

NATHALIE DE OLIVEIRA LUNARDI

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ILUMINAÇÃO DE INTERIORES EM AMBIENTES DE
TRABALHO – ESTUDO DE CASO NO CENTRO ADMINISTRATIVO MUNICIPAL DE
ALEGRETE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheira Eletricista, do Curso de Engenharia Elétrica do Campus Alegrete da Fundação Universidade Federal do Pampa, área de concentração Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. José Wagner Maciel Kaehler

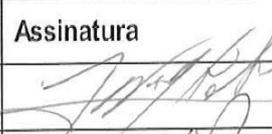
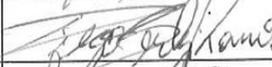
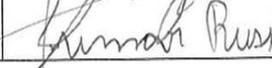
**ALEGRETE
2014**

Autoria: Nathalie De Oliveira Lunardi

Título: Eficiência Energética: Iluminação de Interiores em Ambientes de Trabalho – Estudo de Caso no Centro Administrativo Municipal de Alegrete

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte das atividades para
a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica do Curso de Engenharia
Elétrica da Universidade Federal do Pampa.

Os componentes da banca, abaixo listados, consideram este trabalho aprovado

	Nome	Titulação	Assinatura	Instituição
1	José Wagner Maciel Kaehler	Prof. Dr.		unipampa
2	Diego Berlezi Ramos	Prof. Dr.		unipampa
3	Jumar Luis Russi	Prof. Dr.		unipampa

Data da aprovação: 25 de março de 2014.

*Dedico este trabalho, com muito amor aos meus pais,
Adilson e Marta, a minha irmã Karine e ao meu irmão
Emanuel, vocês são o esteio da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade da vida.

Aos meus pais, Adilson e Marta, por me ensinarem, através do exemplo, como ser uma pessoa honesta e de caráter, por compreenderem minha ausência em vários momentos de nossas vidas e por oferecerem suporte psicológico, afetivo e financeiro durante este longo caminho.

A minha irmã Karine e meu irmão Emanuel, pela convivência e aprendizado constante do que é amor.

A minha amiga, Francielle Ferreira, colega e companheira dedicada, de estudos, pesquisa, trabalho e diversão, obrigada pelo belo caminho que trilhamos juntas e ao colega e amigo, Lucas Dorneles, dedicado e estudioso, por dar suporte para a concretização deste trabalho.

Ao meu namorado, Douglas Adolpho, pela dedicação, compreensão, apoio e alegria de viver.

Ao professor, Dr. José Wagner Maciel Kaehler, pela dedicação, orientação, amizade e por descobrir em mim o potencial que nem mesmo eu sonhara em ter.

Aos professores da Engenharia Elétrica que trabalham com dedicação à docência.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa Exploração Integrada de Recursos Energéticos – EIRE.

A toda a equipe do Campus Alegrete, por compreender a jornada de estudos dentro da Universidade e auxiliar nos mais diversos aspectos.

A Prefeitura Municipal de Alegrete pelo espaço concedido, oportunidade de estágio e confiança depositada.

Agradeço a todos que torceram e sonharam este sonho junto comigo.

“Inunda o mundo, o barco é você”

Marisa Monte

RESUMO

A gestão de energia elétrica, principalmente o combate ao desperdício desta, tem sido o maior desafio dos Municípios na gestão energética municipal. Devido a esta crescente preocupação este trabalho tem como finalidade a proposição de alternativas para a melhoria das condições de conforto luminoso nos ambientes de trabalho. Como aplicação apresenta os resultados obtidos através do estudo de caso no Centro Administrativo Municipal de Alegrete. Este aborda os conceitos de eficiência energética na iluminação de interiores de prédios públicos de acordo com a ABNT NBR 8995-1 e traz uma aplicação destes através de ensaios em laboratório e testes em campo. O principal objetivo é proporcionar condições adequadas de conforto e eficácia do sistema de iluminação para os trabalhadores e usuários destes ambientes. Analisando a situação atual dos trechos do prédio e repartições e propondo modificações nos atuais sistemas de iluminação, buscando garantir o conforto lumínico para as pessoas que utilizam tais ambientes, mantendo os níveis de iluminação adequados e ainda propor a criação de sistemas de iluminação mais eficientes, buscando a redução de custos de energia.

Palavras-chave: eficiência energética, iluminação de interiores, ABNT NBR 8995-1.

ABSTRACT

The electrical power management, especially waste combat this, has been the biggest challenge of Municipalities in municipal energy management. Due to this growing concern this work aims at proposing alternatives for the improvement of lighting comfort in the workplace. As an application presents the results obtained from the case study at the Municipal Administrative Centre Alegrete. This deals with the concepts of energy efficiency in lighting interiors of public buildings according to ABNT NBR 8995-1 and brings an application of these through laboratory tests and field tests. The main goal is to provide suitable comfort and efficiency of the lighting system for workers and users of these environments. Analyzing the current situation of excerpts from the building and offices and proposing modifications to existing lighting systems, seeking to ensure the luminal comfort to people who use such environments, keeping adequate levels of lighting and also propose the creation of more efficient lighting systems, seeking to reduce energy costs.

Index Terms: energy efficiency, indoor lighting, ABNT NBR 8995-1.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Etapas de um Diagnóstico Energético.....	20
Figura 2.2: Detalhe para definição do ângulo sólido (Esferorradiano).....	24
Figura 2.3: Detalhe ângulo plano (Rad).....	25
Figura 2.4: Detalhe conceito de Iluminância.....	25
Figura 2.5: Explicação lei do inverso do quadrado.....	26
Figura 2.6: Ilustração do funcionamento da distribuição da luz.....	27
Figura 2.7: Definição de Iluminamento Horizontal.....	28
Figura 2.8: Definição de Iluminamento Vertical.....	29
Figura 2.9: Luxímetro Digital ICEL LD-800 Aferido com Certificação INMETRO.....	29
Figura 2.10: Tendência dos tipos de iluminação até horizonte 2020.....	32
Figura 2.11: Detalhe dos tipos de Conformidade de Luminárias.....	32
Figura 2.12: Modelo de conformação em função tipo lâmpada – PHILIPS 2005.....	33
Figura 2.13: Orientação da luminária com goniofotômetro. Fonte CIE 121-1996.....	34
Figura 2.11: Detalhe levantamento da curva de distribuição luminosa.....	35
Figura 2.12: CDL luminária PHILIPS TCS 460- TL5 28W.....	35
Figura 2.16: Consumo de Energia Elétrica em Prédios Públicos.....	39
Figura 3.1: Esquemático da entrada de energia.....	46
Figura 3.2: Diagrama Unifilar.....	47
Figura 3.3: Gráfico do Histórico da Demanda.....	48
Figura 3.4: Gráfico do Histórico do Consumo.....	49
Figura 3.5: Localização dos Trechos A, B, C e D.....	58
Figura 3.6: Modelo de Luminária existente no CAM.....	58

Figura 3.7: Local onde foram feitas medições.....	53
Figura 3.8: Local onde foram feitas medições.....	53
Figura 3.9: Detalhe do Reator.....	54
Figura 3.10: Equipamento de Ensaio.....	55
Figura 3.11: Medição Frontal.....	55
Figura 3.12: Equipamentos utilizados nos ensaios.....	56
Figura 3.13: Gráfico de Superfície referente a Tabela 11– Luminária do CAM.....	57
Figura 3.14: Gráfico de Superfície referente a Tabela 12– Luminária do CAM sem a calha...58	
Figura 3.15: Gráfico de Superfície referente a Tabela 15.....	61
Figura 3.16: Luminária instalada no CAM.....	62
Figura 3.17: Luminária Facetada Refletiva com lâmpadas eficientes instalada no CAM.....	62
Figura 3.18: Gráfico de Superfície referente a Tabela 15.....	67
Figura 3.19: Função da Parábola do Refletor.....	72
Figura 3.20: Representação da Função do Comprimento de Arco da Parábola.....	72
Figura 3.21: Adaptação da Luminária com refletor para calha existente.....	74
Figura 3.22: Gráfico de Superfície referente a Tabela 28.....	75
Figura 3.23: Moldes do Refletor ao longo da Calha.....	76
Figura 3.24: Luminária Reabilitada.....	76
Figura 3.25: Gráfico de Superfície referente a Tabela 29.....	77
Figura 3.26: Medição no Centro do Equipamento: abaixo da lâmpada.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados Gerais do CAM.....	45
Tabela 2: Recursos Humanos do CAM.....	45
Tabela 3: Horário de Funcionamento do CAM.....	46
Tabela 4: Custo da energia de acordo com a tarifa praticada no CAM.....	47
Tabela 5: Custo da energia com imposto, de acordo com a tarifa praticada no CAM.....	48
Tabela 6: Histórico da Demanda e do Consumo no CAM.....	48
Tabela 7: Histórico das faturas Mensais do CAM com ICMS.....	49
Tabela 8: Análise Tarifária do CAM com ICMS.....	50
Tabela 9: Levantamento de carga por trecho.....	54
Tabela 10: Média do nível de Iluminamento por trecho das Medições.....	54
Tabela 11: Média de iluminamento da Luminária do CAM – 2x32W.....	56
Tabela 12: Média de iluminamento da Luminária do CAM sem a calha – 2x32W.....	57
Tabela 13: Níveis de iluminamento do ensaio com queda de tensão.....	59
Tabela 14: Níveis de iluminamento do ensaio com queda de tensão e luminária sem a calha.....	59
Tabela 15: Luminária com Lâmpadas Fluorescentes T5 2x28W com Refletor Facetado Refletivo.....	60
Tabela 16: Levantamento das características do sistema atual e do eficiente – Cenário 1.....	63
Tabela 17: Metas de Eficientização Energética – Cenário 1.....	64
Tabela 18: Detalhamento dos Custos dos equipamentos Eficientes – Cenário 1.....	64
Tabela 19: Análise Técnica e Econômica – Cenário 1.....	65
Tabela 20: Cálculo Econômico Financeiro – Cenário 1.....	65
Tabela 21: Fluxo de Caixa com tempo de retorno do investimento – Cenário 1.....	66

Tabela 22: Luminária com Lâmpada Fluorescente T5 1x28W com Refletor Facetado Refletivo.....	66
Tabela 23: Levantamento das características do sistema atual e do eficiente – Cenário 2.....	68
Tabela 24: Metas de Eficientização Energética – Cenário 2.....	68
Tabela 25: Detalhamento dos Custos dos equipamentos Eficientes – Cenário 2.....	69
Tabela 26: Análise Técnica e Econômica – Cenário 2.....	69
Tabela 27: Cálculo Econômico Financeiro – Cenário 2.....	70
Tabela 28: Fluxo de Caixa com tempo de retorno do investimento – Cenário 2.....	70
Tabela 29: Luminária Reabilitada com Lâmpada T5 1x28W com Refletor Parabólico – Ensaio 1.....	75
Tabela 30: Luminária Reabilitada com Lâmpada T5 1x28W com Refletor Parabólico – Ensaio 2.....	77
Tabela 31: Levantamento das características do sistema atual e do eficiente – Cenário 3.....	79
Tabela 32: Metas de Eficientização Energética – Cenário 3.....	80
Tabela 33: Detalhamento dos Custos dos equipamentos Eficientes – Cenário 3.....	80
Tabela 34: Análise Técnica e Econômica – Cenário 3.....	81
Tabela 35: Cálculo Econômico Financeiro – Cenário 3.....	81
Tabela 36: Fluxo de Caixa com tempo de retorno do investimento – Cenário 3.....	82

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CAM – Centro Administrativo Municipal

CIE – Comissão Internacional de Iluminação

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GEM – Gestão Energética Municipal

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

LED – Diodo Emissor de Luz

MME – Ministério das Minas e Energia

UGR – Índice de ofuscamento unificado

PROCEL – Programa de Conservação de Energia Elétrica

ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Problematização.....	16
1.2 Objetivos.....	16
1.3 Justificativa.....	17
1.4 Organização do Trabalho.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Eficiência Energética	18
2.2 Iluminação	21
2.2.1 Iluminação Natural	21
2.2.2 Iluminação Artificial.....	22
2.3 Sistemas de Iluminação	23
2.3.1 Conceitos básicos	23
2.3.2 Controlador de Luz.....	24
2.3.3 Ângulo Sólido.....	24
2.3.4 Ângulo Plano	24
2.3.5 Iluminância – Nível de Iluminamento	25
2.3.6 Lei do Inverso do Quadrado	26
2.3.7 Iluminamento Horizontal.....	27
2.3.8 Iluminamento Vertical	28
2.3.9 Fluxo Luminoso.....	30
2.3.10 Intensidade luminosa	31
2.3.11 Eficiência Luminosa	31
2.4 Fotometria.....	33
2.5 Gestão Energética Municipal - GEM	36
2.6 Prédios Públicos	38
2.6.1 Edificações e Equipamentos	39
2.6.2 Gestão e Manutenção dos Prédios Públicos	40
2.6.3 Instalações Existentes	41
2.7 Iluminação de Interiores em Ambientes de Trabalho: NBR 8995 – 1.....	41
3 ESTUDO DE CASO NO CENTRO ADMINISTRATIVO MUNICIPAL.....	44
3.1 Diagnóstico Energético da Iluminação Interna do CAM	44

3.1.1 Instalações Físicas e Informações Gerais	45
3.1.2 Características das Instalações.....	46
3.1.3 Faturas de Energia e Demanda	47
3.2 Projeto de Eficiência na Iluminação	50
3.2.1 Características gerais das luminárias.....	51
3.2.2 Cenário 1: Luminária Facetada Refletiva com Lâmpadas T5 2x28W	59
3.2.3 Cenário 2: Luminária Facetada Refletiva com Lâmpada T5 1x28W	66
3.2.4 Cenário 3: Reabilitação da Luminária do CAM com Lâmpada T5 1x28W	71
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1 INTRODUÇÃO

Atualmente os trabalhos desenvolvidos no Brasil vêm mostrando vários problemas existentes em edificações sejam elas públicas ou privadas, devido aos sistemas de iluminação que se encontram fora dos padrões técnicos adequados.

Dentre os casos mais comuns identificam-se a iluminação em excesso, a falta de aproveitamento da iluminação natural, o uso de equipamentos de baixa eficiência luminosa, a degradação e obsolescência dos sistemas.

De acordo com o Guia Técnico de Gestão Energética Municipal (PROCEL, 2004), o estudo de caso em eficiência energética nos municípios é um promissor campo de atuação e constitui-se em uma ferramenta eficaz, onde os municípios passam a ter controle sobre os usos finais da energia elétrica, garantindo, assim, uma maior autonomia municipal na gestão de seus recursos. Os benefícios desta gestão podem ser notados tanto na redução da conta de energia como na melhoria do conforto, ergonomia e maior segurança no ambiente de trabalho e, inevitavelmente, a redistribuição dos recursos financeiros evitados em outras áreas.

