aluno em ambientes sem a luz natural do sol tende a ficar hostil, hesitante, desajustado, tende a mostrar menos interesse e também aumenta a tendência de reclamar mais quando comparamos com aluno que fica em ambientes com iluminação natural.

3.2.3. Tipos de Iluminação Natural

Tendo em vista o grande benefício da iluminação natural é comum existir vários projetos para a sua utilização, porém devem-se entender melhor todas as suas formas de

aplicação para que se possa escolher um projeto que venha a ser o mais eficiente possível. Atualmente pode-se “levar” a luz do sol para dentro de um ambiente basicamente de duas formas: através do sistema de iluminação (cabos de fibra óptica ou o Solatube) ou através de edifícios projetados para a melhor utilização da luz solar. Deve-se analisar se este ambiente é para um local que já se encontra construído e apenas deseja-se fazer uma reforma afim de introduzir este sistema de iluminação natural para redução de custo e aumento da produtividade e satisfação das pessoas que utilizam daquele ambiente ou é um projeto para a construção de um determinado empreendimento afim de otimizar a iluminação natural; senão levarmos em consideração se o edifício está construído para escolher o melhor projeto, o mesmo pode se tornar financeiramente inviável pois, por exemplo, os investimentos para a adaptação de um edifício comum para um que otimiza a entrada da iluminação solar seriam muito altos podendo se tornar inviável.

3.2.3.1. Projeto de Edifícios

Sustentabilidade é, hoje, o ponto chave no conceito de desenvolvimento. O desenvolvimento sustentável assegura que sejam supridas as necessidades presentes, sem, porém, comprometer a possibilidade de futuras gerações satisfazerem as necessidades de seu tempo. A prática da arquitetura segundo esses princípios é denominada Arquitetura Sustentável. Este termo está intimamente ligado a dois conceitos: energia e meio ambiente.

As restrições energéticas e o problema ambiental, temas que há tempos são objeto de discussão mundial, têm mostrado a importância de se adotar algumas estratégias, dentre as quais, por exemplo, reduzir o consumo energético dos edifícios. Também o conceito de qualidade ambiental⁸ dos edifícios é diretamente ligado ao de eficiência energética: o uso contínuo de energia na construção, no uso, na manutenção e demolição dos edifícios, de fato, além de diminuir a emissão de poluentes na atmosfera, determina também um melhoramento das condições de conforto dentro dos edifícios. Nesta óptica, o *Environmental Building News (EBNs)* propõe uma lista de prioridades para os edifícios sustentáveis, dentre as quais podemos destacar (AMORIM, 2000):

⁸ A qualidade ambiental dos edifícios considera as relações físicas, materiais e energéticas entre a construção e o ambiente que a circunda; o conforto ambiental interno é um dos parâmetros, juntamente com o consumo energético, a segurança, o impacto ambiental da construção e do uso do edifício e outros (PIARDI et al,1999).

- Economizar energia: projetar e construir edifícios energeticamente eficientes. O uso contínuo de energia é provavelmente o maior impacto ambiental específico de um edifício, e por isso o projeto energeticamente eficiente deve ser a prioridade número um. Isto se relaciona com diversos aspectos, dentre eles a utilização de fontes energéticas renováveis, a minimização das cargas de aquecimento e refrigeração, a otimização da luz natural etc.
- Construir edifícios “saudáveis” – conforto ambiental e segurança: por exemplo, através da introdução da luz e ventilação naturais onde for possível.
- Maximizar a longevidade dos edifícios: projetar pensando na duração e possibilidade de adaptação funcional dos edifícios ao longo do tempo. Quanto mais dura um edifício, maior é o período de tempo no qual os impactos ambientais serão amortizados.

A energia pode ser aplicada nos edifícios em diversos usos finais: os diretamente ligados ao projeto arquitetônico são a iluminação, a climatização e o aquecimento de água. É interessante observar também que, no contexto brasileiro, grande parte da energia produzida no país é consumida em edifícios. A crise energética vivida a alguns anos atrás demonstrou as consequências da escassez de energia e levantou ainda mais a questão do uso racional dos recursos energéticos existentes. O uso otimizado da luz natural em novos projetos ou em reformas de edifícios existentes é certamente uma estratégia eficaz para isto.

Os sistemas e componentes que podem ser utilizados para aproveitamento da luz natural vão desde os mais simples, como proteções solares fixas, prateleiras de luz até tecnologias mais sofisticadas como a utilização de cabos de fibra óptica. A Tabela 3-8 apresenta uma classificação dos componentes que podem ser utilizados para a luz natural, inseridos no projeto de arquitetura.

Tabela 3-9: Classificação dos Componentes para a Luz Natural

Componentes para a Luz Natural		
<i>Componentes de Condução</i>	<i>Componentes de Passagem</i>	<i>Elementos de Controle</i>
Espaços de Luz Intermediários	Laterais	Superfícies de Separação
Galeria	Janela	Divisória Convencional
Pórtico	Sacada	Divisória Óptica
Estufa	Parede Translucida	Divisória Prismática
Espaços de Luz Internos	Cortina de Vidro	Divisória Ativa
Pátio Interno	Zenitais	Proteções Flexíveis
Átrio	Lucernário Horizontal	Toldo
Duto de Luz	Luc. Tipo Monitor	Cortina
Duto de Sol	Luc. Tipo <i>Shed</i>	Proteções Rígidas
	Domo	Beiral
	Teto Translúcido	Prateleiras de Luz
	Globais	Peitoril
	Membrana	Aleta Vertical
		Filtros Solares
		Persianas
		Lameda
		Brise
		Obstáculo ao Sol
		Veneziana

Fonte: BAKER et al, 1993.

Dentre estes, alguns podem ser destacados por serem de utilização adequada a climas quentes, além de apresentarem custo relativamente baixo e exigências de manutenção simples.

3.2.3.1.1. Lucernários Tipo *Shed* e Lamelas

Difusoras

Em se tratando de componentes de passagem zenital (ver Tabela 3-9), estes devem ser cuidadosamente projetados, para evitar ganho de calor excessivo, já que a cobertura recebe mais que o dobro da carga solar se comparada às fachadas. Os lucernários lineares podem ser agrupados segundo sua geometria (horizontais, monitor, sheds, etc.). Os *sheds*, por exemplo, caracterizam-se por serem fechados por material

opaco na parte de cima, tendo somente uma das laterais com material transparente. Podem ser uma boa solução em climas quentes, pois permitem um melhor controle da luz e carga térmica; devem ser, no entanto, orientados corretamente, ter proteção solar e possivelmente lamelas para auxiliar na difusão da luz (AMORIM, Cláudia, 2002).

No projeto de requalificação do edifício *Plaza di América*, em Sevilha (Espanha), foram utilizados lucernários tipo *shed*, que foram redesenhados e orientados para o sul (hemisfério norte)⁹. Esta estratégia permite o controle da penetração solar durante o ano, além de permitir o ingresso de calor para o aquecimento passivo; as lamelas situadas abaixo da abertura contribuem para difundir ainda mais a luz. Os cálculos demonstram que estes sistemas de controle, além de outros não descritos aqui, garantem a iluminação natural dos ambientes durante 80% do tempo, reduzindo a carga energética para a iluminação artificial e o ar condicionado.

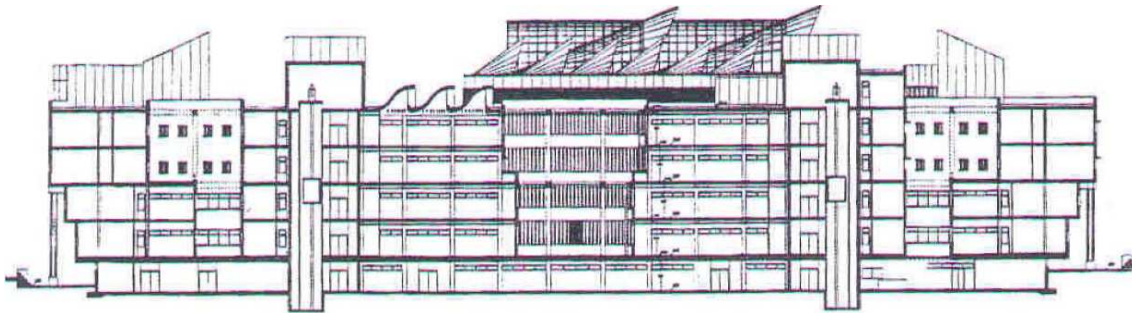


Figura 3.14: Corte Transversal do Edifício *Plaza di América* em Sevilha
Fonte: ROGORA, 1998.

A Figura 3.15 mostra o esquema de funcionamento dos *Sheds* e Lamelas bem como as suas respectivas curvas de iluminância logo embaixo dos mesmos.

⁹ Para o hemisfério sul, na latitude de Brasília, a orientação sul é adequada, pois permite que se ganhe luz difusa sem entrada de calor excessivo da radiação direta (com uma pequena proteção para os meses de verão).

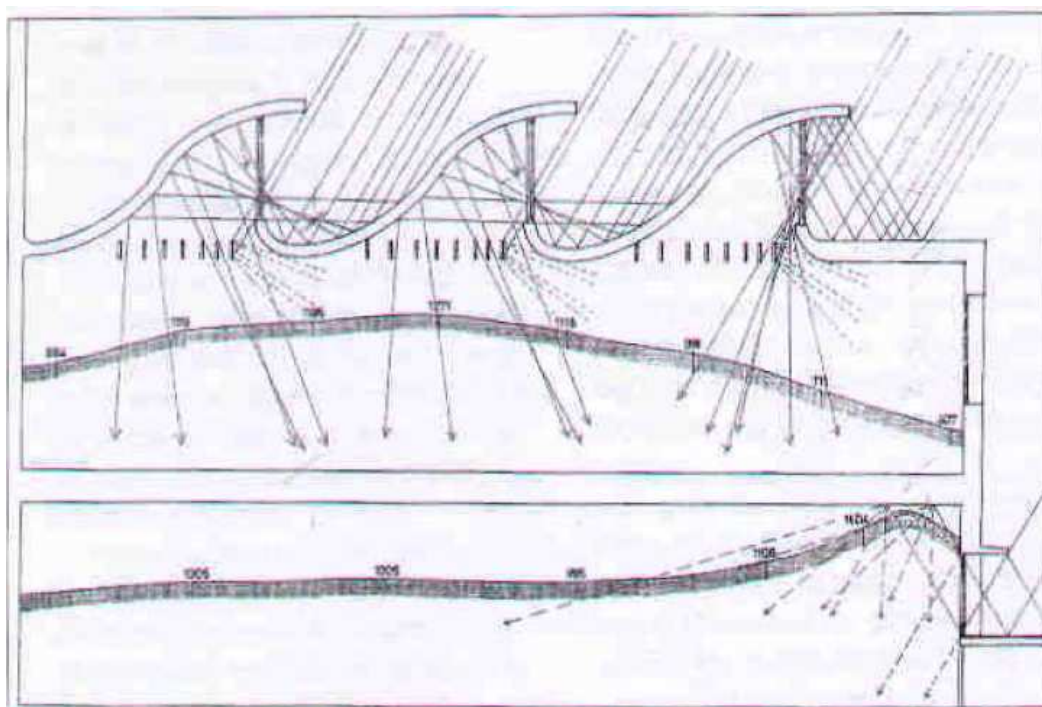


Figura 3.15: Esquema de Funcionamento dos *Sheds* e Lamelas.
Fonte: ROGORA, 1998.

3.2.3.1.2. Prateleiras de Luz

Uma prateleira de luz normalmente é posicionada horizontalmente acima do nível do observador em um componente de passagem vertical (uma janela, por exemplo), dividindo-o em uma parte superior e uma inferior. Protege as zonas internas próximas à abertura da luz solar direta e redireciona a luz que cai na superfície superior para o teto, melhorando a distribuição de luz interna. A superfície superior da prateleira pode ter acabamento em material refletor, como espelho, alumínio ou outros. As dimensões dependem dos ângulos solares da região. As prateleiras de luz podem ser internas, externas ou mistas, retas ou curvas. Podem ser usadas também debaixo de elementos zenitais, melhorando a distribuição de luz e/ou protegendo da radiação direta.

Um exemplo de aplicação de prateleiras de luz em edifícios é o Centro de Treinamento do Banco de Agricultura da Grécia, localizado em Atenas. Projeto do escritório de arquitetura Tombazis e Associados, o edifício é quase totalmente subterrâneo, para minimizar o volume aparente da construção (a área é residencial), além de favorecer o sombreamento e estabilizar as temperaturas num clima muito quente durante o verão. A luz natural foi também um parâmetro determinante do projeto: dado que o edifício é quase todo abaixo do nível do terreno, muitas das janelas dão para pátios internos e lucernários, utilizando as prateleiras de luz para garantir uma

melhor penetração da luz. Uma sala de aula típica tem altura de 3,10 m e largura de 7 m: a prateleira de luz localiza-se 2,40 m de altura acima do piso (90 cm externa, 60 cm interna) e é fabricada em chapa metálica pintada de branco, para otimizar a reflexão da luz. As prateleiras de luz agem (fachadas sudeste e noroeste) diminuindo a penetração de luz direta e criando um ambiente luminoso mais uniforme, o que é muito importante em se tratando de salas de aula.