As prefeituras se beneficiam com os dividendos advindos da implementação de projetos desta natureza, tendo em vista que nos últimos anos criou-se uma significativa sensibilidade para a questão ambiental havendo uma tendência da sociedade de apoiar os decisores políticos que atuem em consonância com os princípios preservacionistas.

O cuidado, com as instalações físicas dos ambientes de trabalho, deve ser voltado para que seja proporcionado às pessoas um ambiente propício para o desempenho de suas atividades, bem como oferecer condições favoráveis para a preservação da saúde destas.

Tendo em vista tal cuidado busca-se a realização e a adaptação das instalações de acordo com os padrões e normas estabelecidas para este propósito, por exemplo, normas de iluminação, ergonomia e acessibilidade.

O olho humano necessita de condições especiais para o desenvolvimento de determinadas atividades visuais. Como exemplos pode-se citar: para ler e escrever necessita-se de certa quantidade de luz no plano de trabalho; para desenhar ou desenvolver atividades visuais de maior acuidade visual com maior quantidade de menores detalhes, necessita-se de mais luz. Mas, a quantidade de luz não é significado de qualidade, nem mesmo o único requisito necessário. Para o desenvolvimento dessas atividades, uma boa distribuição dos níveis de iluminação pelo ambiente e a ausência de contrastes excessivos, também são fatores essenciais, quanto melhores forem as condições propiciadas pelo ambiente, menor será o esforço físico que o olho terá de fazer para se adaptar às condições externas e desenvolverá bem as atividades em questão (PROCEL, 2011).

A principal motivação para a realização deste trabalho foi o fato de não haver, uma preocupação em relação às condições de iluminação para os ambientes de trabalho em questão. Através de visitas ao CAM foram detectadas inadequações relacionadas ao conforto luminoso, após esta constatação, tornou-se necessária a realização de uma investigação mais aprofundada que será detalhada no presente trabalho.

Visando criar instrumentos de avaliação e de inovação que efetivamente contribuam para o Município de Alegrete, foi desenvolvido o presente trabalho no prédio do Centro Administrativo Municipal (CAM), buscando aplicar os conceitos de eficiência energética em iluminação de interiores, baseados na gestão municipal e de acordo com a ABNT NBR 8995-1 e, possibilitando ainda, auxiliar no combate ao desperdício de energia elétrica.

1.1 Problematização

De acordo com a situação atual, em que o CAM apresenta um sistema de iluminação precário, do ponto de vista da luminotécnica, ocorrendo o subdimensionamento deste sistema, buscou-se avaliar tais problemas e propor sua correção. Tratando-se de ambientes de trabalho (escritórios, salas de reuniões e atividades administrativas) onde existe um fluxo constante de pessoas, a necessidade de uma iluminação de qualidade é fundamental, tanto para execução das tarefas como para proporcionar conforto evitando a fadiga visual.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é apresentar os conceitos sobre a iluminação eficiente, salientar os principais aspectos da nova norma de iluminação ABNT NBR 8995-1, que cancela e

substitui a NBR 5413, avaliar o atual sistema de iluminação dos ambientes de trabalho do CAM, buscando analisar a contribuição da iluminação natural e propor uma reabilitação do sistema existente, desenvolvendo propostas de novos sistemas de iluminação eficiente, que além de economia, proporcionem conforto luminoso para as pessoas que utilizam tais ambientes.

1.3 Justificativa

A realização deste trabalho tem como propósito demonstrar a possibilidade do uso da iluminação artificial atendendo a norma vigente aliado a sistemas eficientes que consomem menos energia.

Obter qualidade e quantidade de iluminação satisfatória e de acordo com a atual norma vigente se faz necessário para que determinadas tarefas sejam executadas com maior conforto visual e melhor desempenho. Corrigir tais problemas no sistema atual de iluminação do CAM e garantir níveis de conforto lumínico, de forma a tornar viável o uso de um sistema de iluminação energeticamente mais eficiente.

1.4 Organização do Trabalho

O presente trabalho de conclusão do curso de graduação é composto por cinco capítulos.

O capítulo 1 apresenta de forma geral uma introdução ao tema, com objetivos e justificativas sobre a realização do atual trabalho.

O capítulo 2 faz uma revisão bibliográfica, tratando desde as definições e conceitos básicos sobre eficiência energética, iluminação natural e artificial, consumo de energia em prédios públicos, assim como as metodologias que orientam os projetos luminotécnicos. Isto facilita posteriormente um maior entendimento do trabalho proposto, até uma abordagem mais técnica do assunto expondo as novas diretrizes da atual norma de iluminação a e utilização para ambientes internos.

O capítulo 3 desenvolve a metodologia do trabalho, onde será apresentado o estudo de caso realizado no CAM, tratando das alocações dos sistemas atuais e a criação de cenários propostos de maneira mais eficiente que demandam menos energia.

O capítulo 4 expõe as conclusões obtidas no trabalho desenvolvido.

O capítulo 5 apresenta as referências bibliográficas utilizadas no trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a elaboração deste trabalho foi necessário pesquisar sobre Eficiência Energética, Iluminação Natural e Artificial, consumo de energia em Prédios Públicos e ainda estudar a legislação vigente atual, ABNT NBR 8995-1, que especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho, além de normas e manuais de projetos.

2.1 Eficiência Energética

A energia, entre os vários custos gerenciáveis de uma empresa, seja ela do setor industrial, comercial, pública ou privada, vem assumindo uma importância crescente, motivada pela redução de custos decorrentes do mercado competitivo, pelas incertezas da disponibilidade energética ou por restrições ambientais. De qualquer maneira, seja qual for a motivação, promover a eficiência energética é essencialmente usar o conhecimento de forma aplicada, empregando os conceitos de engenharia, da economia e da administração aos sistemas energéticos. Contudo, dada à diversidade e complexidade desses sistemas, é interessante apresentar técnicas e métodos para definir objetivos e ações para melhorar o desempenho energético e que reduzam as perdas nos processos de transporte, armazenamento e distribuição de energia (PROCEL, 2007).

Eficiência Energética, segundo o MME (2011), refere-se a ações de diversas naturezas que resultam na redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia sob a forma de luz, calor/frio, acionamento, transportes e uso em processos. Visa atender às necessidades da economia com menor uso de energia primária e, portanto, menor impacto na natureza.

A oferta de um serviço de energia exige uma cadeia de transformações, transporte e estocagem com origem nas fontes primárias, ou seja, nas formas disponíveis na natureza tanto na origem renovável (solar direta, eólica e hidráulica) quanto não renovável (petróleo, gás natural, carvão mineral e nuclear).

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética (MME, 2011) o planejamento do setor de energia necessita de ações que compreendam modificações ou aperfeiçoamentos tecnológicos ao longo da cadeia, mas podem também resultar de uma melhor organização, conservação e gestão energética por parte das entidades que a compõem. Devem ser privilegiadas todas as ações que, na margem, tenham um custo inferior ao necessário para suprir a energia economizada.

Ao realizar qualquer atividade voltada para a Eficiência Energética é necessário conhecer e diagnosticar a realidade energética, só assim pode-se estabelecer as prioridades, implantar os projetos de melhoria e redução de perdas e acompanhar seus resultados em um processo contínuo. Tal abordagem é válida para instalações novas, de maneira preventiva, ou instalações existentes, de maneira corretiva, em empresas de todos os setores, industriais ou comerciais, públicas ou privadas (PROCEL,2007).

De acordo com o PROCEL, a gestão energética de uma instalação existente deve adotar as seguintes medidas:

- Conhecimento das informações relacionadas com os fluxos de energia, as ações que influenciam estes fluxos, os processos e atividades que utilizam a energia e relacionam com um produto ou serviço;
- Acompanhamento dos índices de controle como, por exemplo, consumo de energia, custos específicos, fator de utilização e os valores médios, contratados, faturados e registrados de energia;
- Atuação nos índices com vista a reduzir o consumo energético através da implementação de ações que buscam a utilização racional de energia.

É importante observar que somente as avaliações não conduzem à racionalização do uso de energia. Elas constituem o primeiro e decisivo passo nesta direção, a requerer medidas e ações posteriores, desejavelmente estabelecidas de forma planejada e estruturada, com clara definição de metas, responsáveis e efetivos acompanhamentos, se possível no âmbito de um

Programa de Gestão Energética, com visibilidade na corporação e a necessária provisão de recursos físicos e humanos.

Considerando uma abordagem bem genérica, a ser adaptada caso a caso, a sequência apresentada na figura a seguir, pode ser adotada para o desenvolvimento de um diagnóstico energético.

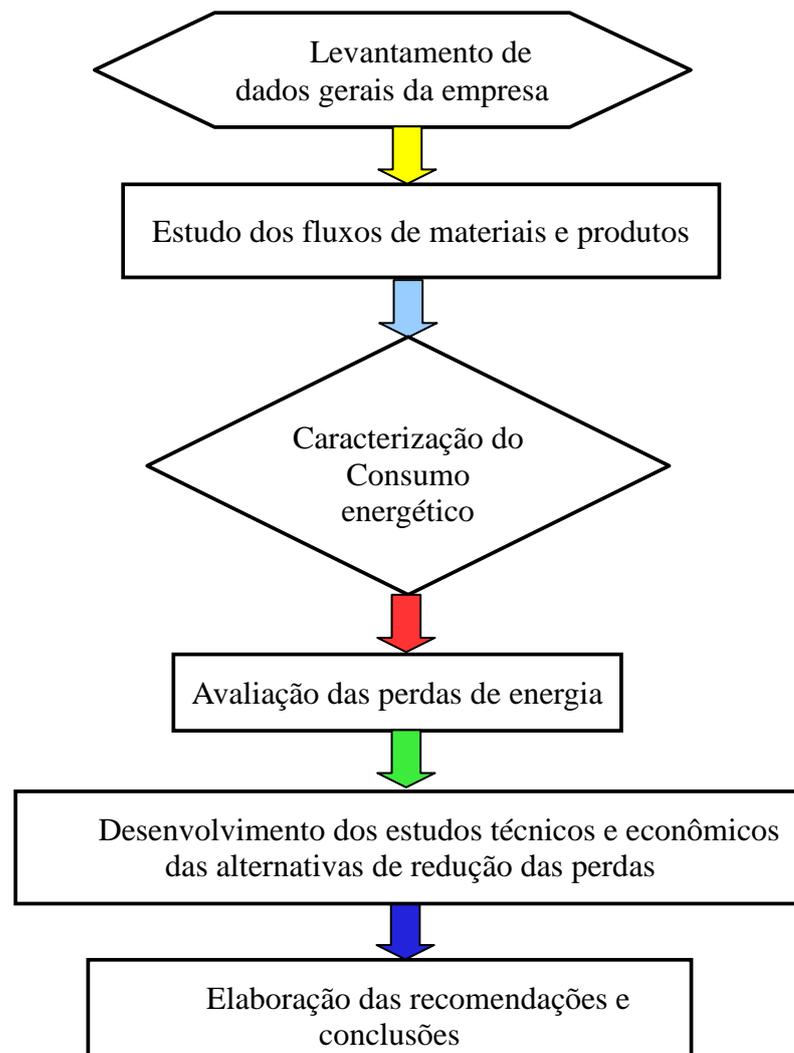


Fig. 2.1. Etapas de um Diagnóstico Energético

Um relatório final deve ser elaborado após a conclusão do diagnóstico energético, tal documento sintetiza o trabalho de levantamento empreendido e deve conter as recomendações e conclusões das medidas a serem adotadas, como resultado das atividades e como um produto fundamental a fim de convencer que tais medidas podem e devem ser adotadas.

2.2 Iluminação

“A qualidade do espaço é medida pela sua temperatura, sua iluminação, seu ambiente, e o modo pelo qual o espaço é servido de luz, ar e som devem ser incorporados ao conceito de espaço em si”,

Louis Kahn

O homem, no seu dia a dia, exerce diversas atividades. Para cada uma delas, visando o seu correto desempenho, ele tem certa necessidade em relação à iluminação: no escritório, na fábrica, numa loja ou em casa. Definir o “tipo” de luz que o ambiente precisa é desejável para que este se torne agradável e útil.

O objetivo de qualquer iluminação é proporcionar o ótimo desempenho de uma tarefa visual, seja ela qual for. Isso não significa, necessariamente, que esse “ótimo desempenho da tarefa” esteja diretamente ligado ao conceito de produtividade ditado pelo sistema de produção capitalista. Apesar disso, foi essa a visão que favoreceu o grande desenvolvimento da iluminação tanto natural como artificial, principalmente a partir da 2ª Guerra Mundial (PROCEL, 2011).

2.2.1 Iluminação Natural

A luz que este ambiente precisa deve vir de algum lugar: o Sol, fonte primária, geradora de vida. A forma pela qual essa luz nos atinge, dentro dos ambientes, dependerá de muitos fatores. Após seu longo caminho até nós, a luz encontra uma camada espessa de ar – a atmosfera – que vai permitir que ela passe quase que totalmente (luz direta) ou então vai difundi-la (luz difusa). Portanto, ao chegar ao entorno de nossos edifícios, essa luz possui algumas características, a saber: intensidade, direção, cor, duração e mutabilidade ao longo do tempo (não passível de controle).

A relação da luz com o ambiente se dá por meio de parâmetros qualitativos ditados pelas exigências humanas e funcionais, como também pelos quantitativos, expressos pelos níveis de iluminância e por suas formas de distribuição no espaço, sua intensidade, as relações de contrastes e sua cor. Esses parâmetros são quase sempre passíveis de uma quantificação. Porém, neste momento, jamais se deve esquecer que cada número obtido sempre estará relacionado com um conceito de desempenho e eficiência do parâmetro em questão, ou seja, um aspecto de interpretação qualitativa (PROCEL, 2011).

A economia de energia pode alcançar um elevado potencial, se a iluminação natural for utilizada como uma fonte de luz para iluminar os ambientes internos. No entanto, a iluminação natural não resulta diretamente em economia de energia. A economia só ocorre quando a carga de iluminação artificial pode ser reduzida através de sua utilização. Existem poucas edificações em que a iluminação natural supri o total de iluminação necessária, em contrapartida não existem edificações em que a iluminação natural não consiga contribuir significativamente na iluminância do ambiente (COPETTI, 2013).

A iluminação natural no interior das edificações é oriunda de aberturas localizadas em suas superfícies verticais e horizontais. A iluminação natural conta com a radiação solar direta e difusa, a nebulosidade e os níveis externos de iluminância e luminância, dependentes do tipo de céu e da latitude do lugar, como principais variáveis (PROCEL, 2007).

A iluminação natural, apesar de variável ao longo do ano, dos meses, dos dias e de minuto a minuto, deve ser avaliada de forma a se elaborar projetos luminotécnicos em que a iluminação artificial seja utilizada apenas como forma de suprir as necessidades de iluminação quando a luz natural não for capaz de fazê-lo (COPETTI,2013).