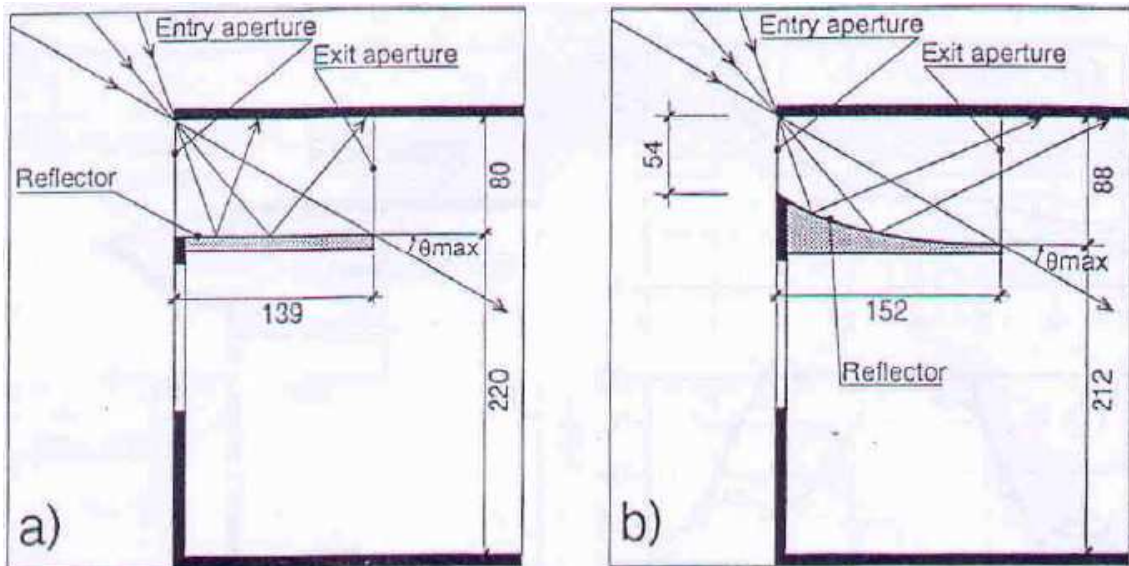


Figura 3.16: Exemplos de Prateleiras de Luz Plana (a) e Curva (b) e seu Funcionamento
Fonte: MAJOROS, 1998.

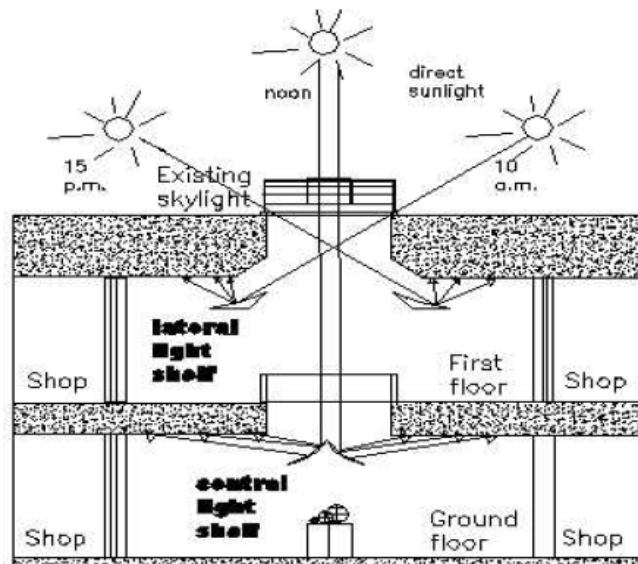


Figura 3.17: Exemplo de Utilização de Prateleiras de Luz abaixo de aberturas Zenitais
Fonte: AMORIM, 2000.

3.2.3.2. Dispositivos de Iluminação

Pela análise da Tabela 3-8 pode-se, através de cálculos simples, atribuir que a média anual de iluminação natural para o Rio de Janeiro é em torno de 12,11 horas por

dia. Esta realidade de iluminação natural não é apenas da cidade do Rio de Janeiro, muitas outras cidades do mundo apresentam este número considerável de horas de iluminação natural; a fim de se aproveitar este tipo de iluminação, que além de ser um recurso “grátis” ainda é comprovado que a iluminação natural tem benefícios à saúde, vários laboratórios do mundo pesquisam dispositivos para levar esta iluminação natural para dentro de residências e prédios. Neste projeto iremos apenas apresentar dois destes dispositivos, pois estes já são dispositivos comerciais e um deles é o foco do estudo deste trabalho.

3.2.3.2.1. Solatube®

O Solatube® é um dos primeiros sistemas de iluminação solar criado, comercializado e eficiente no mundo. Qualquer que seja a posição do sol no céu o dispositivo é capaz de captar, transferir e difundir a luz do dia de forma homogênea para o local o qual quer iluminar.

Seu funcionamento, como pode ser verificado na Figura 3.18, tem como base um conceito simples. Através de prismas e espelhos refletores especiais dispostos ao longo de um duto hermético, a luz solar é transferida para o interior de qualquer edifício horizontal ou residência.

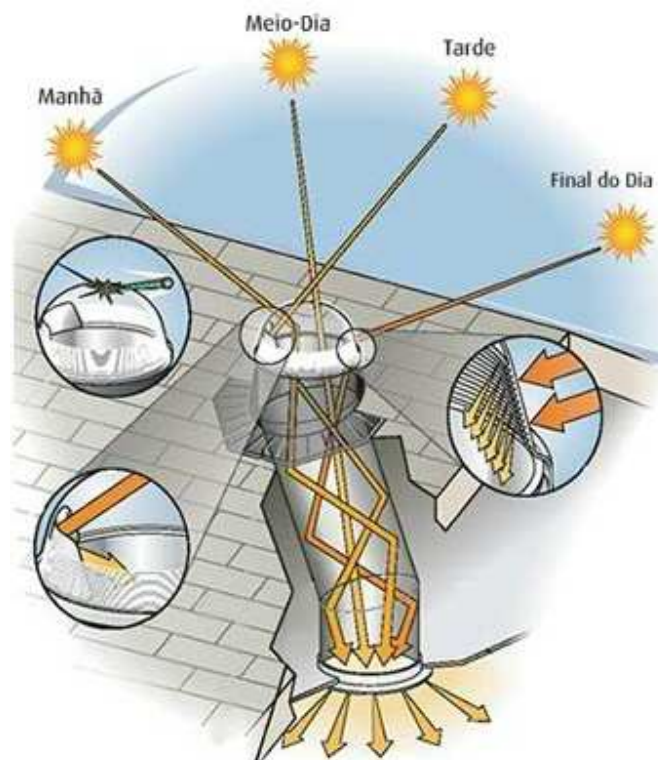


Figura 3.18: Exemplo de Funcionamento do Solatube®
Fonte: Retirada da Internet. Site: efilux.com.br em 10/08/12

O sistema é encabeçado por uma cúpula transparente, montada no telhado, que recebe a luz do Sol. Esta cúpula não só é resistente ao choque, como repele poeiras e partículas através de uma carga eletroestática.

Ao longo do dia, o espelho parabólico e o padrão de prismas na base da cúpula redirecionam a luz solar, otimizando a sua captação de acordo com a posição do Sol no céu. À medida que o Sol se aproxima do horizonte, o interior altamente refletor do tubo ajuda a manter o máximo de luminosidade, propagando luz perfeitamente branca e uniforme. Vale ressaltar que o sistema é completamente hermético e isolado impedindo a formação de umidade e a transferência de frio. A transferência de calor também é evitada, pois os raios ultravioletas são filtrados e a transferência de calor é minimizada. Basta um único Solatube para iluminar uma área de aproximadamente 46 m², mesmo em dias nublados.

O Solatube® é um dispositivo de iluminação já presente no mercado brasileiro e o seu único inconveniente é que seu funcionamento depende de tubos refletores que possuem no máximo 53 cm de diâmetro, fazendo com que sua instalação em prédios seja pouco aconselhável pelo empecilho de onde irá passar estes tubos refletores.

3.2.3.2.2. Parans Solar System

Parans Solar System é um sistema inventado pela empresa sueca *Parans* e consiste em três dispositivos o receptor, cabos de fibra óptica para a transmissão da luz e as luminárias para difusão da luz de forma homogênea por todo o ambiente a ser iluminado.

Ao contrário do Solatube® este sistema é o mais aconselhável para instalação em prédios já construídos e até mesmo em operação, pois como a transmissão da luz é feita através de cabos de fibra óptica fica muito mais fácil a sua distribuição dentro do edifício.



Figura 3.19: Receptores utilizados no Sistema da Parans.

Fonte: Retirada da Internet. Site: stlouisrenewableenergy.blogspot.com em 10/08/12

Seu sistema é mais elaborado em relação ao visto anteriormente porém parte do mesmo princípio de que o receptor, como se pode observar na Figura3.19, é um dispositivo totalmente articulado, pois ele faz o rastreamento da posição do sol e suas lentes parabólicas funcionam para que ocorra uma maior concentração dos raios solares e elas contêm uma série de filtros para que os raios ultravioletas não sejam transmitidos, fazendo com que apenas a luz seja transmitida e não o calor.

O sistema da *Parans* usa lentes para focar os raios solares já que os mesmos incidem paralelamente sobre os receptores, visto que, um sistema elétrico, que consome em média 10 W de potência, faz com que o receptor sempre rastreie a posição do sol fazendo com que os raios incidam paralelamente nas lentes tornando o sistema mais eficiente. Cada receptor é composto por 36 lentes de Fresnel, conforme mostrado na Figura3.20, que faz com que a luz incida no final de um cabo de fibra óptica. As fibras ópticas são agrupadas em cabos para a proteção das mesmas e podem ter a extensão de 5 a 20 metros.



Figura 3.20: Lentes de Fresnel Utilizadas nos receptores do sistema da *Parans*.
Fonte: Retirada da Internet. Site:stlouisrenewableenergy.blogspot.com em 10/08/12

Os cabos de fibra óptica, conforme mostrado na Figura3.21, têm uma propriedade muito importante para este sistema que é o de confinar a luz dentro da fibra. A luz é refletida inúmeras vezes na fibra e viaja com perdas muito pequenas através do material; através desta propriedade somos capazes de curvar as fibras e fazer com que elas tomem qualquer caminho desejado.



Figura 3.21: Cabos de Fibra Óptica utilizado no sistema da *Parans*.
Fonte: Retirada da Internet. Site: advancedsash.com em 10/08/12

Na Figura 3.22, mostra-se, de maneira genérica, como este sistema funciona em edifícios (comerciais ou residenciais) com mais de um andar utilizando a vantagem de que o cabo ser maleável e desde que não ultrapasse seu raio máximo de curvatura o cabo pode realizar qualquer tipo de curvatura.

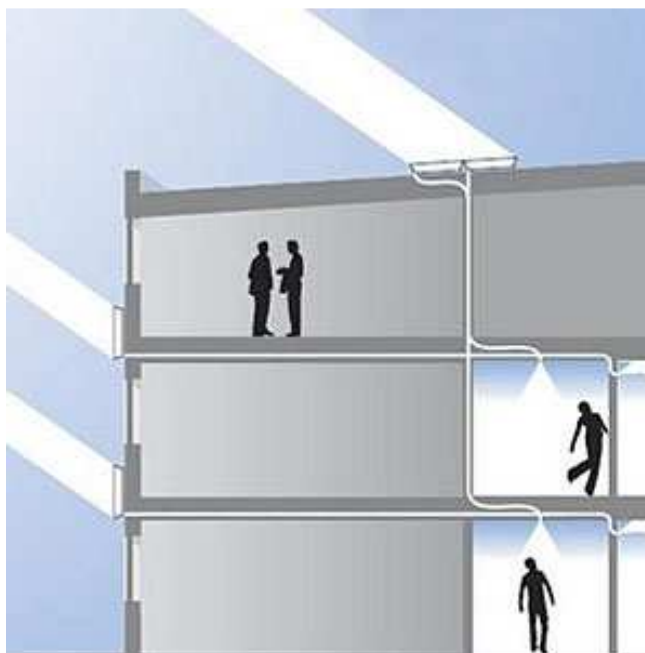


Figura 3.22: Modelo de Utilização do *Parans Solar System* em edifícios.
Fonte: Retirada da Internet. Site: eletronichouse.com em 10/08/12.

Outra peça importante no conjunto deste sistema são as luminárias, como mostrado na Figura 3.23. Elas foram especialmente desenvolvidas para melhor distribuir, pelo ambiente a ser iluminado, o fluxo luminoso concentrado que sai dos cabos de fibra óptica.

O sistema de iluminação natural é aconselhável para prédios que possuem suas atividades no horário comercial, das 8 h às 17 h como universidades ou prédios comerciais de empresas públicas ou privadas, pois estes têm a necessidade de utilizar a iluminação artificial durante o dia diferentemente de uma residência que utiliza praticamente toda sua iluminação artificial na parte da noite. Para melhorar sua comercialização a *Parans*, consciente de que o tempo pode não ajudar e a iluminação ficar prejudicada por dias nublados ou chuvosos, desenvolveu luminárias híbridas nas quais utilizam-se os cabos de fibra óptica e também lâmpadas compactas ou tubulares fluorescentes para suprir a demanda em dias que a iluminação natural não seja suficiente para iluminar adequadamente o local. No Anexo II deste trabalho encontram-se as informações complementares dos componentes do sistema como os dados técnicos do receptor, cabos de fibra óptica e luminárias e também a tabela de preços destes componentes.



Figura 3.23: Modelo de Luminária do *Parans Solar System*.
Fonte: Retirada do Catálogo da *Parans*.

4. Metodologia de Trabalho

Deve-se ressaltar, neste momento, que os valores apresentados nos resultados e conclusões deste trabalho são baseados em informações e levantamento de campo, numa instalação previamente definida e os equipamentos da parte de iluminação ali existentes, e em certo momento na vida da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), conferindo desta forma, em caráter orientador, visando, principalmente, ajudar na tomada de decisões dos responsáveis pela administração da universidade.

As fases da metodologia adotada na elaboração do projeto são:

- i. Identificação do local: levantamento das informações pertinentes do Bloco “F” do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro;
- ii. Análise e interpretação técnica: interpretação dos dados e medições obtidos em campo para a elaboração dos cálculos elétricos com a finalidade de estimar o potencial de economia em cada uso final e no total da universidade;
- iii. Análise econômica: elaboração dos cálculos necessários com a finalidade de avaliar a viabilidade do projeto.

4.1. Análise do Perfil de Consumo

4.1.1. Fator de Carga

Fator de carga é definido como “a relação entre as demandas média e máxima registradas em um dado intervalo de tempo”.

Uma maneira de verificar se a energia elétrica está sendo utilizada de maneira correta é avaliar o fator de carga da instalação estudada. Um fator de carga elevado indica que as cargas foram utilizadas racionalmente ao longo do tempo. Por outro lado, um fator de carga baixo indica que houve concentração de consumo de energia em um curto período de tempo, determinando uma demanda elevada. Isto ocorre quando muitos equipamentos são ligados ao mesmo tempo.

O fator de carga é obtido por meio de cálculo não expresso diretamente na fatura. Quanto maior for este parâmetro, mais baixo será o preço médio de energia. Uma vez que o custo da energia elétrica decresce em relação ao crescimento do fator de

carga, isto significa que um pequeno aumento no fator de carga significará uma grande redução de custo de energia.

O preço médio da energia é definido pela seguinte fórmula:

$$P_{m\u00e9dio} = \frac{T_D}{FC \times h} + T_C$$

Onde:

$P_{m\u00e9dio}$ – Preço médio da energia elétrica [R\$ / kWh];

T_D – Tarifa de demanda [R\$ / kW];

T_C – Tarifa de consumo [R\$ / kWh];

FC – Fator de carga;

h – Número de horas do período de faturamento.

Administrar o fator de carga significa gerenciar o uso dos equipamentos de forma que a curva de carga torna-se mais constante, permite assim que a demanda contratada seja menor e os gastos com energia sejam reduzidos.

As fórmulas dos fatores de carga para os sistemas tarifários são assim representadas:

❖ Tarifa Convencional:

$$FC = \frac{\text{Consumo [kWh]}}{\text{Demanda máxima [kW]} \times 730 [h]}$$

❖ Tarifa Horosazonal Azul:

$$FC_P = \frac{\text{Consumo [kWh] na ponta}}{\text{Demanda máxima [kW] na ponta} \times 66 [h]}$$

$$FC_{FP} = \frac{\text{Consumo [kWh] fora da ponta}}{\text{Demanda máxima [kW] fora da ponta} \times 664 [h]}$$

❖ Tarifa Horosazonal Verde:

$$FC_{FP} = \frac{\text{Consumo [kWh] fora da ponta}}{\text{Demanda máxima [kW] fora da ponta} \times 664 [h]}$$

Nas tarifas Convencional e Horosazonal Verde, o fator de carga é único porque existe um único registro de demanda de energia para cada período do ano (período seco e úmido), enquanto que na tarifa Horosazonal Azul há dois fatores de carga (um para horário de ponta e o outro para o fora de ponta) e assim como os outros para cada período do ano.

A Tabela 4-1 apresenta valores típicos de fator de carga de alguns ramos de atividade.

Tabela 4-1: Tabela do Fator de Carga de Acordo Com o Ramo de Atividade.

Ramo de Atividade	Fator de Carga Típico (%)
Extração de Minério de Ferro	34 a 35
Instituições de Ensino	31
Fabricação de Cimento	54
Supermercados	54
Fabricação de Estruturas Metálicas	13
Hospitais e Casas de Saúde	35 a 40
Construção Civil	31 a 33

Fonte: PEREIRA; VIEIRA, 2005.

4.1.2. Fator de Potência

O fator de potência indica qual porcentagem da potência total fornecida (kVA) é efetivamente utilizada como potência ativa (kW). Assim, o fator de potência mostra o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos. Valores altos de fator de potência (próximos de 1,0) indicam o melhor cenário para a utilização eficiente da energia elétrica, enquanto que valores baixos evidenciam seu mau aproveitamento, podendo a vir apresentar sobre carga em todo o sistema elétrico, tanto do consumidor como da concessionária. As principais causas do baixo fator de potência são:

- Motores operando em vazio ou superdimensionado;
- Nível de tensão acima da nominal;
- Reatores de lâmpadas de descarga com baixo fator de potência;
- Grande quantidade de motores de pequena potência;
- Transformadores operando em vazio ou com pequenas cargas.

A legislação que regulamenta os critérios para o fornecimento de energia elétrica determina que o fator de potência deva ser mantido o mais próximo de 1,00 e estabelece que a concessionária cubra com preços da energia ativa, o excedente de energia reativa que ocorrer quando o fator de potência da instalação consumidora for inferior ao valor mínimo (0,92). Pela Legislação, o excedente de energia reativa pode ser tanto capacitivo quanto indutivo. Se uma determinada instalação apresentar fator de potência inferior a 0,92, o valor referente a energia reativa excedente já estará sendo cobrado na fatura de energia elétrica.

O adicional aplicado pela concessionária devido ao baixo fator de potência pode ser calculado da seguinte forma para os diferentes sistemas tarifários:

▪ Tarifa Convencional:

$$Aj = (D \times T_D + C \times T_C) \times \left(\frac{0,92}{FP} - 1 \right)$$

▪ Tarifa Horosazonal Azul:

- Ponta

$$Aj_P = (D_P \times T_{DP} + C_P \times T_{CP}) \times \left(\frac{0,92}{FP} - 1 \right)$$

- Fora da Ponta

$$Aj_{FP} = (D_{FP} \times T_{DFP} + C_{FP} \times T_{CFP}) \times \left(\frac{0,92}{FP} - 1 \right)$$

▪ Tarifa Horosazonal Verde:

$$Aj = (D \times T_D + C_P \times T_{CP} + C_{FP} \times T_{CFP}) \times \left(\frac{0,92}{FP} - 1 \right)$$

Onde:

Aj – Valor em reais relativo ao ajuste de fator de potência a ser cobrado adicionalmente ao faturamento normal para o respectivo segmento Horosazonal;

D – Demanda faturada [kW];

T_D – Tarifa de demanda [R\$ / kW];

C – Consumo faturado [kWh];

T_C – Tarifa de consumo [R\$ / kWh];

FP – Fator de potência verificado no respectivo segmento Horosazonal.

Este valor poderá ser reduzido ou mesmo eliminado com a adequação do fator de potência a níveis mais elevados. A economia obtida será resultante da quantidade de potência reativa (kVAr) que puder ser eliminada da instalação.

Algumas medidas podem ser consideradas com esse objetivo. Uma delas é utilizar equipamentos com fator de potência elevado. A indústria oferece equipamentos (reatores de lâmpadas de descarga, motores, transformadores) com vários valores de fator de potência.

O correto dimensionamento dos equipamentos pode ser também uma maneira de elevar o fator de potência de uma instalação.

4.2. Projeto de Eficiência Energética

Um projeto de eficiência energética deve passar por duas etapas: a primeira consiste na avaliação técnica proposta para o melhor aproveitamento da energia elétrica, que no caso deste trabalho foi escolhido à troca do sistema de iluminação por um sistema híbrido utilizando a iluminação natural e iluminação artificial com a instalação do Parans Solar System; a segunda etapa consiste na avaliação econômica da proposta.

4.2.1. Avaliação Econômica e Financeira

As decisões de investimento em alternativas e projetos de economia e uso eficiente da energia passam, necessariamente, por uma análise de viabilidade econômica. Tais questões podem se apresentar de duas formas: ou deseja-se decidir sobre as escolhas entre duas alternativas ou mais alternativas mutuamente excludentes, ou deseja-se conhecer a economicidade de uma dada alternativa.

Estas análises, em geral, utilizam índices econômicos que permitem traduzir a atratividade de um investimento. Dentre estes índices pode-se destacar o valor presente líquido e o tempo de retorno de capital (*Pay Back*) (Eletrobrás / PROCEL, 2006).

4.2.1.1. Valor Presente Líquido

O método do valor presente líquido é bastante interessante quando se deseja comparar alternativas mutuamente excludentes, de modo que, todos os benefícios e custos em seus diversos instantes de tempo sejam trazidos para o presente. A alternativa que oferecer o maior valor presente líquido será, dentro deste critério, a mais atrativa.

O valor presente líquido pode ser definido como a diferença entre o valor presente e o investimento realizado no projeto.

Nesse momento, três definições são importantes:

- Projeto Financeiro: aplicação, estudada racionalmente, de recursos poupados em uma atividade durante um determinado tempo, ao final do qual se espera um retorno;
- Investimento: capital aplicado em um projeto financeiro;
- Taxa de Atratividade: representa uma rentabilidade mínima aceitável de um investimento. Não se deve se prender apenas ao valor da taxa de juros, embora seja esta sua mais forte determinante. Pode-se dizer assim que é a expectativa de rentabilidade, em termos de taxa de juros, que se

espera em um investimento. Na prática, esta pode ser definida através de dois enfoques: ou toma-se a taxa de juros equivalente a maior rentabilidade das aplicações correntes de pouco risco ou adota-se o custo do capital mais o risco do investimento.

A fórmula utilizada para a correção de valores no tempo é:

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^n}$$

Onde:

VP – Valor presente [R\$];

VF – Valor futuro [R\$];

i – Taxa de juros;

n – Período (vida útil do equipamento instalado).

4.2.1.2. Tempo de Retorno de Capital

O critério do tempo de retorno de capital, ou *payback*, é, sem dúvida, o mais difundido no meio técnico para análises de viabilidade econômica, principalmente devido a sua facilidade de aplicação. Nestes termos fala-se do chamado *payback* não descontado, isto é, um procedimento de cálculo onde não se leva em consideração o custo capital, ou seja, a taxa de juros. Esta análise é feita apenas dividindo-se o custo da implantação do empreendimento pelo benefício auferido. Em outras palavras, este critério mostra quanto tempo é necessário para que os benefícios se igualem ao investimento.

O tempo de retorno descontado é o número de períodos que zera o valor líquido presente, ou anual, do empreendimento. Neste caso, a taxa de juros adotada é o próprio custo de capital.

$$\begin{aligned} \text{Tempo de retorno simples} &= \frac{I}{A} \\ \text{Tempo de retorno descontado} &= \frac{\log\left(\frac{I_V}{E_C} \times i + 1\right)}{\log(1 + i)} \end{aligned}$$

Onde:

I_V – Investimento [R\$];

A – Economia obtida com o investimento realizado [R\$ em 1 ano];

i – Taxa de juros [% a.m / % a.a].

4.2.1.3. Relação Benefício-Custo – RBC

A Relação Benefício-Custo (RBC) tem grande importância na análise econômica de um projeto e pode ser calculada de uma maneira bem simples e direta:

$$RBC = \frac{\textit{Benefício Anualizado}}{\textit{Custos Anualizados}} = \frac{B}{CA_{TOTAL}}$$

O investimento anualizado é o total do investimento com equipamentos. O custo anualizado de cada equipamento depende da sua vida útil e da taxa de juros. Já o benefício anualizado pode ser calculado da seguinte forma:

$$B = (EE \times CEE) + (RDP \times CED)$$

Onde:

EE – Energia economizada [MWh / ano];

CEE – Custo evitado de energia [R\$ / MWh];

RDP – Redução de demanda na ponta [kW];

CED – Custo evitado de demanda [R\$ / kW].