2.2.2 Iluminação Artificial

A partir da 2ª Guerra Mundial, com o desenvolvimento da Arquitetura e sua multiplicação de funções, na sua concepção e uso do espaço, novos requisitos em termos de iluminação fizeram-se presentes. Houve necessidade de responder à questões relacionadas a todos os fatores que direta ou indiretamente dizem respeito ao correto desempenho do ambiente sob o ponto de vista da iluminação, tanto natural como artificial (PROCEL,2011).

Um enorme avanço foi sentido a partir da 2ª Guerra, principalmente em relação a tecnologia da iluminação artificial. Fontes de luz surgiram para responder aos novos requisitos impostos pelo setor produtivo e de serviços. Antigamente, sob o ponto de vista econômico, níveis de 300 - 500 lux eram duas a três vezes maiores do que os considerados economicamente justificáveis, hoje estes níveis são normais em qualquer edifício devido ao próprio desenvolvimento tecnológico na área (novos tipos de lâmpadas e luminárias, mais eficientes, mais aprimoradas e de menor custo). Este avanço tem sido mais significativo nos últimos 10 anos.

Atualmente, o aspecto da integração entre natural e artificial assume importância cada vez maior, principalmente nos últimos anos quando se começou no Brasil a falar mais

sistematicamente sobre conservação e racionalização do uso de energia elétrica, resultado da crise energética de 2001, onde o racionamento impôs uma mudança comportamental e preservacionista nas pessoas.

Neste momento a iluminação adicional torna-se parâmetro importante de projeto em edifícios. Para que se consiga um nível de iluminância satisfatório nas partes mais profundas de um ambiente relativamente grande, somente através da iluminação natural, onde a atividade é de leitura e escrita, são necessários 500 lux em média, seria necessária então uma área de abertura muito grande o que nos levaria, inevitavelmente, ao problema do desconforto visual, devido aos contrastes excessivos entre áreas próximas e afastadas da janela, assim como a um provável deslumbramento com relação a visão da abobada celeste (lembramos que a adaptação visual será influenciada pela quantidade de céu visível, através das aberturas e pela sua luminância, assim como pelas condições internas do ambiente). Além desse problema, poderíamos ter, dependendo da orientação da fachada, um excessivo ganho térmico, o que agravaria as condições internas de conforto.

2.3 Sistemas de Iluminação

A iluminação é responsável por, aproximadamente, 23% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial. Em relação aos serviços públicos, aproximadamente dois terços são utilizados para iluminação de ruas. Vários trabalhos desenvolvidos mostram que a iluminação ineficiente é comum no Brasil. Uma combinação de lâmpadas, reatores, sensores, luminárias e refletores eficientes, associados a hábitos saudáveis na sua utilização, podem ser aplicados para reduzir o consumo de energia elétrica.

2.3.1 Conceitos básicos

Segundo (COSTA, 2006) as grandezas básicas utilizadas em iluminação são regidas pelas leis da ótica energética e fotometria. A ótica energética é mais abrangente e atinge todo domínio da iluminação. Já a ótica fotométrica está ligada diretamente com o ato de ver.

Das grandezas de base, três são fundamentais: massa, comprimento e tempo. A estas se une uma outra que irá complementar o sistema de medidas, em luminotécnica a quarta unidade é a intensidade luminosa, expressa em candelas, sendo que as demais são derivadas. Sendo que o quadro fica completo à medida que se unem grandezas suplementares, de caráter

geométrico: O ângulo plano (X , unidade é o radiano [rad] e o ângulo sólido (w , unidade esferorradiano [sr]) (COSTA, 2006).

2.3.2 Controlador de Luz

Um controlador de luz resume-se a parte da luminária projetada para modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso das lâmpadas, podendo ser do tipo refletor, refrator, difusor, lente e colmeia. O tipo de refletor utilizado irá influenciar no rendimento do sistema de iluminação.

2.3.3 Ângulo Sólido

É o ângulo espacial que tem seu vértice no centro da esfera, cuja área superficial é igual ao quadrado de seu raio, representado em detalhe na Fig.2.2, [IESNA-Lighting-Handbook].

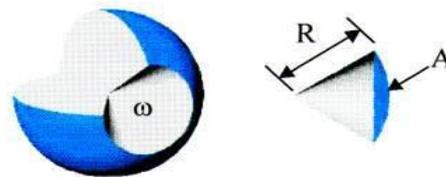


Fig. 2.2. Detalhe para definição do ângulo sólido (Esferorradiano)

$$\omega = \frac{A}{R^2} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde: A = área da superfície da esfera (m^2) = $4\pi R^2$

R = Raio do círculo (m)

ω = Ângulo sólido (sr)

2.3.4 Ângulo Plano

A partir de uma circunferência de centro O e raio R , com um arco de comprimento s e α o ângulo central do arco, vamos determinar a medida do arco em radianos de acordo com a Fig. 2.3 a seguir.

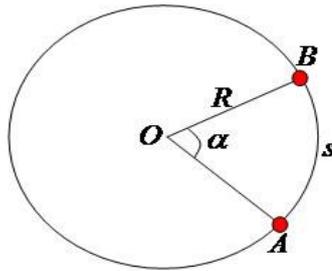


Fig. 2.3. Detalhe ângulo plano(Rad)

$$\alpha = \frac{S}{R} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde: S = comprimento do arco(m)

R = raio do Círculo (m)

α = ângulo plano (Rad)

2.3.5 Iluminância – Nível de Iluminamento

É o limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície, quando esta tende para zero. Unidade: lux. Corresponde ao fluxo luminoso incidente em uma determinada superfície por unidade de área. A Fig.2.4 ilustra o fluxo luminoso.



Fig. 2.4. Detalhe conceito de Iluminância

$$E = \frac{\Psi}{S} \text{ [lux]} \quad \text{Eq. (3)}$$

Se uma superfície plana [S] de 1 m² é iluminada perpendicularmente por uma fonte de luz, cujo fluxo luminoso [Ψ] é de 1 lúmen, apresenta uma iluminância de 1 lux.

- Dia de sol de verão a céu aberto: 100.000 lux;
- Dia com sol encoberto no verão: 20.000 lux;
- Uma vela a 1 metro de distância: 1 lux;
- Noite à luz de estrelas: 0,001 lux.

2.3.6 Lei do Inverso do Quadrado

O iluminamento médio cai com o quadrado da distância à fonte luminosa.

Para facilitar o entendimento, demonstra-se a distribuição do iluminamento na Fig. 2.6.

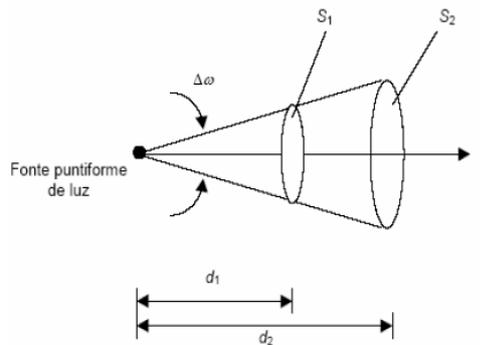


Fig. 2.5. Explicação lei do inverso do quadrado

Dedução:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{\Delta\omega \cdot d_1^2}{\Delta\omega \cdot d_2^2} = \left(\frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2$$

Com isso, aplicando equação do fluxo luminoso, obtêm-se:

$$I = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\omega} = \frac{\Delta\varphi}{\left(\frac{S_d}{d_d^2}\right)} = \frac{\Delta\varphi}{S_d} \cdot d_d^2 = E_d \cdot d_d^2$$

Resulta no iluminamento médio a uma distância d da fonte luminosa:

$$E_d = \frac{I}{d^2} \quad \text{Eq. (4)}$$

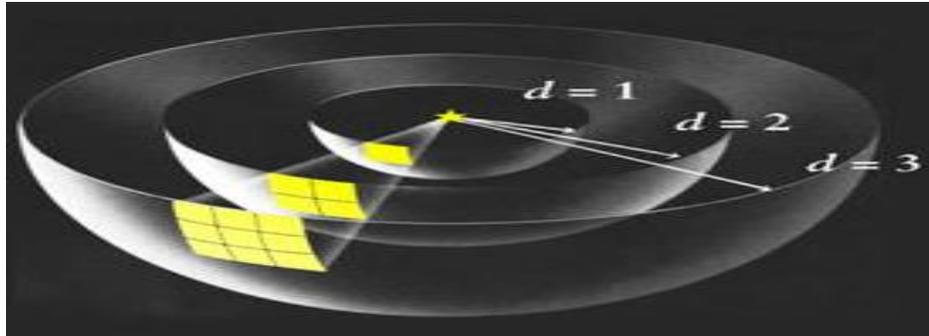


Fig. 2.6. Ilustração do funcionamento da distribuição da luz

Fonte: <http://cbseguesspapers.wordpress.com>

Analisando a Fig. 2.6, pode-se visualizar a luz passando pelo primeiro quadrado a uma distância arbitrária da fonte ($d = 1$). Ao se afastar, dobrando a distância da fonte para $d = 2$, a luz do quadrado original agora se espalha por uma área de 4 quadrados. Assim, à duas vezes a distância original, a intensidade da luz que passa através de um quadrado simples será de $1/4$ da intensidade original. Triplicando a distância original ($d = 3$), a luz do quadrado original agora cobre uma área de 9 quadrados. Assim, em três vezes a distância original, a intensidade da luz que passa através de um único quadrado será $1/9$ da intensidade original. Isto é o que se entende por "lei do quadrado inverso." À medida que você se afasta de uma fonte de luz, a intensidade da luz é proporcional a $1/d^2$, o inverso do quadrado da distância.

2.3.7 Iluminamento Horizontal

É a soma das contribuições do fluxo luminoso de todas as luminárias em um ponto do plano horizontal. Utilizando-se da lei dos cossenos, conseguimos obter a equação do iluminamento horizontal. O iluminamento médio na superfície depende da relação entre a superfície (plana) considerada e direção definida pela intensidade luminosa, função do cosseno do ângulo formado entre as normais das duas superfícies, em detalhes na Fig.2.7.

- E_h - iluminamento horizontal, [lux];
- I - intensidade do fluxo luminoso, [cd];
- α - ângulo entre uma dada direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada;
- H - altura vertical da luminária, [m]

- D – distância da Luminária até o ponto a ser iluminado [m].

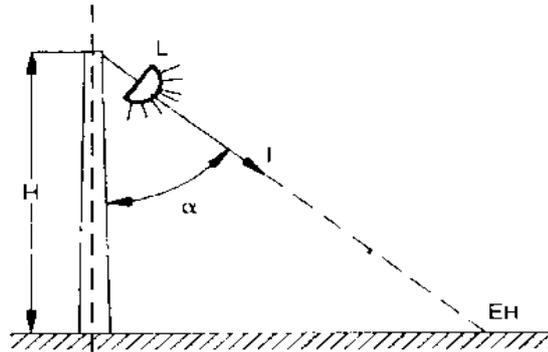


Fig. 2.7. Definição de Iluminamento Horizontal

Dedução:

$$E_p = \frac{I(\alpha)}{D^2} = \frac{I(\alpha)}{\left(\frac{H}{\cos \alpha}\right)^2} = \frac{I(\alpha)}{H^2} \cos^2 \alpha$$

$$E_h = E_p \cos \alpha$$

$$E_h = \frac{I(\alpha) \cos^3 \alpha}{H^2} \quad \text{Eq. (5)}$$

2.3.8 Iluminamento Vertical

É a soma das contribuições do fluxo luminoso de todas as luminárias num ponto do plano vertical, em detalhes na Fig.2.8.

- E_v - iluminamento vertical, [lux];
- I - intensidade do fluxo luminoso, [cd];
- α - ângulo entre uma dada direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada;
- D - distância entre a luminária e o ponto localizado no plano vertical, [m].

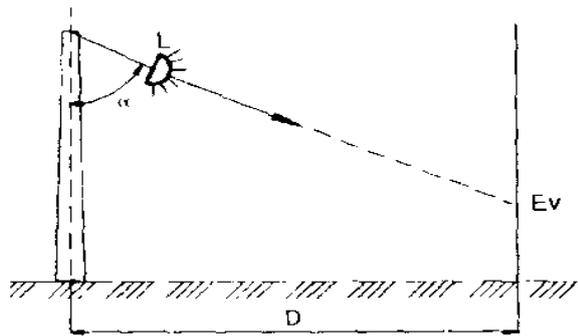


Fig. 2.8. Definição de Iluminamento Vertical

$$E_v = \frac{I \text{sen}^3 \alpha}{D^2} \quad \text{Eq. (6)}$$

Os iluminamentos E_h e E_v variam na proporção inversa do quadrado da distância da fonte de luz ao ponto iluminado. Os iluminamentos E_h ou E_v variam na proporção direta da intensidade luminosa na direção do ponto iluminado. O iluminamento E_h varia na proporção direta do cosseno do ângulo formado entre a direção da intensidade do fluxo luminoso que atinge o ponto considerado e a reta que passa pela fonte luminosa e é perpendicular ao plano horizontal. O iluminamento E_v varia na proporção direta do seno do ângulo formado entre a direção da intensidade do fluxo luminoso que atinge o ponto considerado e a reta que passa pela fonte luminosa e é perpendicular ao plano horizontal. A intensidade do fluxo luminoso é obtida a partir das curvas de distribuição luminosa, também conhecidas como curvas isocandelas.

Referente à medição dos níveis de iluminância, é utilizado um luxímetro, como mostrado na Fig. 2.9.



Fig.2.9. Luxímetro Digital ICCEL LD-800 Aferido com Certificação INMETRO

2.3.9 Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso é a potência de radiação emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço e avaliada pelo olho humano. A unidade é o lúmen [lm], e representa a quantidade de luz irradiada, através de uma abertura de 1 m² feita na superfície de uma esfera de 1 m de raio, por uma fonte luminosa de intensidade igual a 1 candela, em todas as direções, colocada no seu interior e posicionada no centro (COSTA, 2005). 1 candela emite uniformemente 12,56 lúmens considerando um raio R de 1 m.

Não poderia ser expresso em watts, já que é função da sensibilidade do olho humano, cuja faixa de percepção varia para o espectro de cores entre os comprimentos de onda de 380 nm (cor violeta) a 780 nm (cor vermelha). Uma radiação monocromática de comprimento de onda igual a 555 nm e de 1 W, equivale a 683 lúmens. Na prática, as fontes luminosas, não são monocromáticas e sua energia se distribui ao longo do espectro.

Uma definição mais rigorosa de fluxo luminoso é a de uma grandeza derivada do fluxo radiante ϕ_e , pela avaliação da radiação, de acordo com a sua ação sobre o observador fotométrico padrão CIE (COSTA, 2005).

Em termos matemáticos é:

$$\phi_v = K_m \int_{380}^{780} \frac{\partial \phi_e(\lambda)}{\partial \lambda} V(\lambda) d\lambda \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde:

$\partial \phi_e(\lambda)$ = é a distribuição espectral do fluxo radiante [W]

$V(\lambda)$ = é a eficiência luminosa espectral

K_m = é o valor do watt luminoso = 683 lm/W

$\phi_n = \phi$ o fluxo luminoso [Lm]

Ainda há de se salientar o problema com a depreciação do fluxo luminoso, onde existe uma diminuição progressiva da iluminância do sistema de iluminação, devido ao acúmulo de poeira nas lâmpadas e luminárias e, ao decréscimo do fluxo luminoso destas lâmpadas. Se houverem limpezas semestrais os benefícios serão notados (PROCEL, 2007).

2.3.10 Intensidade luminosa

Limite da relação entre o fluxo luminoso num ângulo sólido em torno de uma direção dada e o valor desse ângulo sólido, quando esse ângulo sólido tender para zero. Pode-se dizer que é a propagação da luz em uma dada direção dentro de um ângulo sólido unitário.

$$I = \frac{d\Psi}{d\beta} \quad \text{Eq. (8)}$$

Intensidade luminosa é uma expressão da quantidade de luz irradiada num determinado sentido no interior. É calculada como a razão entre o fluxo luminoso ao elemento relevante para o ângulo sólido. A intensidade luminosa de uma lâmpada ou luminária não é igual em todas as direções. Grafando a intensidade luminosa em torno da lâmpada ou luminária, a distribuição da intensidade luminosa pode ser definida. Isto oferece uma descrição precisa das características fotométricas da lâmpada ou luminária. Distribuição de intensidade luminosa está geralmente representado na forma de um diagrama polar ou linear.

2.3.11 Eficiência Luminosa

Segundo a eficiência luminosa (η) de uma fonte é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte (Φ) e a potência por ela absorvida (P). A unidade SI é o lm/W.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad \text{Eq. (9)}$$

Φ = Eficiência luminosa (lm/W).

P = Potência consumida (W).

As lâmpadas se diferenciam entre si, não só pelos diferentes fluxos luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. O gráfico representado pela Fig.2.10 apresenta a eficiência energética de diferentes tecnologias de iluminação. Desde a virada do século, a tecnologia emergente (LED) vem sendo utilizada, superando rapidamente as tecnologias tradicionais demonstrando-se mais eficiente do que a fluorescente.

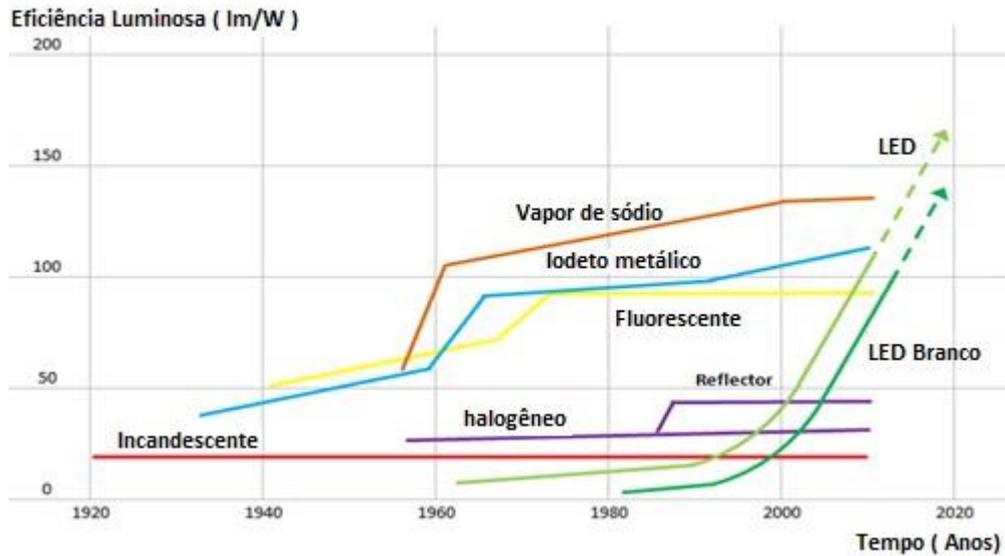


Fig.2.10. Tendência dos tipos de iluminação até horizonte 2020

Fonte: <http://www.ledlightsmart.co.uk/benefits-of-led.html>

Tratando de eficiência global de uma luminária, esta depende de muitos outros fatores, como:

- Conformidade da Luminária;
- Características materiais (opaco, alumínio alta-refletância);
- Grau de Reflexão;
- Altura do foco;
- Diâmetro da lâmpada (T8, T5).

Para exemplificar, como a conformidade, a altura do foco e o diâmetro da lâmpada influenciam na eficiência global da luminária, afetando diretamente na irradiação do fluxo luminoso, representam algumas situações em esquemáticos nas Fig.2.11 e Fig.2.12.

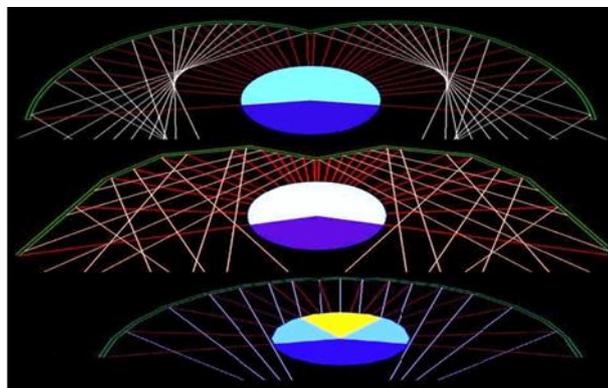


Fig.2.11. Detalhe dos tipos de Conformidade de luminárias

A Fig. 2.12 permite uma visualização do fluxo luminoso para cada tipo de conformidade, sendo que cada um deles possui uma característica única e conseqüentemente diferentes ângulos de abertura de suas CDL.

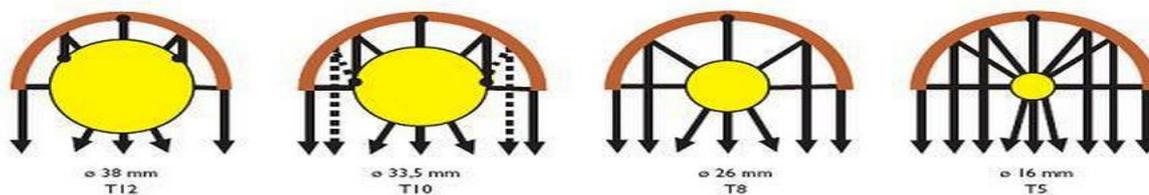


Fig.2.12. Modelo de conformação em função tipo lâmpada – PHILIPS 2005

Permite ainda ter uma noção dos diferentes tipos de conformação em função dos diferentes tipos de lâmpadas que existem no mercado, pois cada modelo possui uma dimensão padrão diferente uma da outra, por exemplo, uma T8 possui diâmetro de 26 mm, já uma T5 possui dimensão 16 mm.

2.4 Fotometria

De acordo com a norma CIE 121-1996, que estabelece métodos e procedimentos fotométricos para medições de intensidade de distribuição de luz, medição do fluxo luminoso, luminância e iluminância utilizando goniofotômetro e com esfera de integração. Ambos podem realizar a medição de parâmetros colorimétricos, isto é, a distribuição espacial dos diferentes ângulos do composto espectral tais como a distribuição de energia, as coordenadas de cromaticidade, comprimento de onda dominante, temperatura de cor, índice de restituição de cor e outros parâmetros. A CIE 121-1996 é um relatório técnico que apresenta os requisitos gerais para a fotometria de lâmpadas e luminárias de vários tipos e inclui as seguintes informações:

- Condições de teste padrão em que os testes devem ser realizados, com tolerâncias de práticas aceitáveis;
- Processos de seleção de lâmpadas e luminárias;
- Procedimentos para a medição das características fotométricas.

A Fig. 2.13 extraída da norma CIE 121, detalha como é feito o processo de medição de uma luminária, a orientação dos planos e toda análise dos sistemas de coordenadas fotométricas das luminárias. Para a realização destas são feitas com base na rotação angular

aplicado a luminária, utilizando um goniofotômetro, sendo necessário para definir uma estrutura espacial em torno da luminária. Este instrumento consiste de um dispositivo mecânico para o apoio e o posicionamento da luminária ou lâmpada juntamente com os dispositivos para aquisição e processamento de dados. Os princípios da construção e seleção de goniofotômetros são cobertos na publicação CIE 70 (COPETTI, 2013).

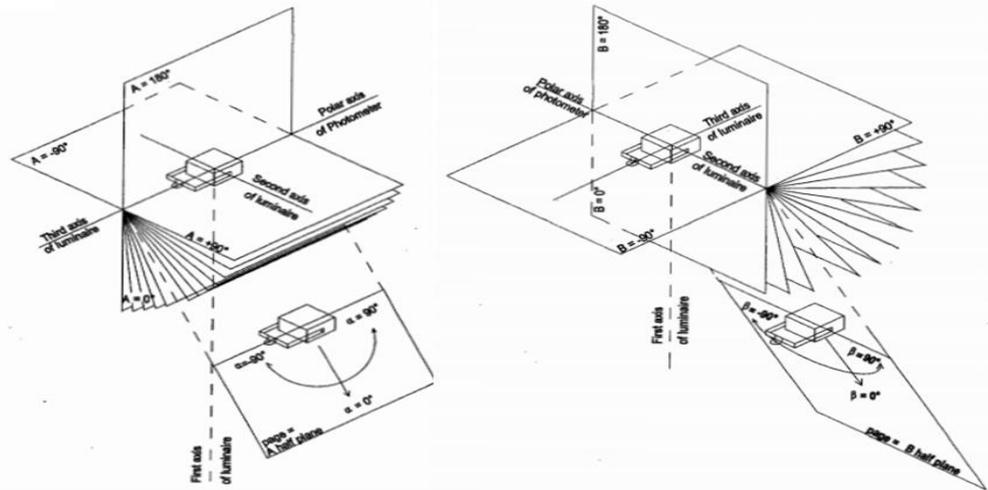


Fig.2.13. Orientação da luminária com goniofotômetro. Fonte CIE 121-1996

A Fig.2.13 facilita o entendimento de um ponto de vista geral, de como o sistema funciona através do sistema de coordenadas que consiste de um conjunto de planos, com um único eixo de intersecção. O Sistema de planos de medição em geral mensura a intensidade luminosa de uma luminária em vários planos. A intensidade luminosa emitida por uma fonte de luz em todas as direções é conhecida como distribuição luminosa. As fontes de luz utilizadas na prática tem uma forma cuja intensidade de radiação é afetada pela construção da própria fonte, apresentando vários valores nestas direções dispersas. Tal curva pode ser levantada utilizando o goniofotômetro. A Fig. 2.14 permite uma visualização da curva de distribuição de uma lâmpada incandescente (COPETTI, 2013).

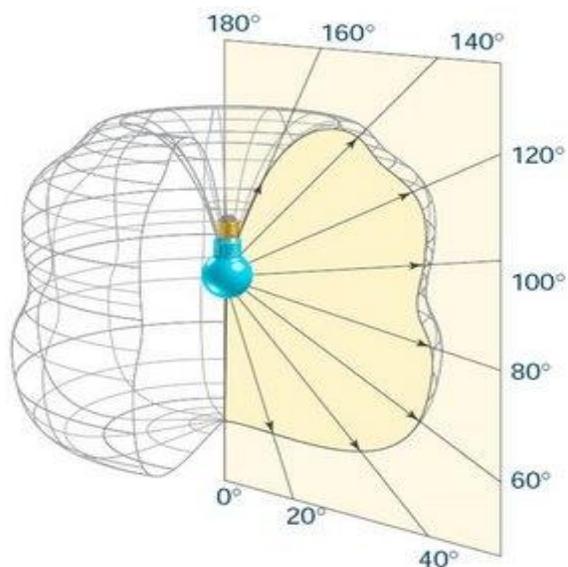


Fig. 2.13. Detalhe levantamento da curva de distribuição luminosa

Fonte: <http://electrical-engineering-portal.com>

A representação mais usual da curva de distribuição luminosa (CDL) é sua representação utilizando coordenadas polares, como por exemplo, a ilustrada na Fig.2.15, que representa a curva de uma luminária da PHILIPS TCS 460 – TL5 28W.

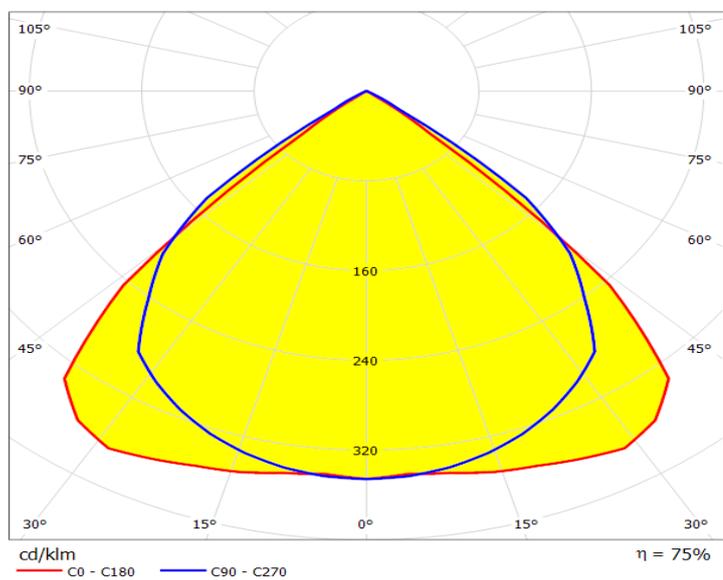


Fig.2.14. CDL luminária PHILIPS TCS 460- TL5 28W.

Fonte: PHILIPS

2.5 Gestão Energética Municipal - GEM

O município, dentro de um contexto nacional, assume cada dia mais um importante papel institucional na relação direta com o bem estar dos munícipes. Dentro de tal contexto, faz-se necessário o estudo e a aplicação de ações voltadas para saúde, educação, saneamento, meio ambiente e segurança, assim como a preocupação com o uso da energia, seus dispêndios e conseqüentemente a elaboração de projetos específicos em eficiência energética (PROCEL, 2004).

O Poder Público, no quesito energia, tem como função organizar uma estrutura específica voltada para uma visão macro da questão energética municipal, considerando o planejamento e o controle dos custos parciais ou totais de cada unidade consumidora e, ainda conhecer as potencialidades dos seus recursos energéticos. E é nesse sentido que os trabalhos de Gestão Energética Municipal criam oportunidades, reduzem custos de transação, mudam os paradigmas dos conceitos de eficiência, garantem a manutenção e a continuidade das ações. Em suma, os trabalhos relativos à Gestão Energética Municipal propiciam sustentabilidade aos diversos projetos de eficiência energética empreendidos pelos Municípios.