O cálculo do Custo Anualizado Total (CA_{TOTAL}) está apresentado no Anexo III deste trabalho.

Todo projeto deve ter sua Relação Benefício-Custo (RBC) calculada sob a óptica da sociedade, ou seja, o cálculo do benefício é baseado na metodologia dos “custos unitários evitados” que possui como base estudos de expansão do sistema elétrico energético brasileiro.

No Anexo III deste trabalho são disponibilizadas maiores detalhes sobre o cálculo da RBC.

5. Caracterização do Ambiente Estudado

5.1. Universidade Federal do Rio de Janeiro

A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) foi criada no dia 7 de setembro de 1920 através do decreto nº 14.343, do então presidente Epitácio Pessoa, como parte das comemorações da independência do Brasil.

Atualmente, a Ilha da Cidade Universitária possui um conjunto de edificações que congregam 60 unidades acadêmicas e instituições afins conveniadas, além de setores técnicos, esportivos e administrativos da UFRJ. A malha urbana e os complexos arquitetônicos da cidade universitária – por onde circulam diariamente cerca de 60 mil pessoas – ocupam 30% do território atual da Ilha, cuja localização estratégica entre o Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim e o centro financeiro da cidade, lhe garante uma grande visibilidade.

5.2. Centro de Tecnologia (CT)

Com o objetivo de agregar unidades acadêmicas que tivessem atividades correlatas, o Centro de Tecnologia iniciou suas atividades na Cidade Universitária com a chegada da Escola de Engenharia, transferida do centro da cidade do Rio de Janeiro. Com o passar do tempo, a concepção de Centro começou a ser atingida com a criação da Escola de Química, em 1933, da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE), em 1963 e depois do Instituto de Macromoléculas (IMA).

É importante ressaltar que institutos básicos como o de Física, Matemática e química, que fazem parte do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, atualmente ocupam áreas dentro do espaço físico do CT.

De uma forma geral, hoje, o conjunto arquitetônico do CT pode ser identificado por blocos que vão de “A” a “J”. Desses, o bloco “T”, de grandes dimensões e idealizado para abrigar laboratórios, não teve uma política de ocupação de espaços definida de forma sistemática e racional, seja pela Escola de Engenharia, pela COPPE ou pela Escola de Química.

A Figura 5.1 mostra a real dimensão da Cidade universitária e todos os seus centros.

A partir de uma edificação denominada Seccionadora Principal, localizada atrás do Bloco “A”, o CT recebe energia em média tensão (13,8 kV) da concessionária. Essa

alimentação é feita através de dois circuitos subterrâneos (principal e reserva). Logo após os circuitos de alimentação encontram-se os equipamentos de proteção, composto por disjuntores, chaves e relés. Após esses equipamentos, está localizada a medição única para o CT (medidor da concessionária), que mede as grandezas físicas necessárias ao monitoramento e faturamento das contas. Logo em seguida vêm os equipamentos seccionadores onde, através de três saídas em sistema radial, e mais seis cabines seccionadoras em sistemas em anel, é feita a separação dos circuitos para os blocos, ainda em média tensão. A Figura 5.2 mostra o diagrama simplificado de blocos do sistema e a Figura 5.3 mostra a localização aproximada das subestações no prédio do CT.

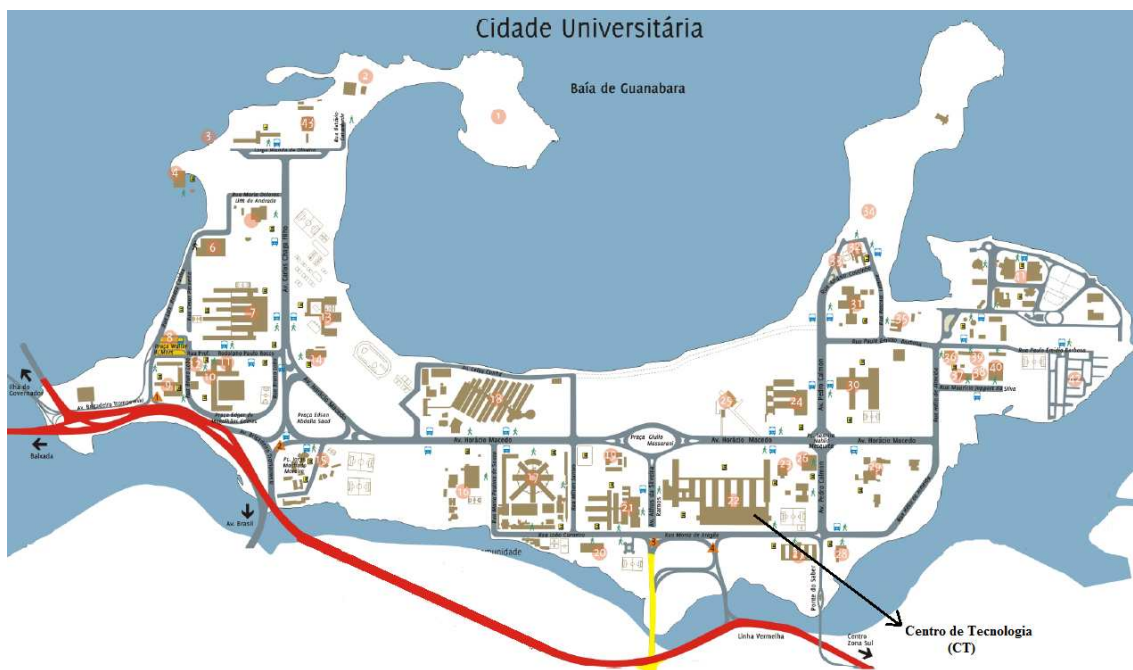


Figura 5.1: Localização do Centro de Tecnologia no Mapa da Cidade Universitária
Fonte: Mapa retirado do site: prefeitura.ufrj.br em 10/08/12.

A Tabela 5-1 mostra a relação das potências das 22 subestações.

Tabela 5-1: Tabela da Potência Total das Subestações do CT.

Subestação	Número de Transformadores	Potência Total (kVA)	Subestação	Número de Transformadores	Potência Total (kVA)
A1	2	450	E1	2	600
A2	2	412,5	E2	2	600
A3	3	875	E3	2	800
A4	3	900	F1	2	450
B1	2	300	F2	6	825
B2	1	225	G1	2	300
C1	2	300	G2	2	300
C2	5	1400	H1	4	1025
C3	2	1250	H2	3	562,5
D1	2	300	H3	5	900
D2	4	862,5	J1	3	950

Fonte: PEREIRA; VIEIRA, 2005.

5.3. Bloco “D”

O Bloco “D” foi o escolhido para se efetuar o estudo deste trabalho, por ser um bloco cujo modelo estrutural mais se adequa a todos os outros do Centro de Tecnologia, com exceção dos Blocos “A” e “H”. Além disso, foi um bloco que teve suas áreas comuns recentemente reformadas, inclusive com a troca de lâmpadas e luminárias dos corredores por equipamentos mais eficientes, realidade esta que não é comum a todos os outros blocos do Centro de Tecnologia.

O Bloco “D” é um bloco composto de dois pavimentos, contendo os seguintes departamentos:

- Departamento de Expressão Gráfica (DEG);
- Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas (DME);
- Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (DRHIMA);
- Coordenação da Habilitação Civil;
- Departamento de Construção Civil (DCC);
- Departamento de Engenharia de Transportes (DET).

Neste bloco, podem-se encontrar salas de aulas, gabinetes de professores, laboratórios de informática, secretarias de departamentos e uma copiadora; porém o

estudo deste trabalho apenas será no intuito de efetuar a troca do sistema de iluminação do corredor deste bloco, colocando o sistema de iluminação natural *Parans Solar System*.

5.4. Amostra do Diagnóstico Energético do Bloco “D”

O diagnóstico energético é um trabalho de levantamento das condições atuais de consumo de energia da instalação e dos potenciais de economia realizáveis. O diagnóstico se realiza em diferentes etapas:

- i. *Auditoria Energética da Instalação:* levanta o histórico de consumo da instalação num horizonte mínimo de 24 (vinte e quatro) meses para identificar a sazonalidade típica, efetuando também medições em tempo real;
- ii. *Levantamento das Instalações:* identifica as condições técnicas dos equipamentos e dos sistemas energéticos;
- iii. *Identificação dos Desperdícios e das Possibilidades de Intervenções Técnicas:* para reduzir o consumo de energia e deslocar demanda do horário de ponta;
- iv. *Avaliação Econômica das Medidas Propostas:* determinando as economias dos recursos projetados, o investimento necessário, a taxa de retorno e o tempo de retorno dos investimentos.

Como mencionado anteriormente, este trabalho está focado apenas no sistema de iluminação do corredor do Bloco “D”. Como este bloco foi recentemente reformado, seus corredores do primeiro e segundo andares possuem cada um 16 luminárias de embutir, contendo cada uma delas 4 lâmpadas fluorescentes tubulares com potência de 15W.

6. Estudo de Viabilidade: Bloco “D”

Observou-se a necessidade de se fazer um estudo de caso para avaliar a viabilidade de ser implantado este sistema de iluminação.

Para efeito de cálculo assume-se, em média, que o reator eletrônico tem perda nula e que cada luminária possui um reator independente da potência da lâmpada. A taxa de desconto a ser utilizada será de 8% a.a. conforme o Plano Decenal de Expansão de Energia 2019 e será considerado um regime de funcionamento do sistema de iluminação de 24 horas, sendo 3 horas de horário de ponta e 21 horas de horário fora de ponta, durante o período seco e úmido.

6.1. Sistema de Iluminação Atual

Através de observações e levantamentos de dados, pode-se observar que o Bloco “D” apresenta (considerando seus 2 andares) um total de equipamentos mostrado na Tabela 6-1.

Tabela 6-1: Quantitativos de Equipamentos Existentes no Bloco “D”.

Equipamento	Quantidade (und.)
1º Andar	
Luminárias (4x15W)	16
Lâmpadas (15W)	64
2º Andar	
Luminárias (4x15W)	16
Lâmpadas (15W)	64
<i>Total de Luminárias</i>	<i>32</i>
<i>Total de Lâmpadas</i>	<i>128</i>

Fonte: Elaboração própria a partir de dados coletados em campo.

A Figura 6.1 mostra o tipo de luminária existente no corredor. Esta luminária é caracterizada por ter um corpo de chapa de aço galvanizada com pintura eletrostática branca, as aletas são parabólicas em alumínio anodizado de alta refletância e seu refletor também é de alumínio anodizado de alta refletância.



Figura 6.1: Modelo de Luminária Existente no Bloco “D”.
Fonte: Retirado do Site: luminariaspremiere.com.br em 10/08/12

A Tabela 6-2 mostra as características das lâmpadas presentes no corredor.

Tabela 6-2: Modelo de Lâmpada Existente no Bloco “D”.

Tipo de Lâmpada	TLD15W-ELD
Potência	15W
Temperatura de Cor (K)	5.000
Fluxo Luminoso	800
Índice de Reprodução de Cor (IRC)	70

Fonte: Elaboração própria a partir do Catálogo da PHILIPS.

A Tabela 6-3 mostra o custo da tarifa praticada pela concessionária LIGHT ao qual o CT está submetido.

A partir dos dados apresentados pode-se, agora, determinar o gasto de energia elétrica por ano conforme mostrado na Tabela 6-4. Para a elaboração deste cálculo considera-se a tarifa horossazonal verde, ao qual o Centro de Tecnologia está sujeito, considerando o sistema funcionando 24 horas por dia durante, em média, 30 dias por mês e levando em conta que o período úmido é composto por 5 meses ao ano e o período seco por 7 meses ao ano.

Tabela 6-3: Tarifas Cobradas pela LIGHT.

Nível de Tensão	Demanda	Demanda de Ultrapassagem	Consumo (R\$/MWh)			
	R\$/kW		Ponta		Fora de Ponta	
			Seca	Úmida	Seca	Úmida
A4(2,3 a 25kV)	14,23	28,46	1293,84	1270,89	159,15	145,83

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da LIGHT.

Tabela 6-4: Dados de Consumo, Demanda e Gasto Anual do Sistema Atual.

Dados de Energia Elétrica Sistema Atual	
Quantidade de Lâmpadas	128
Potência das Lâmpadas	15W
Demanda	1.920W
Potência Consumida (mês)	1.382.400 Wh/mês
Potência Anual Consumida	16.588.800 Wh/ano
Gasto Anual com Consumo Elétrico	R\$ 4.892,61
Gasto Anual com Manutenção	R\$ 1.664,00
Gasto Anual Total	R\$ 6.556,61

Fonte: Elaboração própria.

6.2. Sistema de Iluminação Proposto

O sistema proposto consiste na troca de todas as 32 luminárias do modelo convencional para o modelo *Parans Luminaires LI Medium* utilizando a vantagem de ser um sistema híbrido no qual se pode utilizar 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 14 a 16W exatamente como as luminárias que já se encontram instaladas nos corredores. A Tabela 6-5 mostra o investimento necessário para a aquisição do material para a instalação do sistema.

Tabela 6-5: Quantitativos e Preço Total dos Equipamentos.

Produto	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
Receptor SP3	10	R\$ 5.846,60	R\$ 58.466,00
C05	05	R\$ 353,40	R\$ 1.767,00
C10	05	R\$ 706,80	R\$ 3.534,00
<i>LI Medium (03 und.)</i>	10	R\$ 2.760,24	R\$ 27.602,40
Preço Total (Equipamento)			R\$ 91.369,40

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se notar que na Tabela 6-5 não foi considerada a aquisição das lâmpadas e dos reatores que não serão trocados.

Na Tabela I-1 do Anexo I pode-se notar que, fazendo-se uma média anual, o sol nasce aproximadamente às 6 horas da manhã e o por do sol ocorre em média às 18 horas da tarde, logo se pode considerar que antes das 6 horas da manhã e após as 18 horas da tarde o sistema de iluminação solar não irá funcionar, fazendo com que a iluminação fique a cargo apenas das lâmpadas fluorescentes tubulares.

6.3. Análise de Viabilidade

6.3.1. Viabilidade Luminotécnica

Para se analisar a viabilidade deste novo sistema em termos luminotécnicos deve-se analisar a quantidade de fluxo luminoso no sistema atual e no sistema proposto. Analisando-se a Tabela 6-6 pode-se dizer que o sistema proposto é viável em termos luminotécnicos, pois apesar de apresentar em seu pior cenário uma redução de 15% de fluxo luminoso nas luminárias do 1º andar, de acordo com projetos realizados no âmbito do Procel EPP, esta situação em que o nível de fluxo luminoso é menor não provoca

grandes problemas, pois os avanços tecnológicos presentes em lâmpadas e reatores fazem com que pequenas potências sejam responsáveis por grandes fluxos luminosos.

Tabela 6-6: Fluxo Luminoso Total (Sistema Atual e Sistema Proposto).

Dados Luminotécnicos			
	Sistema Atual	Sistema Proposto	
		<i>1º Andar</i>	<i>2º Andar</i>
Número de Luminárias	1	1	1
Quantidade de Lâmpadas por Luminárias	4	2	2
Potência das Lâmpadas (W)	15	15	15
Eficiência Luminosa (lm/W)	53	53	53
Fluxo Luminoso do <i>Parans Solar System</i> (lm)	-----	1.100	1.400
Fluxo Luminoso Total (lm)	3.180	2.690	2.990
<i>Diferença por Luminária</i>		15%	6%

Fonte: Elaboração Própria.

6.3.2. Viabilidade Financeira

Para se determinar a viabilidade financeira deste sistema, deve-se primeiramente calcular qual seria o gasto anual total, como feito na Tabela 6-4 para o sistema atual, mas antes do cálculo deve ser discutido o funcionamento deste sistema.

O sistema apresenta a característica de ser híbrido, ou seja, suas luminárias terão os cabos de fibra óptica e 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 15W para dar suporte ao sistema. Esta iluminação artificial terá seu horário de funcionamento estabelecido da seguinte forma:

- i. 6h e 30min até às 8h e 30min – as lâmpadas serão ligadas para dar suporte à iluminação pois a intensidade de fluxo luminoso do sol pode não ser o suficiente nas primeiras horas do dia para que o local fique bem iluminado;
- ii. 16h e 30min até as 21h e 30min – durante este horário as lâmpadas serão ligadas para dar suporte às atividades de final de expediente, ou seja, as atividades de final de tarde quando, assim como pela manhã, o sol pode ter uma intensidade luminosa que não atende às necessidades, e durante a noite até o período das 21h e 30min. Para o sistema proposto, considerar que as lâmpadas ficarão ligadas 24 horas por dia é desperdício de energia, visto que não existe nenhum tipo de atividade noturna ou durante o período da madrugada no Bloco “D”.

Para o gasto total anual do sistema proposto deve-se levar em consideração também a manutenção das lâmpadas, ou seja, a compra e sua eventual troca. No sistema atual as lâmpadas funcionam durante 24 horas por dia e são trocadas em média a cada 12 meses; já no sistema proposto elas funcionaram durante 7 horas por dia fazendo com que a necessidade de troca ocorra apenas a cada 3,5 anos.

O sistema tem a capacidade de funcionar bem considerando o tempo nublado com o céu parcialmente coberto, porém ele funcionará bem abaixo do desejado, ou até mesmo não irá funcionar com o tempo totalmente encoberto e/ou com chuva; segundo o site do Climatedo, no sudeste do Brasil há uma ocorrência de chuvas e céu totalmente encoberto, com uma taxa de 18,63%. A Tabela 6-7 mostra o gasto anual parcial e a Tabela 6-8 mostra o valor real do gasto total anual levando-se em consideração a eficiência do sistema de 81,37% e a última consideração a ser feita é o fato de que o receptor do Parans Solar System consome 10W de potência por dia, logo este consumo deve ser levando em consideração no cálculo do gasto total anual.

Tabela 6-7: Dados de Consumo, Demanda e Gasto Anual Parcial do Sistema Proposto.

Dados de Energia Elétrica Sistema Proposto	
Quantidade de Lâmpadas	64 und.
Potência das Lâmpadas	15W
Quantidades de Receptor SP3	10 und.
Potência Consumida pelo Receptor SP3	10W
Potência Total Consumida	2.455.200Wh/ano
Compra de Lâmpadas (manutenção a cada 3,5 anos)	R\$ 832,00
Gasto Anual Parcial	R\$ 1.782,65

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 6-8: Gasto Total Anual Considerando a Eficiência do Sistema.

Eficiência (%)	Gasto
81,37%	R\$ 1.782,65
18,63%	R\$ 408,15
<i>Gasto Anual Total</i>	<i>R\$ 2.190,80</i>

Fonte: Elaboração Própria.

A Tabela 6-9 mostra os resultados obtidos para o sistema de iluminação do Bloco “D”.

Tabela 6-9: Resultados Obtidos entre a Comparação da Situação Atual e a Situação Proposta.

Parâmetros	Situação Atual	Situação Proposta	Economia
Energia (MWh/ano)	16,589	2,455	14,134
Demanda (kW)	1,920	1,060	0,860

Fonte: Elaboração Própria.

Para que a análise de viabilidade financeira seja completa, deve-se interpretar os dados, ou seja, realizar os cálculos necessários para se encontrar a Relação Benefício-Custo do Sistema, bem como o Tempo de Retorno.

6.3.2.1. Relação Benefício-Custo e Tempo de Retorno

A Tabela 6-10 mostra um resumo dos benefícios e os custos anualizados dos investimentos a serem feitos para a implantação do sistema.

Tabela 6-10: Valor da RBC do Sistema Proposto.

Redução de Potência (kW)		Redução de Consumo (MWh/ano)		Benefício	Custo	RBC	0,30
0,860	44,79%	14,134	85,20%	R\$ 4.180,73	R\$ 13.820,86		

Fonte: Elaboração Própria.

Com este novo sistema é possível obter uma economia anual de R\$ 4.365,81 quando se faz a diferença entre os valores do Gasto Anual Total das Tabelas 6-4 e 6-8.

Com todos os resultados até agora obtidos pode-se calcular o tempo de retorno simples (TRS) deste investimento.

$$TRS = \frac{R\$ 13.820,86}{R\$ 4.180,73} = 3,31 \text{ anos}$$

Vale lembrar que o custo e o benefício utilizados em todos os cálculos são em relação ao período de um ano, ou seja, são benefícios e custos anualizados. Em relação ao custo, este valor se refere a quanto custa o equipamento por ano, baseado na sua vida útil.

7. Conclusão

O objetivo deste trabalho foi estudar a viabilidade para a instalação de um dispositivo inovador de iluminação de interiores utilizando a luz solar. Para realizar este estudo foi preciso identificar as principais características de consumo de energia elétrica do Centro de Tecnologia da UFRJ. Foi usado como base para o estudo o Bloco “D” do CT, pois este é um bloco cuja estrutura se assemelha aos demais blocos do Centro de Tecnologia com a exceção dos Blocos “A” e “H”, e também por se tratar de um bloco que foi recentemente reformado, fazendo com que sua área comum (corredor) esteja com equipamentos novos (luminárias e lâmpadas) e eficientes.

Para o sistema de iluminação estudado foi proposta a substituição de todas as luminárias por um modelo híbrido que suporte os cabos de fibra óptica e também duas lâmpadas fluorescentes de 15W, para auxiliar o sistema de iluminação solar, quando o mesmo não é capaz de gerar o fluxo luminoso necessário, por causa do mau tempo ou durante as atividades noturnas.

Para avaliar a viabilidade foi estimado o consumo de energia elétrica, o potencial de conservação, o investimento necessário para a implantação e o tempo médio de retorno deste projeto.

O primeiro fator a ser avaliado foi a Viabilidade Luminotécnica em que foi constatado que em termos de quantidade de Fluxo Luminoso o projeto é viável, apesar de apresentar uma queda de fluxo de 15%, em seu pior cenário, quando comparado com o sistema atual.

Em relação à viabilidade financeira, o projeto apresentou dados pouco favoráveis a sua implantação, pois seu custo de investimento é muito elevado (R\$ 13.820,86), quando comparamos com a economia anual constatada (R\$4.365,81) e isso fez com que seu RBC fosse igual a 0,30 o que, segundo a Aneel, inviabiliza o projeto para ser financiado pelos recursos destinados à Eficiência Energética. O Tempo de Retorno Simples (TRS) foi de 3,31 anos o que caracteriza este sistema como um investimento de longo prazo.

A iluminação solar com cabos de fibra óptica utilizando o *Parans Solar System* é um projeto inviável se considerarmos a Relação Benefício-Custo (RBC), porém seu conceito é inovador e pode se tornar viável se for pesquisado, em um ambiente universitário, um modo de baratear este sistema, pois no final o que inviabiliza o projeto é o alto custo do material, por se tratar de um dispositivo importado.

Uma pesquisa com este propósito é viável se pensarmos em todos os fundos e recursos que as esferas do governo disponibilizam para a criação de equipamentos inovadores e sustentáveis; a demanda para um equipamento que utilize a energia luminosa do sol para iluminar ambientes internos existe e a economia de energia elétrica é real.

Geração fotovoltaica e aquecimento solar de água hoje já são equipamentos consolidados no mercado, logo com o investimento necessário em pesquisa e desenvolvimento à iluminação solar com cabos de fibra óptica pode ser no futuro um grande atrativo para a implantação de projetos de iluminação.

8. Referências Bibliográficas

ABNT – NBR – 5413 – Iluminância de Interiores.

AMORIM, C. N. D. Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte I Estratégias de Projeto para uma Arquitetura Sustentável, Paranoá (UnB), Junho de 2002.

ANEEL – Manual para Elaboração do Programa de eficiência Energética da Aneel – Ciclo 2005/2006 – Disponível em: www.aneel.gov.br.

Anuário do Observatório Nacional. Rio de Janeiro: Observatório Nacional, 2012.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K.. *Daylighting in Architecture. A European Reference Book*, James and James Editors, London, 1993.

Balanço Energético Nacional 2010: Ano base 2009 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2010.

BASTOS, FELIPE CARLOS. Análise da Política de Banimento de Lâmpadas Incandescentes do Mercado Brasileiro, Rio de Janeiro, Brasil, Março de 2011.

BEZERRA, D. B. Análise do Potencial de Conservação de Energia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro: Sistemas de Iluminação e de Ar Condicionado, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Julho de 2008.

CERVELIN S. Melhoria da Eficiência Luminosa: Estudo de caso do Centro federal de Educação do Paraná – CEFET-PR – Unidade Curitiba, Florianópolis – SC, Outubro de 2002.

EDWARDS L., TORCELLINI P.A *Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants*, National Renewable Energy Laboratory, Julho de 2002.

Eletrobrás / PROCEL. Conservação de Energia: Eficiência Energética em Instalações e Equipamentos, 3ª Edição, Editora EFEI, Itajubá, Minas Gerais, Brasil.

GAIA. Cursos de Utilização Racional de energia: Eficiência Energética na Indústria, Janeiro de 2004.

GELLER, H. S. Revolução Energética – Políticas para Um Futuro Sustentável. Relume Dumará, Rio de Janeiro, Brasil.