Alguns pontos chaves são necessários na implementação da Gestão Energética Municipal, tais como: criar Unidades de Gestão Energética Municipal – UGEM, conferir legitimidade à UGEM, implementar o *software* de Sistema de Informação Energética Municipal – SIEM, realizar levantamentos e diagnósticos preliminares da utilização da energia elétrica no Município, elaborar um Programa de Conservação de Energia Elétrica no Município e um Plano Municipal de Gestão da Energia Elétrica – PLAMGE, implementar medidas de conservação de energia elétrica, manter e garantir a continuidade das ações e divulgar as experiências exitosas.

A GEM pode ser considerada uma ferramenta, a ser usada pelo Administrador Municipal, para a organização e planejamento de diferentes atividades dos usos finais da energia elétrica desenvolvidas pela Prefeitura Municipal, identificando áreas com potencial de melhoria da eficiência do consumo, sem a perda da qualidade do serviço ofertado, elaborando um planejamento com projetos definidos e permitindo a priorização destes projetos para a sua implementação, considerando os aspectos do desenvolvimento local com a eficiência energética e a qualidade ambiental (PROCEL, 2004).

Os principais objetivos da GEM são: gerenciar o uso da energia elétrica nos pontos consumidores municipais (iluminação pública, prédios públicos, saneamento etc.) planejando,

implementando e controlando as ações, criar uma equipe com conhecimento e competência, voltada para a aplicação dos conceitos de eficiência energética, reduzir o consumo da energia e, conseqüentemente, a conta municipal de energia, capacitar o Município para negociar com as concessionárias de energia, garantindo, assim, a autonomia municipal na gestão de seus recursos, introduzir sistemas e equipamentos mais eficientes que contribuam para uma melhora da qualidade ambiental e incorporar os conceitos energéticos e ambientais nos instrumentos legais de formulação de políticas, planos estratégicos e programas municipais.

A GEM tem cinco princípios básicos, são eles: continuidade, adequação, exclusividade, livre acesso e legitimidade. Definidos um a um, no que segue.

- *Continuidade*: é a função da Gestão Energética que deve ser assegurada para garantir a perpetuidade das ações empreendidas na área de energia do Município;
- *Adequação*: função que deve ser assumida por uma equipe condizente com a dimensão do Município e com os potenciais de um programa de Gestão Energética;
- *Exclusividade*: função de uma equipe que tem essencialmente papel funcional e deve se dedicar, na medida do possível, exclusivamente às tarefas de Gestão Energética do Município;
- *Livre Acesso*: a equipe responsável deve estar em relação permanente com os responsáveis operacionais nos diferentes departamentos e secretarias municipais;
- *Legitimidade*: equipe responsável deve ter uma legitimidade explicitamente confirmada pelo mais alto nível de decisão no Município.

Um Município pode atuar em diferentes áreas de energia, podemos classificar como:

- *Consumidor*: os Municípios são consumidores de energia nas várias áreas sob sua administração, tais como iluminação pública, prédios públicos, saneamento, entre outras;
- *Produtor e Distribuidor*: na Europa, alguns municípios são responsáveis pela produção e distribuição da energia em sua extensão territorial, já no Brasil este modelo vem sendo incentivado através da legislação recente, como as RN 482/2012 e a RN 517/2012 (micro e mini geração de energia elétrica);
- *Planejador e Organizador do território*: o consumo de energia de um território é, em grande parte, o resultado das escolhas municipais em matéria de planejamento urbano, urbanismo, meio ambiente e planejamento energético. Esta é uma área de

atuação de grande potencial para os Municípios brasileiros em face da realidade nacional – país em desenvolvimento;

- *Incidador*: desenvolver ações para estimular a população e os agentes econômicos a promoverem o uso eficiente da energia. Estas ações podem ser desenvolvidas a partir de divulgação de informação, assessoria, incentivos financeiros, promoção de energias renováveis etc.

A atuação da GEM resulta em benefícios tanto para os municípios como para o setor elétrico. Os benefícios para os municípios surgem com a possibilidade de redução no consumo e na fatura de energia elétrica. Economia esta que pode chegar até 50% dependendo da área de atuação, além da economia de recursos, redirecionando-os para outras áreas prioritárias e o aproveitamento das fontes alternativas de energia, onde o município toma conhecimento destes potenciais, sem falar na preservação do meio ambiente onde tais processos de eficiência visam garantir a preservação dos recursos naturais para as gerações futuras baseados no desenvolvimento sustentável.

Os benefícios para o setor elétrico são notados na medida em que investimentos de recursos públicos ou privados na geração, transmissão e distribuição de energia são postergados, evitando maior dispêndio de energia e podendo assim, através das medidas da gestão energética e eficiência, suprir com confiabilidade a energia no horário de ponta do sistema.

Existem ainda os benefícios para a sociedade, de uma maneira geral, onde a atuação dos municípios através da GEM propiciam capacitação de pessoal, elaboração de estratégias, planejamento energético e economia de energia resultando em liberação de recursos para investimentos em outras áreas sociais consideradas prioritárias pelos habitantes da cidade.

2.6 Prédios Públicos

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2010, o consumo de energia elétrica nos prédios públicos chegou, em 2009, a aproximadamente 12 TWh, o que representa 2,8% do consumo total de energia no país (MME, 2011).

Este consumo está vinculado aos padrões tecnológicos e de eficiência energética dos diversos sistemas e equipamentos instalados. As características construtivas, arquitetônicas, o clima local, a atividade a que se destina, a orientação e os hábitos dos usuários quanto ao uso racional dos recursos também influenciam diretamente neste consumo (PROCEL, 2004).

A Fig. 2.16 apresenta a distribuição do perfil de consumo de energia elétrica em prédios públicos, de acordo com o PROCEL.

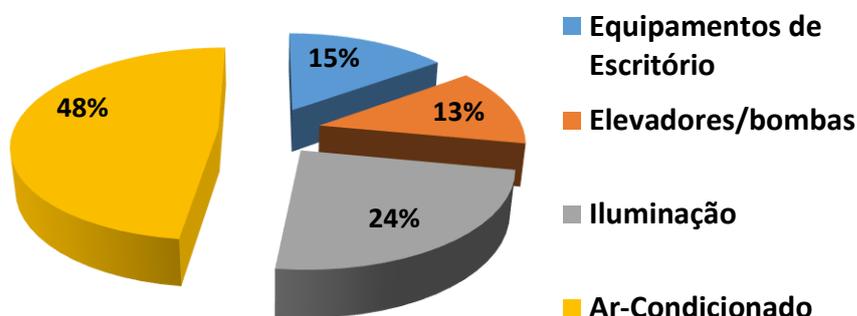


Fig. 2.16. Consumo de Energia Elétrica em Prédios Públicos

A maior parcela do consumo de energia elétrica nos prédios públicos se concentra nos sistemas de iluminação e condicionamento de ar. Estes indicadores justificam as medidas de eficiência energética que abrangem tais sistemas.

2.6.1 Edificações e Equipamentos

As edificações públicas podem ser de diversos tipos, entre elas, hospitais, escolas, postos de saúde, delegacias, prédios administrativos, etc. Cada uma deve ser projetada, construída e reformada de maneira a atender às funções para as quais é destinada, considerando as características locais.

As peculiaridades no uso das edificações determinam diferenças na arquitetura e nos equipamentos ou sistemas instalados em cada prédio. Conforme seu uso e localização pode possuir os seguintes sistemas prediais consumidores de energia elétrica: iluminação e tomadas de energia, condicionamento de ar, bombeamento de água e esgoto, aquecimento de água e ar, elevadores, refrigeração ou outras utilidades de menor consumo.

Segundo o PROCEL, nos prédios públicos, normalmente o sistema de corrente de iluminação, caracteriza-se pelo uso de lâmpadas incandescentes e fluorescentes de 40W com reatores eletromagnéticos de baixo fator de potência e luminárias de baixa eficiência. É muito comum o uso de instalações com controle centralizado de circuitos, sem interruptores setorizados nos ambientes de trabalho. O sistema de condicionamento de ar nos prédios públicos caracteriza-se pelo uso de aparelhos de janela, que muitas vezes são instalados e/ou

utilizados inadequadamente devido à sua exposição à radiação solar, ao sub ou superdimensionamento e à manutenção inadequada.

Os prédios públicos de maior porte, tem seus sistemas de ar-condicionado central, geralmente, de baixa eficiência energética devido à idade e ao padrão tecnológico, à inexistência ou funcionamento inadequado dos instrumentos e estratégias de controle, em especial nas unidades resfriadoras. Já as bombas de recalque raramente utilizam motores de elevada eficiência, como também carecem, na sua maioria, de controle de horário de funcionamento.

Os sistemas de refrigeração de alimentos utilizam equipamentos padronizados, como refrigeradores e freezer, e, em casos excepcionais, compressores em câmeras frigoríficas. Pelas características próprias de utilização, são de funcionamento contínuo e raramente estão baseados em equipamentos de máxima eficiência, com selo do PROCEL.

O aquecimento de água para grandes volumes normalmente é usado através de um boiler elétrico, que é um reservatório isolado e com uma resistência elétrica e um dispositivo de controle de temperatura, como tecnologia alternativa temos um sistema semelhante em que o aquecimento é feito através de coletores solares.

Os elevadores utilizam um sistema de tração elétrica de uma cabine sustentada por vários cabos de aço, polias e um contrapeso; os sistemas de acionamento são de corrente contínua; é um motor assíncrono acionando um gerador síncrono de corrente contínua que gera energia e alimenta o motor de corrente contínua acoplado ao redutor de velocidade que movimenta a cabine, ou acionamento de corrente alternada com motor assíncrono, ligado direto ao redutor de velocidade que movimenta a cabine.

2.6.2 Gestão e Manutenção dos Prédios Públicos

De acordo com o PROCEL, a Gestão Energética dos Edifícios Públicos incluem a fase de planejamento e execução de obras e requerem adoção de estratégias gerenciais adequadas. Tais estratégias devem considerar a importância de realizar levantamentos dos sistemas elétricos existentes nos edifícios, investigar hábitos de uso da edificação e dos sistemas elétricos implantados, conhecer a opinião dos usuários e técnicos do edifício sobre a qualidade dos sistemas instalados e formar grupos de trabalho que executem ou contratem diagnósticos energéticos, obras e serviços selecionados, envolvendo as equipes de manutenção e de técnicos do edifício.

2.6.3 Instalações Existentes

A partir do levantamento de dados relativos ao uso de energia na edificação e do registro deles, deve-se proceder à seleção das ações visando à redução do desperdício de energia. É nesse momento que se dá o Diagnóstico Energético, avaliando os sistemas existentes e propondo soluções, sejam estas baseadas em sistemas completamente novos ou reabilitados, mas sempre focados na eficiência de tais sistemas e economia de energia, atendendo ao uso final a que se destina. Posterior a todas as etapas do diagnóstico parte-se para a ação, onde é feita a implementação de algum destes sistemas, sendo que o escolhido passa também por uma análise técnico-econômica, que é obrigatória em todos Diagnósticos Energéticos, caracterizando-se como um dos pontos principais, senão o principal, do ponto de vista do investidor.

2.7 Iluminação de Interiores em Ambientes de Trabalho: NBR 8995 – 1

A NBR especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho (ABNT, 2013).

Esta norma veio cancelar e substituir as normas NBR 5413 - Iluminância de interiores e a NBR 5382 - Iluminação de ambientes de trabalho. Seu texto é idêntico ao da Norma Internacional ISO/CIE 8995-1, devido a isto a norma brasileira segue, atualmente, padrões internacionais.

A NBR 8995-1 destaca alguns aspectos principais, que podem ser divididos em três requisitos:

- Iluminância mantida para área da tarefa e entorno imediato;
- Controle de ofuscamento através do Método UGR – *Unified Glare Rating*– Índice de ofuscamento unificado;
- Reprodução de cor mínima (Ra) para as diversas atividades e tarefas.

Estes três aspectos são recomendados para cada interior, tarefa ou atividade, fazendo com que o projeto luminotécnico seja tratado de forma mais qualitativa.

A norma não especifica como os sistemas ou técnicas de iluminação devem ser projetados a fim de aperfeiçoar as soluções para locais específicos de trabalho. Estas podem ser encontradas nos guias pertinentes e relatórios da CIE.

De acordo com a NBR 8995-1 uma boa iluminação propicia a visualização do ambiente, permitindo que as pessoas vejam, se movam com segurança e desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, sem causar fadiga visual e desconforto. A iluminação pode ser natural, artificial ou uma combinação de ambas. Uma boa iluminação requer igual atenção para a quantidade e qualidade da iluminação. Embora seja necessária a provisão de uma iluminância suficiente em uma tarefa, em muitos exemplos a visibilidade depende da maneira pela qual a luz é fornecida, das características da cor da fonte de luz e da superfície em conjunto com o nível de ofuscamento do sistema.

Nessa norma foi levado em consideração a iluminância, o limite referente ao desconforto por ofuscamento e o índice de reprodução de cor mínimo da fonte para especificar os vários locais de trabalho e tipos de tarefas. Tais parâmetros são necessários para criar condições visuais confortáveis e estão propostos no corpo dessa norma. Os valores recomendados foram considerados, a fim de representar um balanço razoável, respeitando os requisitos de segurança, saúde e um desempenho eficiente do trabalho. Os valores podem ser atingidos com a utilização de soluções energeticamente eficientes.

Os parâmetros ergonômicos visuais, como a capacidade de percepção e as características e atributos da tarefa, que determinam a qualidade das habilidades visuais do usuário e, conseqüentemente, os níveis de desempenho, também são necessários e citados na norma. Em alguns casos a melhoria destes fatores de influência pode aprimorar o desempenho sem ser necessário aumentar os níveis de iluminância. Por exemplo, pela melhora do contraste na tarefa, ampliando a visualização de própria tarefa através do uso de equipamentos de auxílio à visão (óculos) e pela provisão de sistemas de iluminação especiais com capacidade de uma iluminação local direcional.

Uma boa iluminação para locais de trabalho é muito mais que apenas fornecer uma boa visualização da tarefa, é essencial que as tarefas sejam realizadas facilmente e com conforto. Assim, a iluminação deve satisfazer os aspectos quantitativos e qualitativos exigidos pelo ambiente. Normalmente, a iluminação assegura: conforto visual, dando aos trabalhadores uma sensação de bem-estar e desempenho visual, ficando os trabalhadores capacitados a realizar suas tarefas visuais, rápida e precisamente, mesmo sob circunstâncias difíceis e durante longos períodos, segurança visual, ao olhar ao redor e detectar perigos.