GUIZI, E.; LAMBERTS, R., ENTAC. Influência das Características Reflexivas da Luminária e da Refletância das Paredes na Potência Instalada em Sistemas de Iluminação, Santa Catarina, Brasil.

I. TIBA, CHIGUERU et al. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos, Editora universitária da UFPE, Recife, Brasil, junho de 2000.

LOMONACO, CAROL; MILLER, DENNIS. *Environmental Satisfaction, Personal Control and the Positive Correlation to Increased Productivity*.

MAGALHÃES, L. Orientações Gerais para conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos – PROCEL EPP, Rio de Janeiro, Brasil, Abril de 2003.

MAJOROS, ANDRÁS. Daylighting. *PLEA Notes, Note 4. PLEA in Association with Department of Architecture, the University of Queensland*. Editado pela S.V.Szokolay, Agosto de 1998.

MOREIRA, V. A. Iluminação Elétrica, Editora Edgard Blucher LTDA, 1º Edição, 1999.

ONAYG, S.; GULER, O. *Determination of the Energy Saving by Daylight Responsive Lighting Control Systems with an Example from Istanbul, Istanbul, Turkey, Fuel and Energy Abstracts*, Volume 45, Número 1, Janeiro de 2004, Página 43.

PEREIRA, F.C.S; VIEIRA, R.J. Aplicação de Conceitos de Racionalização de Energia Elétrica na Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, Outubro de 2005.

PIARDI et al. *La Qualità Ambientale degli Edifici.*, Editora Maggioli, Milão, Março de 1999.

Plano Decenal de Expansão de Energia 2019 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2010.

POOLE A. D. (INEE); HOLLANDA J.B (INEE); TOLMASQUIM M.T. (COPPE/UFRJ). Conservação de Energia e Emissão de Gases do Efeito Estufa no Brasil, INEE, Novembro de 1998.

RODRIGUES, PIERRE. Manual de Iluminação Eficiente, PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, 1º Edição, Julho de 2002.

ROGORA, A. *Riqualificazione del padiglione Plaza di America a Siviglia*. In: Revista Ambiente Costruito, n. 3, Milão, Julho/Setembro de 1998.

VARGAS JR., R. H. Análise do Potencial de Conservação de Energia Elétrica em Hospitais Públicos de Pequeno Porte no Brasil: Sistemas de Iluminação e Ar Condicionado do Tipo Janela, Rio de Janeiro – RJ, Dezembro de 2006.

Página Oficial da Eletrobrás. Disponível em: www.eletrobras.com. Acessado em 10/08/12.

Página Oficial da empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: www.epe.org.br. Acessado em 10/08/12.

Página Oficial da HUVCO. Disponível em: www.huvco.com. Acessado em 10/08/12.

Página Oficial da Light Serviços de Eletricidade S.A. Disponível em: www.light.com.br. Acessado em 10/08/12.

Página Oficial da OSRAM. Disponível em: www.asram.com.br. Acessado em 10/08/12.

Página Oficial da PARANS. Disponível em: www.parans.com. Acessado em 10/08/12.

Página Oficial da PHILIPS. Disponível em: www.philips.com.br. Acessado em 10/08/12.

Página Oficial da Prefeitura Universitária da UFRJ. Disponível em: www.prefeitura.ufrj.br. Acessado em 10/08/12.

Página Oficial do Instituto Nacional de Eficiência energética (INEE). Disponível em: www.inee.org.br/eficiencia. Acessado em 10/08/12.

Site: www.naturallygreensolutions.com. Acessado em 10/08/12.

Site: www.sunlight-direct.com/hybrid-solar-lighting. Acessado em 10/08/12.

Anexo I - Dados Diários de Iluminação

Natural

Através da análise do Anuário do Observatório Nacional 2011 foram levantados os dados diários do horário exato do nascer do sol e do por do sol e através de cálculos simples foi possível obter o valor da iluminação natural por dia para depois ser levantada a média de iluminação natural (em horas) para a região do Rio de Janeiro.

A seguir será apresentada uma série de tabelas contendo o horário do nascer do sol e do por do sol. Na tabela dos horários pode-se notar que não está sendo considerado o horário de verão e para o estudo proposto isto não é de fundamental importância, visto que apenas estamos interessados no intervalo de tempo por dia de iluminação natural.

Tabela I-1: Tabela de Dados Diários dos Horários do Nascer do Sol e do Por do Sol.

Horários do Nascer do Sol (NS) e do Por do Sol (PdS) para todos os Dias do Ano de 2011																								
	Jan.		Fev.		Mar.		Abr.		Mai.		Jun.		Jul.		Ago.		Set.		Out.		Nov.		Dez.	
	NS	PdS	NS	PdS	NS	PdS	NS	PdS	NS	PdS	NS	PdS	NS	PdS	NS	PdS	NS	PdS	NS	PdS	NS	PdS	NS	PdS
1	5:10	18:41	5:32	18:39	5:48	18:21	6:00	17:52	6:12	17:27	6:25	17:14	6:34	17:19	6:26	17:31	6:03	17:42	5:33	17:51	5:07	18:05	4:58	18:24
2	5:11	18:41	5:33	18:39	5:48	18:20	6:00	17:51	6:12	17:26	6:26	17:14	6:34	17:19	6:26	17:31	6:02	17:42	5:32	17:51	5:07	18:05	4:58	18:25
3	5:11	18:42	5:33	18:38	5:49	18:19	6:01	17:50	6:12	17:25	6:26	17:14	6:34	17:19	6:25	17:32	6:01	17:43	5:31	17:52	5:06	18:06	4:58	18:26
4	5:12	18:42	5:34	18:38	5:49	18:18	6:01	17:49	6:13	17:25	6:27	17:14	6:34	17:20	6:25	17:32	6:00	17:43	5:30	17:52	5:05	18:06	4:59	18:26
5	5:13	18:42	5:35	18:37	5:50	18:17	6:02	17:48	6:13	17:24	6:27	17:14	6:34	17:20	6:24	17:33	5:59	17:43	5:29	17:52	5:05	18:07	4:59	18:27
6	5:13	18:42	5:35	18:37	5:50	18:16	6:02	17:47	6:14	17:24	6:27	17:14	6:34	17:20	6:24	17:33	5:58	17:43	5:28	17:53	5:04	18:08	4:59	18:28
7	5:14	18:42	5:36	18:36	5:51	18:16	6:02	17:46	6:14	17:23	6:28	17:14	6:34	17:21	6:23	17:33	5:57	17:44	5:27	17:53	5:04	18:08	4:59	18:28
8	5:15	18:43	5:36	18:36	5:51	18:15	6:03	17:45	6:15	17:23	6:28	17:14	6:34	17:21	6:22	17:34	5:56	17:44	5:26	17:54	5:03	18:09	4:59	18:29
9	5:16	18:43	5:37	18:35	5:51	18:14	6:03	17:44	6:15	17:22	6:29	17:14	6:33	17:21	6:22	17:34	5:55	17:44	5:25	17:54	5:03	18:09	4:59	18:30
10	5:16	18:43	5:38	18:35	5:52	18:13	6:03	17:43	6:16	17:21	6:29	17:14	6:33	17:22	6:21	17:34	5:54	17:45	5:25	17:54	5:02	18:10	5:00	18:30
11	5:17	18:43	5:38	18:34	5:52	18:12	6:04	17:43	6:16	17:21	6:29	17:14	6:33	17:22	6:20	17:35	5:53	17:45	5:24	17:55	5:02	18:11	5:00	18:31
12	5:18	18:43	5:39	18:34	5:53	18:11	6:04	17:42	6:16	17:20	6:30	17:14	6:33	17:23	6:20	17:35	5:52	17:45	5:23	17:55	5:02	18:11	5:00	18:31
13	5:18	18:43	5:39	18:33	5:53	18:10	6:04	17:41	6:17	17:20	6:30	17:14	6:33	17:23	6:19	17:36	5:51	17:45	5:22	17:55	5:01	18:12	5:01	18:32
14	5:19	18:43	5:40	18:32	5:53	18:09	6:05	17:40	6:17	17:20	6:30	17:15	6:33	17:23	6:18	17:36	5:50	17:46	5:21	17:56	5:01	18:13	5:01	18:33
15	5:20	18:43	5:41	18:32	5:54	18:08	6:05	17:39	6:18	17:19	6:31	17:15	6:33	17:24	6:17	17:36	5:49	17:46	5:20	17:56	5:00	18:13	5:01	18:33
16	5:21	18:43	5:41	18:31	5:54	18:07	6:06	17:38	6:18	17:19	6:31	17:15	6:32	17:24	6:17	17:37	5:48	17:46	5:19	17:57	5:00	18:14	5:02	18:34
17	5:21	18:43	5:42	18:30	5:55	18:06	6:06	17:37	6:19	17:18	6:31	17:15	6:32	17:25	6:16	17:37	5:47	17:47	5:18	17:57	5:00	18:15	5:02	18:34
18	5:22	18:43	5:42	18:30	5:55	18:05	6:06	17:37	6:19	17:18	6:31	17:15	6:32	17:25	6:15	17:37	5:46	17:47	5:17	17:58	5:00	18:15	5:02	18:35
19	5:23	18:43	5:43	18:29	5:55	18:04	6:07	17:36	6:20	17:18	6:32	17:15	6:32	17:26	6:14	17:38	5:45	17:47	5:17	17:58	4:59	18:16	5:03	18:35
20	5:23	18:43	5:43	18:28	5:56	18:03	6:07	17:35	6:20	17:17	6:32	17:16	6:31	17:26	6:13	17:38	5:44	17:48	5:16	17:59	4:59	18:17	5:03	18:36
21	5:24	18:42	5:44	18:27	5:56	18:02	6:08	17:34	6:21	17:17	6:32	17:16	6:31	17:26	6:13	17:38	5:43	17:48	5:15	17:59	4:59	18:17	5:04	18:37
22	5:25	18:42	5:44	18:27	5:57	18:01	6:08	17:33	6:21	17:17	6:32	17:16	6:31	17:27	6:12	17:39	5:42	17:48	5:14	17:59	4:59	18:18	5:04	18:37

23	5:26	18:42	5:45	18:26	5:57	18:00	6:08	17:32	6:21	17:16	6:32	17:16	6:30	17:27	6:11	17:39	5:41	17:48	5:13	18:00	4:59	18:19	5:05	18:37
24	5:26	18:42	5:45	18:25	5:57	17:59	6:09	17:32	6:22	17:16	6:33	17:16	6:30	17:28	6:10	17:39	5:40	17:49	5:13	18:00	4:58	18:19	5:05	18:38
25	5:27	18:42	5:46	18:24	5:58	17:58	6:09	17:31	6:22	17:16	6:33	17:17	6:30	17:28	6:09	17:40	5:39	17:49	5:12	18:01	4:58	18:20	5:06	18:38
26	5:28	18:41	5:46	18:23	5:58	17:58	6:10	17:30	6:23	17:15	6:33	17:17	6:29	17:28	6:08	17:40	5:38	17:49	5:11	18:01	4:58	18:21	5:06	18:39
27	5:28	18:41	5:47	18:23	5:58	17:57	6:10	17:30	6:23	17:15	6:33	17:17	6:29	17:29	6:07	17:40	5:37	17:50	5:11	18:02	4:58	18:21	5:07	18:39
28	5:29	18:41	5:47	18:22	5:59	17:56	6:10	17:29	6:24	17:15	6:33	17:18	6:28	17:29	6:07	17:41	5:36	17:50	5:10	18:02	4:58	18:22	5:08	18:40
29	5:30	18:40			5:59	17:55	6:11	17:28	6:24	17:15	6:33	17:18	6:28	17:30	6:06	17:41	5:35	17:50	5:09	18:03	4:58	18:23	5:08	18:40
30	5:31	18:40			5:59	17:54	6:11	17:27	6:25	17:15	6:33	17:18	6:27	17:30	6:05	17:41	5:34	17:51	5:08	18:04	4:58	18:24	5:09	18:40
31	5:31	18:40			6:00	17:53			6:25	17:15			6:27	17:31	6:04	17:42			5:08	18:04			5:09	18:41

Fonte: Elaboração Própria a partir do Anuário do Observatório Nacional 2011.

Tabela I-2: Tabela do Tempo Total Diário de Iluminação Natural.