É necessário que seja dada atenção a todos os parâmetros que contribuem para o ambiente luminoso, os principais são: distribuição da luminância, iluminância, ofuscamento,

direcionalidade da luz, aspectos da cor da luz e superfícies, cintilação, luz natural e manutenção, tudo isso a fim de assegurar as exigências da referida norma.

Os valores de projeto para os parâmetros quantificáveis de iluminância, desconforto referente ao ofuscamento e reprodução de cor estão estabelecidos na norma dependendo da atividade. Adicionalmente à iluminação, existem outros parâmetros ergonômicos visuais que influenciam o desempenho visual dos operadores, como: as propriedades intrínsecas da tarefa (tamanho, forma, posição, cor e refletância do detalhe e do fundo), capacidade oftálmica do operador (acuidade visual, percepção de profundidade, percepção da cor).

A distribuição da luminância no campo de visão controla o nível de adaptação dos olhos, o qual afeta a visibilidade da tarefa. A atenção a estes fatores melhora o desempenho visual sem a necessidade de incrementar os níveis de iluminância. A adaptação balanceada da luminância é necessária para ampliar: a acuidade visual, a sensibilidade ao contraste, a eficiência das funções oculares, como acomodação, convergência, contrações pupilares, movimento dos olhos, entre outros. A distribuição de luminâncias variadas no campo de visão também afeta o conforto visual e convém que sejam evitadas: luminâncias muito altas que podem levar ao ofuscamento, contrastes de luminâncias muito altos causam fadiga visual devido à contínua readaptação dos olhos, luminâncias muito baixas e contrastes de luminância muito baixos resultam em um ambiente de trabalho sem estímulo e tedioso (ABNT, 2013).

É importante dar atenção à adaptação na movimentação de zona para zona no interior do edifício. As luminâncias de todas as superfícies são importantes e são determinadas pela refletância e pela iluminância nas superfícies. As faixas de refletâncias úteis para as superfícies internas mais importantes são: teto: 0,6-0,9; paredes: 0,3-0,8; planos de trabalho: 0,2-0,6; e piso: 0,1 – 0,5 (ABNT, 2013).

3 ESTUDO DE CASO NO CENTRO ADMINISTRATIVO MUNICIPAL

O Centro Administrativo da Prefeitura Municipal de Alegrete (CAM) está localizado na Rua Major João Cezimbra Jaques, nº 361, Bairro Cidade Alta, no município de Alegrete, neste Estado do Rio Grande do Sul, na área de concessão da distribuidora de energia AES Sul LTDA. A sede atual do Centro Administrativo já foi sede do Banco do Brasil, tendo suas instalações adequadas para tal atividade.

O CAM é voltado para atividades burocráticas, com a maioria das secretarias instaladas nesta sede. Possui grande potencial para que seja feito um estudo de eficiência energética abrangente, principalmente no que se refere à parte da informática e condicionamento de ar. Entretanto este trabalho foi dirigido essencialmente para a eficientização da iluminação interna dos ambientes de trabalho.

3.1 Diagnóstico Energético da Iluminação Interna do CAM

Ao realizar qualquer atividade voltada para a Eficiência Energética é necessário conhecer e diagnosticar a realidade energética, só assim pode se estabelecer as prioridades, implantar os projetos de melhoria e redução de perdas e acompanhar seus resultados em um processo contínuo. Um *Diagnóstico Energético* foi feito para o CAM e, através deste um relatório foi gerado para que de maneira corretiva, em suas instalações já existentes, sejam tomadas as ações necessárias para melhor desempenho da iluminação e economia de energia.

O Diagnóstico Energético requer um levantamento detalhado de todas as características do local, desde as físicas até as humanas. Dessa maneira o referido diagnóstico será apresentado a seguir.

3.1.1 Instalações Físicas e Informações Gerais

As Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente, apresentam os dados referidos das instalações físicas e informações gerais do CAM, o número total de colaboradores e responsáveis pela manutenção da iluminação do prédio e horário de funcionamento. No horário de funcionamento nota-se um turno especial que funciona 24 horas diárias, este turno refere-se à Secretaria de Segurança que possui um sistema de câmeras de monitoramento. Este sistema funciona ininterruptamente, apenas com as trocas dos operadores.

Tabela 1: Dados Gerais do CAM

Instalações Físicas e Informações Gerais da Empresa	
Área Total [m ²]	9492
Área Construída [m ²]	2980
Concessionária	AES Sul
Tensão de Fornecimento	GRUPO A4 (13.8 - 23 kV)
Tarifa Enquadrada	Convencional
Classe de Consumo	Poder Público
Atividade Econômica	Serviço Público

Tabela 2: Recursos Humanos do CAM

Função	Quantidade
Eng. Iluminação	1
Téc. Manutenção	1
Eletricista	1
Total de Colaboradores no CAM	1222

Tabela 3: Horário de Funcionamento do CAM

Turno Normal	
Início	07:00
Término	13:00
Horas Diárias	6
Dias/Semana	5
Dias/Mês	22
Meses/Ano	12
Expediente Interno	
Início	13:00
Término	18:00
Horas Diárias	5
Dias/Semana	5
Dias/Mês	22
Meses/Ano	12
Turno Especial	
Horas Diárias	24
Dias/Semana	7
Dias/Mês	30
Meses/Ano	12

3.1.2 Características das Instalações

O estudo apresentado foi feito nos quatro trechos das instalações, somente na parte da Iluminação interna do CAM. A Fig. 3.1 ilustra a entrada da energia a partir de um esquemático simples e a Fig. 3.2 ilustra o Diagrama Unifilar das instalações.

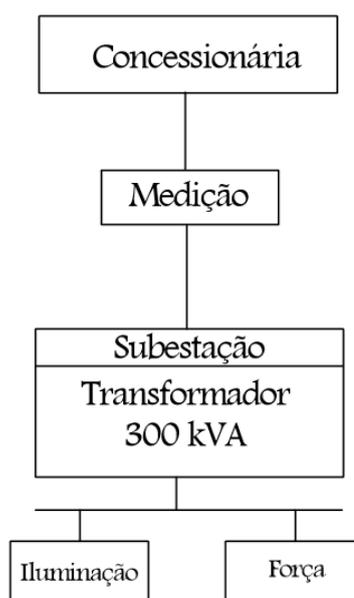


Fig. 3.1. Esquemático da entrada de energia

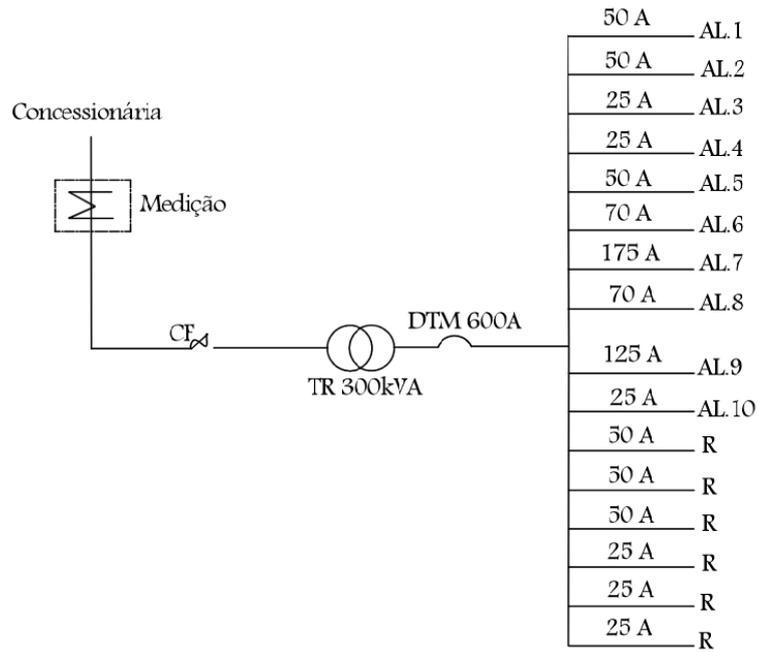


Fig. 3.2. Diagrama Unifilar

O CAM conta com uma subestação com um Transformador Classe 15kV, 300 kVA isolado a silicone com tensão primária 12/12.6/13.2/13.8 kV e ligação em delta e tensão secundária 380 - 220V ligação estrela. A demanda máxima registrada nos últimos doze meses foi de 106 kW.

3.1.3 Faturas de Energia e Demanda

Nesta seção serão apresentados os custos da energia de acordo com a tarifa praticada no CAM, o histórico da demanda e consumo ativo, histórico das faturas dos últimos doze meses e uma análise tarifária.

Tabela 4: Custo da energia de acordo com a tarifa praticada no CAM

Tarifa Praticada		Convencional
Cons. Ponta Seca	[R\$/kWh]	0,148530
Cons. Ponta Úmida	[R\$/kWh]	0,148530
Cons. Fora Ponta Seca	[R\$/kWh]	0,148530
Cons. Fora Ponta Úmida	[R\$/kWh]	0,148530
Demanda Ponta	[R\$/kW]	24,47
Demanda Fora Ponta	[R\$/kW]	24,47
Demanda Ultrapassagem	[R\$/kW]	48,94

Tabela 5: Custo da energia com imposto, de acordo com a tarifa praticada no CAM

A4 - Poder Público	Convenc.	Verde	Azul	
Cons. Ponta Seca	0,153939	0,695684	0,228354	R\$/kWh
Cons. Ponta Úmida	0,153939	0,695684	0,228354	R\$/kWh
Cons. Fora Ponta Seca	0,153939	0,147182	0,147182	R\$/kWh
Cons. Fora Ponta Úmida	0,153939	0,147182	0,147182	R\$/kWh
Demanda Ponta	25,361297	11,369572	19,43	R\$/kW
Demanda Fora Ponta	25,361297	11,369572	11,37	R\$/kW

Tabela 6: Histórico da Demanda e do Consumo no CAM

Mês	Ano	Demanda [kW]		Consumo [kWh]		Ultrapassagem [kW]
		Ponta	F.Ponta	Ponta	F.Ponta	
Janeiro	2013	0	91	0	17280	21
Fevereiro	2013	0	96	0	19200	26
Março	2013	0	72	0	16320	2
Abril	2013	0	53	0	13920	0
Mai	2013	0	53	0	13920	0
Junho	2013	0	43	0	14480	0
Julho	2013	0	53	0	16320	0
Agosto	2013	0	62	0	15840	0
Setembro	2013	0	67	0	17280	0
Outubro	2013	0	43	0	15360	0
Novembro	2013	0	67	0	17280	0
Dezembro	2013	0	43	0	19680	0
Janeiro	2014	0	101	0	24480	31
Média		0	65	0	17028	6

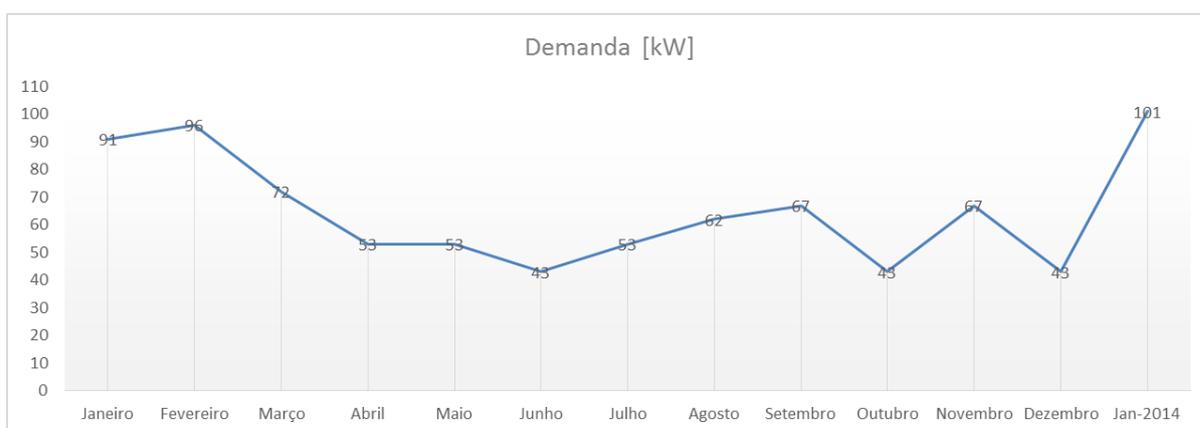


Fig. 3.3. Gráfico do Histórico da Demanda

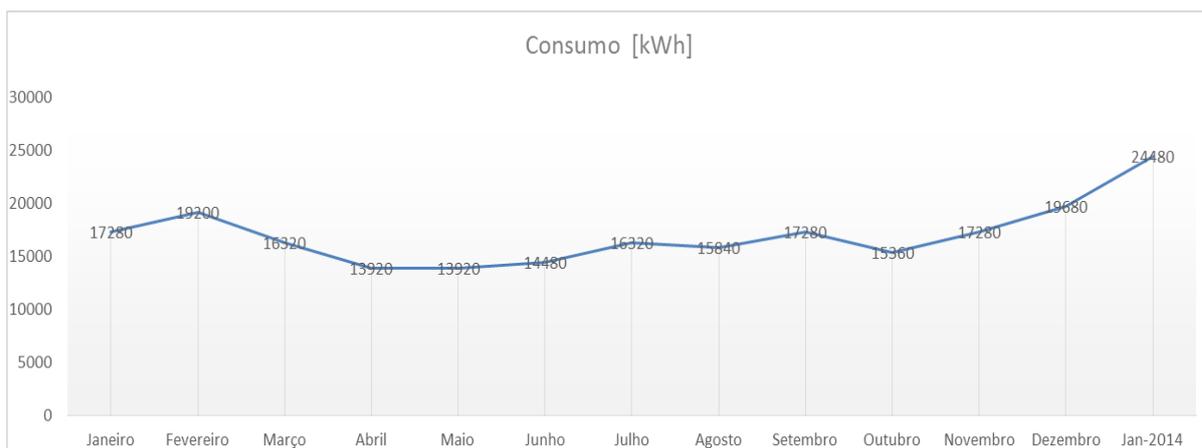


Fig. 3.4. Gráfico do Histórico do Consumo

Tabela 7: Histórico das faturas Mensais do CAM com ICMS

Mês	Ano	Demanda [R\$]		Consumo [R\$]		Total [R\$]	ICMS [25%]	Total[R\$]
		F.Ponta	Demanda Ultrapassagem [R\$]	F.Ponta	T			
Janeiro	2013	R\$ 2.307,88	R\$ 1.065,17	R\$ 2.660,07	R\$ 6.033,12	R\$ 2.010,99	R\$ 8.043,96	
Fevereiro	2013	R\$ 2.434,68	R\$ 1.318,79	R\$ 2.955,63	R\$ 6.709,10	R\$ 2.236,31	R\$ 8.945,24	
Março	2013	R\$ 1.826,01	R\$ 101,45	R\$ 2.512,28	R\$ 4.439,74	R\$ 1.479,88	R\$ 5.919,51	
Abril	2013	R\$ 1.344,15	R\$ -	R\$ 2.142,83	R\$ 3.486,98	R\$ 1.162,30	R\$ 4.649,19	
Mai	2013	R\$ 1.344,15	R\$ -	R\$ 2.142,83	R\$ 3.486,98	R\$ 1.162,30	R\$ 4.649,19	
Junho	2013	R\$ 1.090,54	R\$ -	R\$ 2.229,04	R\$ 3.319,57	R\$ 1.106,50	R\$ 4.425,99	
Julho	2013	R\$ 1.344,15	R\$ -	R\$ 2.512,28	R\$ 3.856,43	R\$ 1.285,45	R\$ 5.141,78	
Agosto	2013	R\$ 1.572,40	R\$ -	R\$ 2.438,39	R\$ 4.010,79	R\$ 1.336,90	R\$ 5.347,59	
Setembro	2013	R\$ 1.699,21	R\$ -	R\$ 2.660,07	R\$ 4.359,27	R\$ 1.453,05	R\$ 5.812,22	
Outubro	2013	R\$ 1.090,54	R\$ -	R\$ 2.364,50	R\$ 3.455,04	R\$ 1.151,65	R\$ 4.606,60	
Novembro	2013	R\$ 1.699,21	R\$ -	R\$ 2.660,07	R\$ 4.359,27	R\$ 1.453,05	R\$ 5.812,22	
Dezembro	2013	R\$ 1.090,54	R\$ -	R\$ 3.029,52	R\$ 4.120,06	R\$ 1.373,32	R\$ 5.493,27	
Janeiro	2014	R\$ 2.561,49	R\$ 1.572,40	R\$ 3.768,43	R\$ 7.902,32	R\$ 2.634,04	R\$ 10.536,16	
Total		R\$ 21.404,93	R\$ 39.259,29	R\$ 34.075,94	R\$ 94.740,16	R\$ 31.579,26	R\$ 126.317,05	
Média		R\$ 1.646,53	R\$ 312,14	R\$ 2.621,23	R\$ 4.579,90	R\$ 1.526,59	R\$ 6.106,38	