Tempo Total de Iluminação Natural para todos os dias do Ano de 2011												
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	13:31:00	13:07:00	12:33:00	11:52:00	11:15:00	10:49:00	10:45:00	11:05:00	11:39:00	12:18:00	12:58:00	13:26:00
2	13:30:00	13:06:00	12:32:00	11:51:00	11:14:00	10:48:00	10:45:00	11:05:00	11:40:00	12:19:00	12:58:00	13:27:00
3	13:31:00	13:05:00	12:30:00	11:49:00	11:13:00	10:48:00	10:45:00	11:07:00	11:42:00	12:21:00	13:00:00	13:28:00
4	13:30:00	13:04:00	12:29:00	11:48:00	11:12:00	10:47:00	10:46:00	11:07:00	11:43:00	12:22:00	13:01:00	13:27:00
5	13:29:00	13:02:00	12:27:00	11:46:00	11:11:00	10:47:00	10:46:00	11:09:00	11:44:00	12:23:00	13:02:00	13:28:00
6	13:29:00	13:02:00	12:26:00	11:45:00	11:10:00	10:47:00	10:46:00	11:09:00	11:45:00	12:25:00	13:04:00	13:29:00
7	13:28:00	13:00:00	12:25:00	11:44:00	11:09:00	10:46:00	10:47:00	11:10:00	11:47:00	12:26:00	13:04:00	13:29:00
8	13:28:00	13:00:00	12:24:00	11:42:00	11:08:00	10:46:00	10:47:00	11:12:00	11:48:00	12:28:00	13:06:00	13:30:00
9	13:27:00	12:58:00	12:23:00	11:41:00	11:07:00	10:45:00	10:48:00	11:12:00	11:49:00	12:29:00	13:06:00	13:31:00
10	13:27:00	12:57:00	12:21:00	11:40:00	11:05:00	10:45:00	10:49:00	11:13:00	11:51:00	12:29:00	13:08:00	13:30:00
11	13:26:00	12:56:00	12:20:00	11:39:00	11:05:00	10:45:00	10:49:00	11:15:00	11:52:00	12:31:00	13:09:00	13:31:00
12	13:25:00	12:55:00	12:18:00	11:38:00	11:04:00	10:44:00	10:50:00	11:15:00	11:53:00	12:32:00	13:09:00	13:31:00

13	13:25:00	12:54:00	12:17:00	11:37:00	11:03:00	10:44:00	10:50:00	11:17:00	11:54:00	12:33:00	13:11:00	13:31:00
14	13:24:00	12:52:00	12:16:00	11:35:00	11:03:00	10:45:00	10:50:00	11:18:00	11:56:00	12:35:00	13:12:00	13:32:00
15	13:23:00	12:51:00	12:14:00	11:34:00	11:01:00	10:44:00	10:51:00	11:19:00	11:57:00	12:36:00	13:13:00	13:32:00
16	13:22:00	12:50:00	12:13:00	11:32:00	11:01:00	10:44:00	10:52:00	11:20:00	11:58:00	12:38:00	13:14:00	13:32:00
17	13:22:00	12:48:00	12:11:00	11:31:00	10:59:00	10:44:00	10:53:00	11:21:00	12:00:00	12:39:00	13:15:00	13:32:00
18	13:21:00	12:48:00	12:10:00	11:31:00	10:59:00	10:44:00	10:53:00	11:22:00	12:01:00	12:41:00	13:15:00	13:33:00
19	13:20:00	12:46:00	12:09:00	11:29:00	10:58:00	10:43:00	10:54:00	11:24:00	12:02:00	12:41:00	13:17:00	13:32:00
20	13:20:00	12:45:00	12:07:00	11:28:00	10:57:00	10:44:00	10:55:00	11:25:00	12:04:00	12:43:00	13:18:00	13:33:00
21	13:18:00	12:43:00	12:06:00	11:26:00	10:56:00	10:44:00	10:55:00	11:25:00	12:05:00	12:44:00	13:18:00	13:33:00
22	13:17:00	12:43:00	12:04:00	11:25:00	10:56:00	10:44:00	10:56:00	11:27:00	12:06:00	12:45:00	13:19:00	13:33:00
23	13:16:00	12:41:00	12:03:00	11:24:00	10:55:00	10:44:00	10:57:00	11:28:00	12:07:00	12:47:00	13:20:00	13:32:00
24	13:16:00	12:40:00	12:02:00	11:23:00	10:54:00	10:43:00	10:58:00	11:29:00	12:09:00	12:47:00	13:21:00	13:33:00
25	13:15:00	12:38:00	12:00:00	11:22:00	10:54:00	10:44:00	10:58:00	11:31:00	12:10:00	12:49:00	13:22:00	13:32:00
26	13:13:00	12:37:00	12:00:00	11:20:00	10:52:00	10:44:00	10:59:00	11:32:00	12:11:00	12:50:00	13:23:00	13:33:00
27	13:13:00	12:36:00	11:59:00	11:20:00	10:52:00	10:44:00	11:00:00	11:33:00	12:13:00	12:51:00	13:23:00	13:32:00
28	13:12:00	12:35:00	11:57:00	11:19:00	10:51:00	10:45:00	11:01:00	11:34:00	12:14:00	12:52:00	13:24:00	13:32:00
29	13:10:00		11:56:00	11:17:00	10:51:00	10:45:00	11:02:00	11:35:00	12:15:00	12:54:00	13:25:00	13:32:00
30	13:09:00		11:55:00	11:16:00	10:50:00	10:45:00	11:03:00	11:36:00	12:17:00	12:56:00	13:26:00	13:31:00
31	13:09:00		11:53:00		10:50:00		11:04:00	11:38:00		12:56:00		13:32:00

Fonte: Elaboração Própria a partir do Anuário do Observatório Nacional 2011.

Obs.: A partir destes valores foi possível encontrar a média mensal de iluminação natural apresentada na Tabela 3-8 deste trabalho.

Anexo II - Informações Complementares do *Parans Solar System*

Para utilizar este sistema deve-se conhecer todas as informações técnicas para, deste modo, poder dimensionar corretamente todos os componentes.

O receptor deste sistema, chamado *Parans SP3*, é a terceira geração de receptores do sistema de iluminação natural (*Parans Solar System*) é um componente composto por sistemas óticos, mecânicos e eletrônicos dentro de uma estrutura tubular feita de alumínio anodizado, vidro e plástico ABS. Este receptor é uma estrutura resistente às diversas condições climáticas e autônomo que rastreia a posição do Sol para melhor eficiência do sistema.

O *Parans SP3* contém 36 lentes de Fresnel que foca os raios solares nas fibras óticas em que estas depois são agrupadas em 6 cabos de fibras óticas que são coletados em um eletroduto flexível para a proteção dos mesmos um cabo elétrico segue os cabos de fibra ótica para fornecer energia para os receptores. Na Figura II.1 mostra a flexibilidade do receptor em realizar movimentos precisos para rastrear a posição do sol.

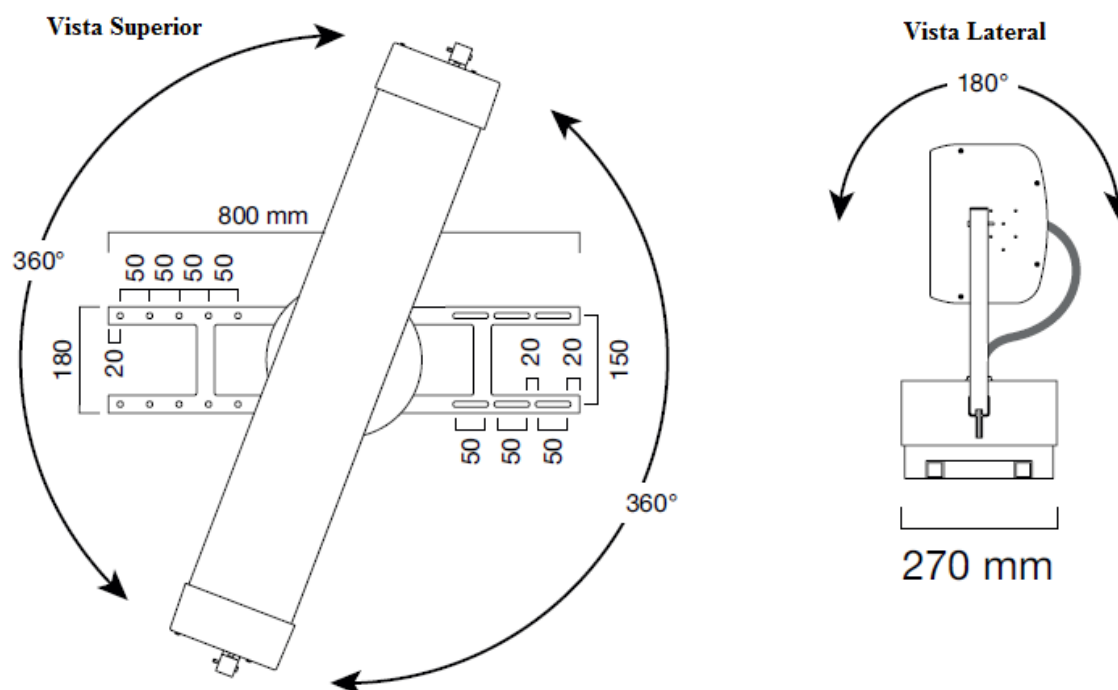


Figura II.1: Vista Superior e Lateral do *Parans SP3*.
Fonte: Retirado do Catálogo da *Parans*.

Na Figura II.2 estão mostradas as vistas frontal e traseira do receptor da Parans e na Tabela II-1 estão explicitadas as informações técnicas deste receptor.

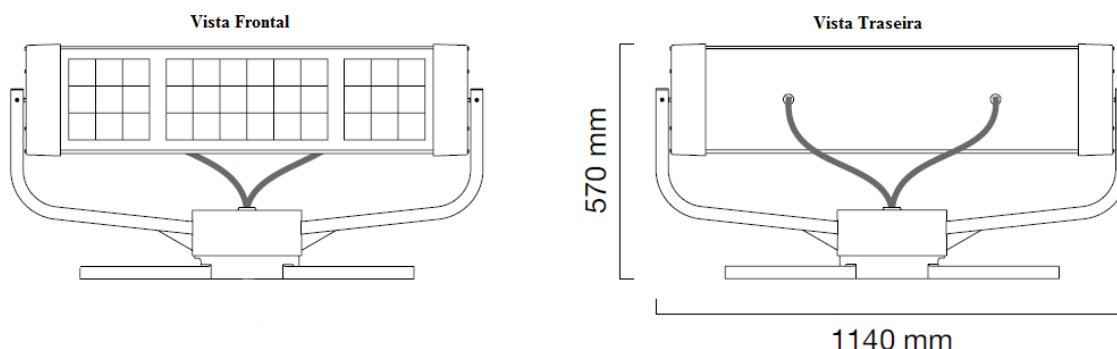


Figura II.2: Vista Frontal e Traseira do *Parans SP3*.

Fonte: Retirado do Catálogo da *Parans*.

Tabela II-1: Tabela dos Dados Técnicos do Receptor SP3 da *Parans*.

Receptor Parans SP3	
Dimensão	1140 x 570 x 270 mm
Peso	32 kg
Fonte de Alimentação	AC 100 – 240 V, 50 – 60 HZ
Consumo	0 – 10 W
Temperatura de Operação	-20°C até 40°C
Illuminância de Saída	5500 +/- 300 lm*
Material	Alumínio, vidro temperado, Zinco / níquel em aço, acrílico.
*Todos os valores são baseados na Illuminância Solar de 100.000 lux	

Fonte: Retirado do Catálogo da *Parans*.

Os cabos de fibra óptica, chamados de *Parans Optical Cable*, são os responsáveis de conectar o receptor com as luminárias levando a iluminação proveniente dos raios solares para dentro do ambiente a ser iluminado. De cada receptor saem 6 cabos de fibras ópticas contendo cada um destes cabos 6 fibras totalizando assim as 36 fibras que compõe o receptor. Estes cabos possuem 7 mm de diâmetro e eles, juntamente com o cabo de força do receptor são protegidos nos primeiros 3 metros saindo do receptor por um eletroduto flexível para a proteção dos mesmos, apesar de serem muito flexíveis os cabos de fibra ópticas possuem um raio de curvatura de 50 mm, mais do que isso as fibras correm o risco de se romperem e assim pararem de transmitir a luminosidade proveniente do sol. Os cabos possuem uma capacidade de transmissão de até 95,5% dos lumens por metro de extensão, através do Gráfico II.1 pode-se notar a taxa de decaimento do fluxo luminoso em relação a distância percorrida.

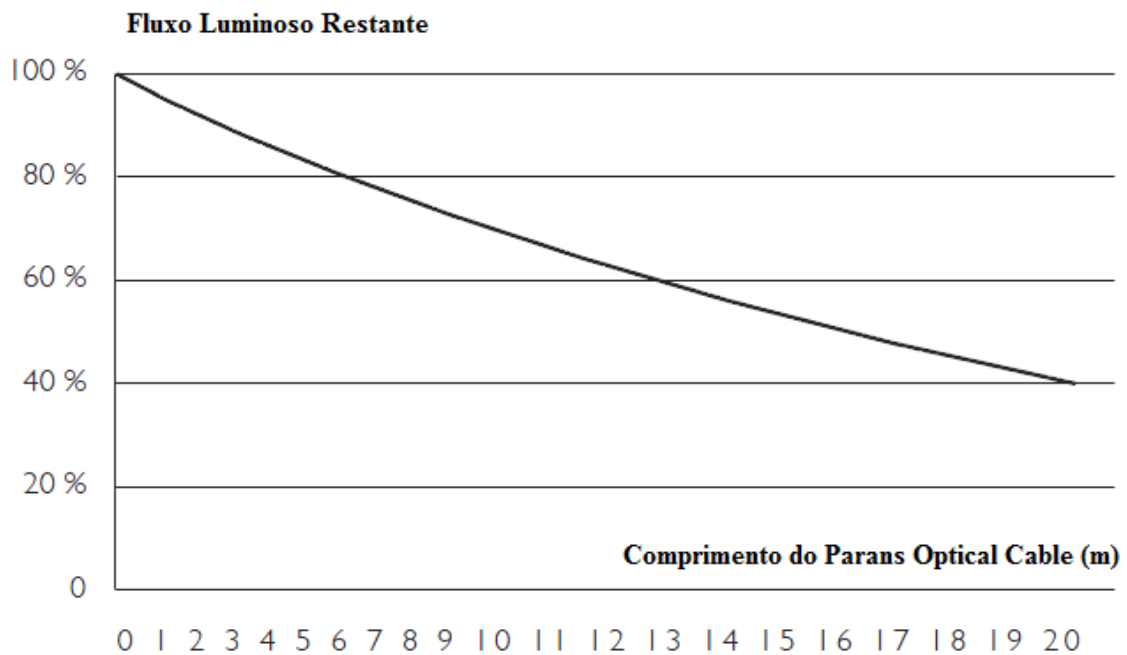


Gráfico II.1: Gráfico da Taxa de Decaimento do Fluxo Luminoso pelo Comprimento do Cabo.
Fonte: Retirado do Catálogo da *Parans*.

A Tabela II-2 mostra todos os dados técnicos dos quatro modelos de cabos existentes para o sistema. Com ele podemos notar que quanto maior o comprimento do mesmo menor será o fluxo luminoso.

Para a melhor distribuição do fluxo luminoso transportado pelos cabos de fibra óptica a Parans desenvolveu uma série de luminárias a fim de tentar atender ao máximo a demanda dos consumidores, inclusive criando luminárias híbridas no qual são conectados os cabos de fibra óptica e também possuem lâmpadas fluorescentes compactas ou tubulares para atender a demanda do ambiente em tempos nublados ou chuvosos. As Figuras II.3, II.4 e II.5 mostram três tipos de luminárias e a distribuição do fluxo luminoso no ambiente.

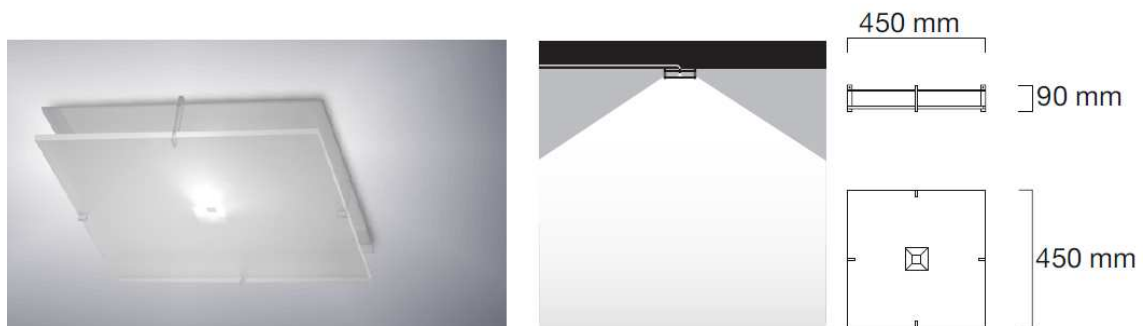


Figura II.3: Modelo *Parans Luminaires LI Small* (Dados Técnicos e Difusão Luminosa).
Fonte: Retirado do Catálogo da *Parans*.

Tabela II-2: Tabela dos Dados Técnicos dos Diversos Modelos do *Parans Optical Cable*.

Cabos	C05	C10	C15	C20
Comprimento	5 m	10 m	15 m	20 m
Cabos de Fibra Óptica	6 und	6 und	6 und	6 und
Cabo de Alimentação	1 und	1 und	1 und	1 und
Comprimento do Eletroduto Protetor	Primeiros 3 m	Primeiros 3 m	Primeiros 3 m	Primeiros 3m
Diâmetro do Eletroduto Protetor	42 mm	42 mm	42 mm	42 mm
Diâmetro Interno do Eletroduto Protetor	37 mm	37 mm	37 mm	37 mm
Diâmetro do Cabo de Fibra Óptica	7 mm	7 mm	7 mm	7 mm
Material da Fibra Óptica	Acrílico	Acrílico	Acrílico	Acrílico
Revestimento do Material de Proteção	PE	PE	PE	PE
Revestimento de Proteção do Eletroduto	PA6	PA6	PA6	PA6
Transmissão de Fluxo Luminoso	95,5% / m	95,5% / m	95,5% / m	95,5% / m
Fluxo Luminoso da Saída	4150 lm	3300 lm	2600 lm	2100 lm
Fluxo Luminoso da Saída, por Cabo	700 lm	550 lm	430 lm	350 lm
Ângulo de Difusão da Luz	Aprox. 60°	Aprox. 60°	Aprox. 60°	Aprox. 60°
Raio Máximo de Curvatura	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm

Fonte: Retirado do Catálogo da *Parans*.

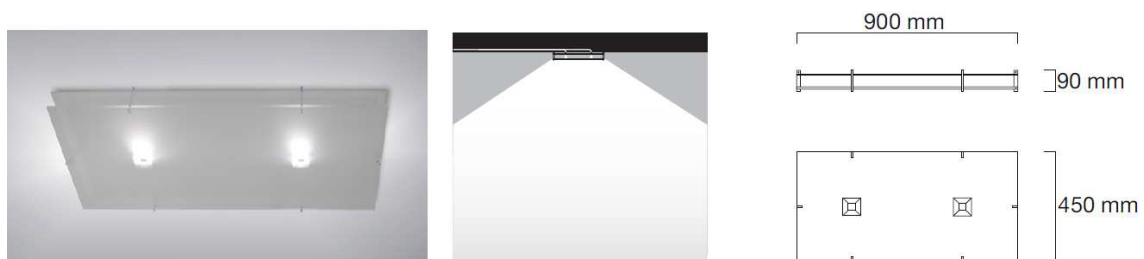


Figura II.4: Modelo *Parans Luminaires L1 Medium* (Dados Técnicos e Difusão Luminosa).

Fonte: Retirado do Catálogo da *Parans*.

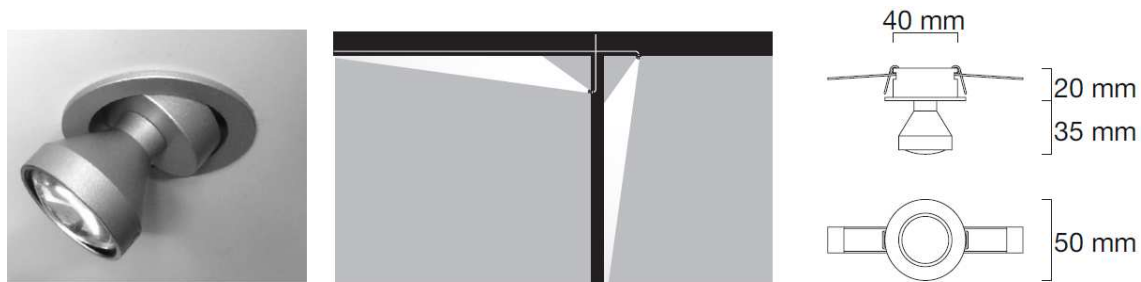


Figura II.5: Modelo *Parans Luminaires L3 Spotlight* (Dados Técnicos e Difusão Luminosa).
Fonte: Retirado do Catálogo da *Parans*.

A Tabela II-3 mostra os dados técnicos referentes às três luminárias apresentadas.

Tabela II-3: Tabela dos Dados Técnicos dos Diversos Modelos do *Parans Luminaires*.

Luminárias	<i>L1 Small</i>	<i>L1 Medium</i>	<i>L3 Spotlight</i>
Dimensão	450 x 450 x 90 mm	450 x 900 x 90 mm	50 x 50 x 55 mm
Peso	3,6 kg	7,2 kg	53 g
Material	Acrílico	Acrílico	Alumínio, Vidro
Luminárias por Receptor	6	3	6
Luz na Saída, Cabo de 5 m	700 lm	1400 lm	700 lm
Luz na Saída, Cabo de 10 m	550 lm	1100 lm	550 lm
Luz na Saída, Cabo de 15 m	430 lm	860 lm	430 lm
Luz na Saída, Cabo de 20 m	350 lm	700 lm	350 lm

Fonte: Retirado do Catálogo da *Parans*.

A Tabela II-4 mostra o custo de cada componente em Euro sem considerar os impostos e o correspondente em real considerando a taxa de câmbio de € 1,00=R\$ 2,48.

Tabela II-4: Tabela de Preço dos Componentes do *Parans Solar System*.

Produto	Descrição	Numero de Unidades	Preço (s/ Imposto)	Preço (s/ Imposto)
SP3	1 Receptor + Cabo de 5 m + 6 L3 Spotlight	1	€ 3.990,00	R\$ 9.895,20
L1 (S)	Luminária L1 <i>Small</i>	1	€ 263,00	R\$ 652,24
L1 (S)	Luminária L1 <i>Small</i>	6	€ 1.490,00	R\$ 3.695,20
L1 (M)	Luminária L1 <i>Medium</i>	1	€ 425,00	R\$ 1.054,00
L1 (M)	Luminária L1 <i>Medium</i>	3	€ 1.113,00	R\$ 2.760,24
C05	Cabo de 05 m	1	€ 142,50	R\$ 353,40
C10	Cabo de 10 m	1	€ 285,00	R\$ 706,80
C15	Cabo de 15 m	1	€ 570,00	R\$ 1.413,60
C20	Cabo de 20 m	1	€ 885,00	R\$ 2.194,80

Fonte: Retirado do Catálogo da *Parans*.

Anexo III - Cálculo da Relação Benefício Custo (RBC) Seguindo Metodologia da ANEEL

Custo Unitário Evitado de Demanda (CED)

$$CED = (12 \times C_1) + (12 \times C_2 \times LP) \quad \left[\frac{R\$}{kW \cdot ano} \right]$$

Custo Unitário Evitado de Energia (CEE)

$$CEE = \frac{(C_3 \times LE_1) + (C_4 \times LE_2) + (C_5 \times LE_3) + (C_6 \times LE_4)}{LE_1 + LE_2 + LE_3 + LE_4} \quad \left[\frac{R\$}{MWh} \right]$$

Onde:

LP – Constante de perda de demanda no posto fora de ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta;

LE_1, LE_2, LE_3 e LE_4 - Constantes de perdas de energia nos postos de ponta e fora de ponta para os períodos seco e úmido, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta;

C_1 – Custo unitário da demanda no horário de ponta [R\$ / kW . mês];

C_2 – Custo unitário de demanda fora do horário de ponta [R\$ / kW . mês];

C_3 – Custo unitário de energia no horário de ponta de períodos secos [R\$/MWh];

C_4 – Custo unitário de energia no horário de ponta de períodos úmidos [R\$/MWh];

C_5 – Custo unitário de energia fora do horário de ponta de períodos secos [R\$/MWh];

C_6 – Custo unitário de energia fora do horário de ponta de períodos úmidos [R\$/MWh];

Custo Anualizado Total (CA_{TOTAL})

$$CA_{TOTAL} = \sum CA_{equip1} + CA_{equip2} + \dots + CA_{equipn}$$

Custo Anualizado dos Equipamentos com mesma vida Útil (CA_{equipn})

$$CA_{equipn} = CPE_{equipn} \times FRC$$

Custo dos Equipamentos e/ou Materiais com a mesma vida Útil ($CPE_{equip n}$)

$$CPE_{equip n} = CE_{equip n} + \left[(CT - CTE) \times \frac{CE_{equip n}}{CTE} \right]$$

Fator de recuperação de Capital (FRC)

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

Onde:

$CPE_{equip n}$ – Custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos. Esta parcela é proporcional ao percentual do custo do equipamento em relação ao custo total com equipamentos;

$CE_{equip n}$ – Custo somente de equipamento com a mesma vida útil;

CT – Custo total do projeto (custo direto + custo indireto);

CTE – Custo total somente de equipamentos;

n – Vida útil (em anos);

i – Taxa de juros.

A taxa de desconto a ser considerada na avaliação financeira é de 8% a.a. Esta taxa tem por base o Plano Decenal de Expansão de Energia 2019.