A análise tarifária é baseada na tarifa praticada atualmente e com um comparativo com as classes de tarifa Verde e Azul. A demanda contratada corresponde a 70 kW. Na análise tarifária as médias, mensal e anual, referem-se ao ano de 2013 com as tarifas referentes também a este ano.

Tabela 8: Análise Tarifária do CAM com ICMS

Classe: Poder/Serviço Público		Anual com ICMS	
Consumo Médio Mensal		A4	
Fatura Convencional - Atual	Energia	Valor	Percentual [%]
Consumo [kWh]	16407	R\$ 5.737,23	0%
Demanda [kW]	62		
Dem. Ultrapassagem [kW]	4		
Fatura Horária Verde		R\$ 7.550,56	32%
Consumo Fora Ponta Úmida [kWh]	17280		
Consumo Fora Ponta Seca [kWh]	15783		
Demanda [kW]	62		
Dem. Ultrapassagem [kW]	4	R\$ 5.663,06	-1%
Fatura Horária Azul			
Consumo Fora Ponta Úmida [kWh]	17280		
Consumo Fora Ponta Seca [kWh]	15783		
Demanda Ponta [kW]	0		
Demanda Fora Ponta [kW]	62		
Dem. Ultrapassagem Ponta [kW]	0	R\$ 5.663,06	-1%
Dem. Ultrapassagem F.P [kW]	4		

A análise tarifária foi baseada na conta de energia, sem medições, devido a isso não aparecem o consumo e a demanda na ponta. Nesta análise foram levados em conta os meses dos períodos seco e úmido. Nota-se uma vantagem percentual de apenas 1% na troca da fatura atual para a fatura horária azul.

3.2 Projeto de Eficiência na Iluminação

A luz é um elemento importante e indispensável em nossas vidas. Devido a isto é encarada de maneira familiar e natural, fazendo com que ignoremos a necessidade de aproveitá-la e conhecê-la melhor. Ao longo dos anos as tecnologias que envolvem sistemas de iluminação tem se desenvolvido bastante com diversos equipamentos para as mais variadas aplicações (PROCEL, 2002).

Atualmente notamos a preocupação com a escassez de energia e a constante busca por alternativas mais econômicas. No que compete à iluminação sabemos que a qualidade da luz é decisiva, tanto no que diz respeito ao desempenho das atividades, como na influência que exerce no estado emocional e no bem estar dos seres humanos.

Trabalhos desenvolvidos no Brasil mostram vários problemas existentes em edificações, sejam elas públicas ou privadas, devido ao sistema de iluminação que se encontra fora dos padrões técnicos adequados (PROCEL, 2002). Alguns casos mais comuns são:

- Iluminação em excesso;
- Falta de aproveitamento da iluminação natural;
- Uso de equipamento de baixa eficiência luminosa;
- Falta de interruptores das luminárias;
- Ausência de manutenção, depreciando o sistema;
- Hábitos de uso inadequados.

O CAM possui grande potencial para que seja feito um estudo de eficiência energética abrangente, principalmente no que se refere à parte da informática, condicionamento de ar e iluminação, entretanto este trabalho foi dirigido essencialmente à iluminação interna.

O CAM se enquadra muito bem em alguns casos descritos acima, principalmente no que se refere à ausência de manutenção e no uso de equipamentos de baixa eficiência luminosa. O presente relatório tem por objetivo, apresentar os resultados do Projeto de Eficiência Energética em Iluminação, com a substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas eficientes.

3.2.1 Características gerais das luminárias

As características gerais referem-se às luminárias existentes nos trechos A, B, C e D onde foram realizadas as medições. A Fig. 3.5 ilustra a localização dos trechos de acordo com a planta baixa do prédio. As lâmpadas são do tipo T8 32W Branca Fria, algumas da marca GE e outras Empalux, todas com reator eletrônico da marca FLB com partida instantânea para duas lâmpadas e as luminárias são sem refletor, a Fig.3.6 ilustra a luminária. As instalações elétricas referentes à iluminação dos trechos e, do prédio em si, obedecem ao mesmo padrão de luminárias, sendo todas do mesmo modelo. As Fig.3.7 e Fig.3.8 ilustram algumas salas onde foram feitas as medições e a Fig.3.9 apresenta o detalhe do reator usado nas luminárias.

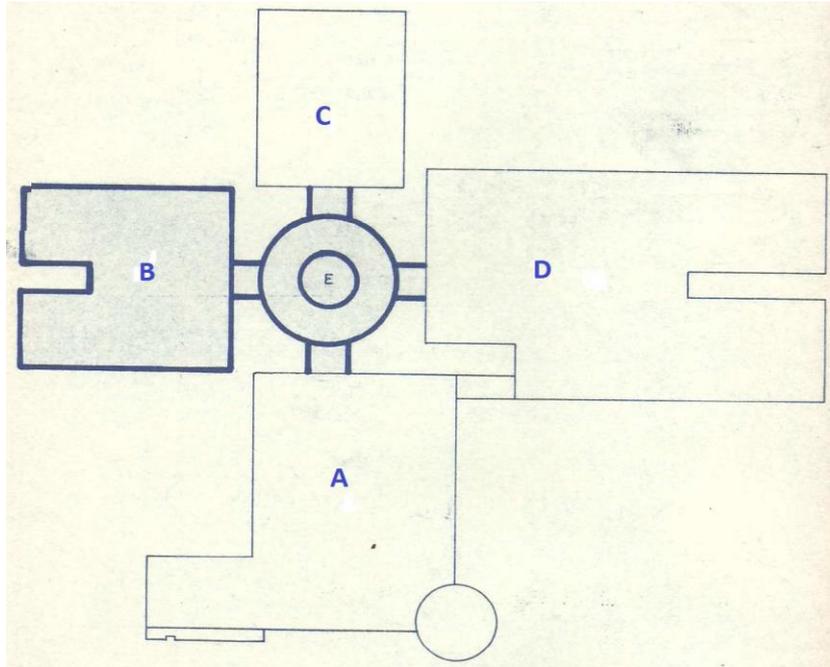


Fig. 3.5. Localização dos Trechos A, B, C e D



Fig.3.6. Modelo de Luminária existente no CAM

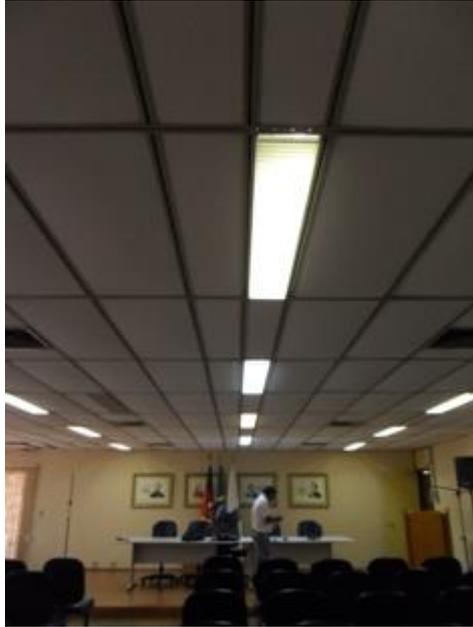


Fig. 3.7. Local onde foram feitas medições

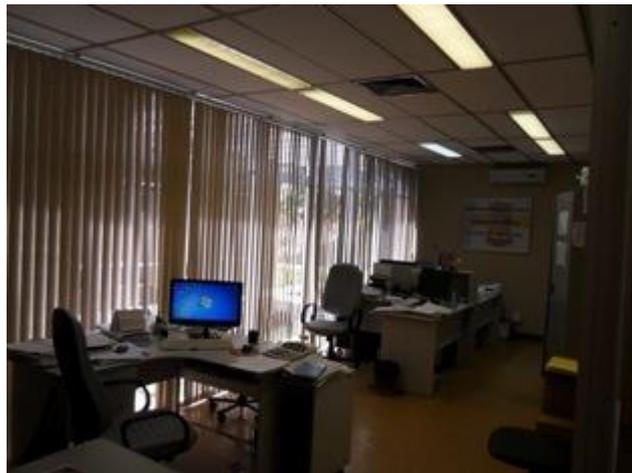


Fig.3.8. Local onde foram feitas medições



Fig. 3.9. Detalhe do Reator

As medições foram feitas durante o dia, no turno em que se concentram as tarefas no CAM, portanto há ainda o benefício da iluminação natural. As médias foram feitas por trecho, com medições no plano de trabalho e fora do plano de trabalho. A Tabela 9 apresenta o levantamento de carga por trecho e a Tabela 10 apresenta os resultados das médias do nível de iluminação por trecho das medições.

Tabela 9: Levantamento de carga por trecho

Iluminação Interna	Trecho				Total
	A	B	C	D	
Luminárias	46	46	23	99	214
Lâmpadas	2	2	2	2	428
Potência [W]	32	32	32	32	32
Potência por Luminária [W]	64	64	64	64	64
Total/Trecho [W]	2944	2944	1472	6336	13696

Tabela 10: Média do nível de Iluminamento por trecho das Medições

Média Medições				
Trechos	A	B	C	D
Plano de Trabalho	300	193	246	199
Fora do Plano de Trabalho	175	109	126	117

Em laboratório foi ensaiada uma das luminárias usadas no CAM, com duas lâmpadas tipo T8 32W Branca Fria, da GE. Lembrando que as luminárias do CAM obedecem o mesmo padrão, sendo todas do mesmo modelo e com duas lâmpadas de 32W cada. Foram feitos dois ensaios, um deles com a luminária exatamente como estava no CAM e outro com a luminária sem a calha. Essas medições foram feitas na parte frontal e lateral do equipamento, a fim de se obter a média de iluminamento em 1m^2 a 1m de altura, todas medições com tensão de 220 V. As Fig.3.10, Fig.3.11 e Fig.3.12 detalham os equipamentos usados nestes ensaios, as Tabelas 11 e 12 apresentam os resultados obtidos no laboratório e as Fig. 3.13 e Fig. 3.14, os gráficos de superfície, que exemplificam os níveis de iluminamento em 1m^2 à 1m de altura.



Fig.3.10. Equipamento de Ensaio



Fig. 3.11. Medição Frontal



Fig. 3.12. Equipamentos utilizados nos ensaios

Tabela 11: Média de iluminamento da Luminária do CAM – 2x32W

Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	204	204	192	252	245	226	239	220	202	209
20	204	216	213	259	265	252	253	239	225	215
30	192	218	241	253	277	269	267	252	230	205
40	211	229	240	247	282	287	277	267	261	233
50	209	247	252	289	295	297	283	273	268	247
60	207	242	264	282	293	299	292	278	252	226
70	210	247	252	264	295	297	291	263	267	247
80	214	235	245	277	283	289	267	259	258	234
90	192	225	250	271	276	282	274	260	235	210
100	206	220	215	243	267	257	266	246	231	221
Valores Extrapolados										
Média 1 m²:						248,0	Lux			

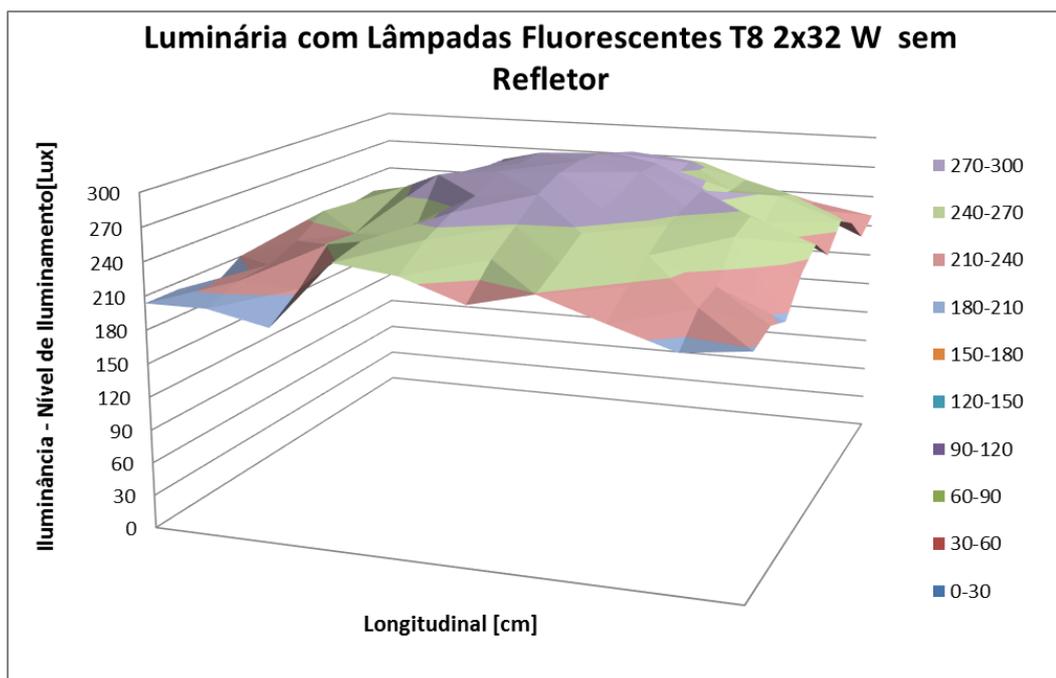


Fig. 3.13. Gráfico de Superfície referente a Tabela 11– Luminária do CAM

Tabela 12: Média de iluminamento da Luminária do CAM sem a calha – 2x32W

Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	310	307	287	357	345	322	342	324	301	315
20	313	327	326	369	368	356	363	347	331	328
30	300	327	352	370	380	380	378	363	353	325
40	323	346	365	368	390	399	389	384	377	351
50	324	366	376	409	413	410	401	391	382	368
60	325	356	380	405	415	416	411	399	380	353
70	323	361	366	381	413	410	405	373	375	364
80	321	345	356	383	391	398	379	371	367	350
90	297	333	358	374	384	388	388	374	352	332
100	310	324	314	344	368	352	370	351	328	330
Valores Extrapolados										
Média 1 m²:						359,3	Lux			

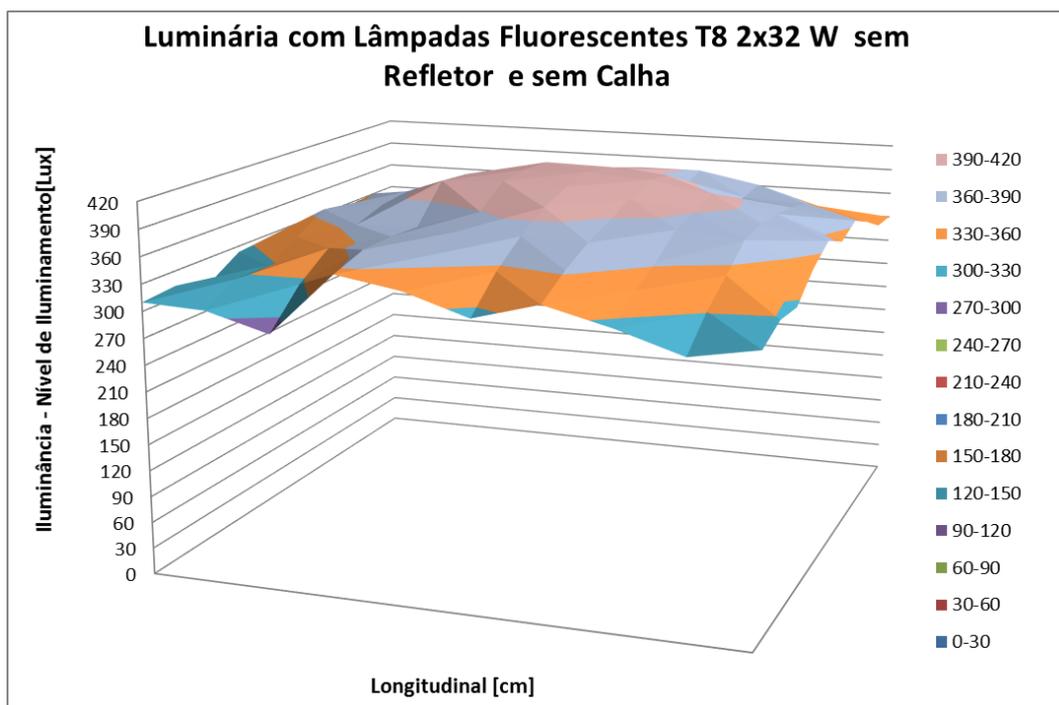


Fig. 3.14. Gráfico de Superfície referente a Tabela 12– Luminária do CAM sem a calha

Na Tabela 11 podemos observar que o ensaio apresenta resultado para um iluminamento médio de 248 Lux em 1m^2 à 1m de altura. Tal valor não alcança a média de 300 Lux que seria o mínimo necessário, de acordo com a norma vigente NBR 8995-1. Já no segundo ensaio, com resultado apresentado na Tabela 12, podemos observar que o nível de iluminamento médio atinge 359 Lux, sendo que a luminária ensaiada se encontra sem a calha, o que já atinge os níveis mínimos estabelecidos em norma.

Ainda em laboratório foram feitos dois ensaios a fim de comparar se o nível de iluminamento diminuía com uma queda de tensão. Isso pode ser confirmado quando ensaiamos a luminária com tensão de 210 V, nota-se que este ensaio foi feito apenas para o iluminamento exatamente no plano central da luminária, onde a incidência luminosa deveria ser maior, portanto para fazer a comparação devem ser observados apenas estes valores nas outras tabelas. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13: Níveis de iluminamento do ensaio com queda de tensão

Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	320	327		302	263	215	293	363		325
20	314	327		341	311	242	371	363		325
30	300	327	352	370	380	255	378	363	353	325
40	314	327		370	327	273	326	265		325
50	256	232		277	283	282	273	265		215
60	199	232	252	270	284	286	280	265	242	215
70	257	232		270	283	282	277	374		215
80	315	333		352	329	274	381	374		332
90	297	333	358	374	384	259	388	374	352	332
100	315	333		374	314	244	316	374		332

Tabela 14: Níveis de iluminamento do ensaio com queda de tensão e luminária sem a calha

Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	320	327		367	361	343	357	363		325
20	314	327		374	378	376	371	363		325
30	300	327	352	370	380	402	378	363	353	325
40	314	327		370	402	424	401	394		325
50	316	349		407	423	444	399	394		350
60	319	349	369	390	402	407	404	394	375	350
70	317	349		390	423	444	418	374		350
80	315	333		391	408	432	381	374		332
90	297	333	358	374	384	412	388	374	352	332
100	315	333		374	384	384	386	374		332

Para comparar o nível de iluminamento atual do CAM com o nível de iluminamento de luminárias com lâmpadas eficientes foram propostos alguns cenários, que serão apresentados a seguir com ensaios em laboratório, para verificação de níveis de iluminamento, e análise técnico-econômica do sistema proposto.

3.2.2 Cenário 1: Luminária Facetada Refletiva com Lâmpadas T5 2x28W

Um primeiro sistema foi proposto a fim de se verificar os níveis de iluminamento e também a viabilidade econômica do referido sistema. Para este primeiro cenário foi proposta uma luminária com refletor facetado refletivo com duas lâmpadas eficientes T5 de 28W, reduzindo o número de luminárias pela metade. O resultado do ensaio deste primeiro cenário está apresentado na Tabela 15 e a Fig. 3.15 apresenta o gráfico de superfície do nível de iluminamento.

Tabela 15: Luminária com Lâmpadas Fluorescentes T5 2x28W com Refletor Facetado Refletivo

Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	1047	1104	1090	1234	1191	1112	1158	1038	946	983
20	989	1118	1204	1278	1269	1240	1203	1130	1057	1020
30	860	1032	1259	1287	1298	1321	1277	1202	1127	982
40	1027	1194	1356	1322	1364	1429	1353	1281	1234	1108
50	1008	1271	1384	1465	1473	1469	1392	1328	1278	1197
60	989	1158	1382	1457	1476	1474	1456	1378	1288	1115
70	1026	1264	1370	1375	1467	1458	1432	1272	1286	1201
80	1062	1189	1292	1366	1383	1407	1295	1258	1248	1134
90	935	1086	1249	1350	1358	1336	1333	1267	1181	1019
100	1016	1098	1109	1230	1289	1220	1277	1177	1086	1053
Valores Extrapolados										
Média 1 m²:						1226	Lux			

Ao compararmos o nível de iluminamento desta luminária com o sistema atual do CAM, notamos que a média do nível de iluminamento de 248 Lux do primeiro ensaio atinge apenas 20% da média do nível de iluminamento deste sistema e, a média do segundo ensaio da luminária sem a calha, que conta com uma média de 359,3 Lux, atinge 29,3%, aproximadamente 30% do nível de iluminamento deste sistema.

Esta comparação significa que o sistema de iluminação do Cenário 1 supera em 80% a tecnologia hoje vigente no CAM.

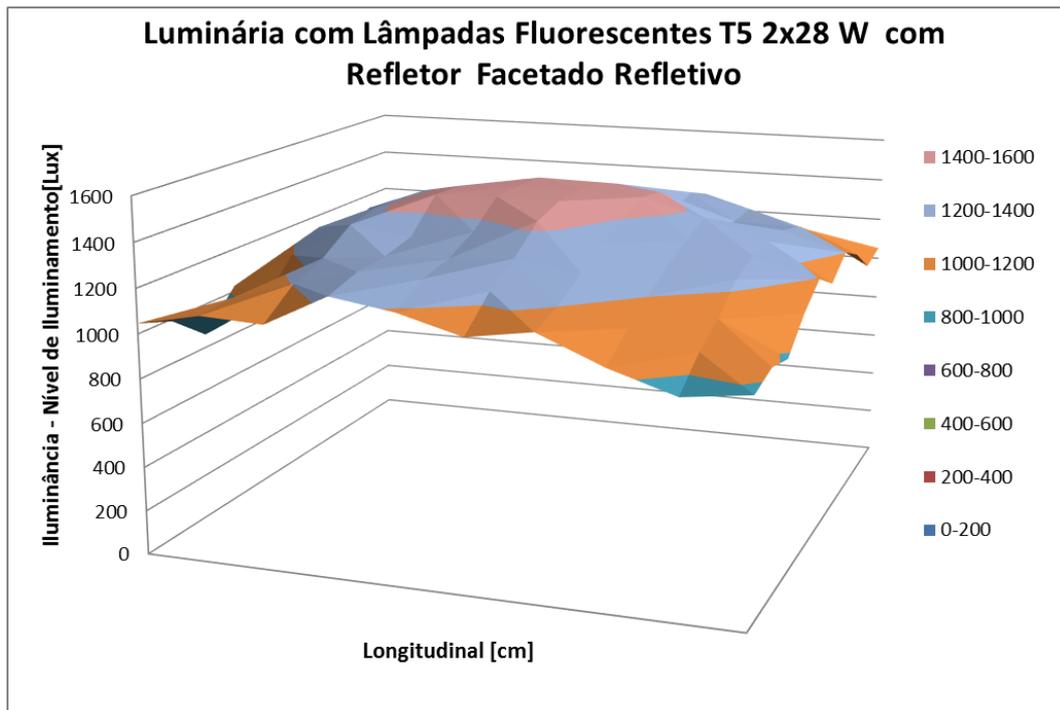


Fig. 3.15. Gráfico de Superfície referente a Tabela 15

Observando as tabelas de nível de iluminamento e os gráficos referentes pode-se perceber que o uso de luminárias refletivas e lâmpadas eficientes trariam benefícios para o conforto visual e melhoraria as condições atuais na área de trabalho e fora dela.

A fim de verificar o que foi medido em laboratório, implementou-se na prática este cenário. Instalamos no CAM a luminária eficiente e constatamos através de medição com o luxímetro um nível de iluminamento de 566 lux no plano de trabalho, abaixo da luminária. As Fig. 3.16 e 3.17 mostram a luminária instalada.

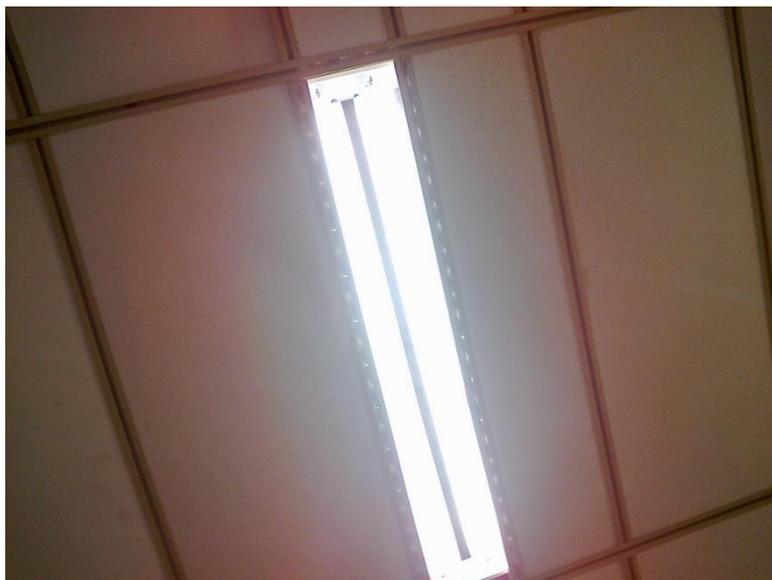


Fig.3.16. Luminária instalada no CAM



Fig.3.17. Luminária Facetada Refletiva com lâmpadas eficientes instalada no CAM

3.2.2.1 Análise Técnico Econômica do Cenário 1

A análise financeira do referido cenário contempla somente a iluminação interna, onde foi feito o levantamento da carga e as medições. Nesta análise serão substituídas as luminárias

atuais e seus respectivos reatores por outros eficientes. Os mesmos modelos usados nos ensaios foram mantidos na análise. A Tabela 16 detalha o levantamento desta substituição e os equipamentos a serem avaliados e as características gerais destes. É importante ressaltar também que o CAM não funciona no horário de ponta, salvo o turno especial onde funcionam as câmeras de monitoramento, e nem em finais de semana e feriados, ainda assim foi considerado para análise econômica um total de 300 dias por ano de funcionamento e obedecida a tarifa praticada apresentada na Tabela 4.

A análise técnico econômica do Cenário 1 conta com metas de efficientização, custos do projeto e relações custo benefício. As tabelas a seguir apresentam os dados desta análise.

Tabela 16: Levantamento das características do sistema atual e do eficiente – Cenário 1

Nome do Cliente	Classe	Poder Público
Prefeitura Municipal de Alegrete	Local	Alegrete - RS
Iluminação Artificial	Atual	Eficiente
Tipo (Ambiental/Localizada)	Interna	Interna
Tipo de Lâmpada	Fluorescente Tubular	Fluorescente SmartLux
Número Lâmpadas	428	214
Potência da Lâmpada por Luminária	32	28
Vida útil da lâmpada (horas)	7500	25000
Tensão de Alimentação	220	220
Lâmpadas por Luminária	2	2
Serviço Energético [lumens]	248	1226
Horas de Operação Diária	11	11
Vida Útil de Operação [Anos]	1	6
Estado Limpeza das Luminárias	Sujas	Normal
Tipo de Luminária	Tubular Não Refletiva	Refletiva Facetada Alumínio
Quantidade de Luminárias	214	107
Forma de Distribuição das Luminárias	UNIVERSAL	UNIVERSAL
Tipo de Reator	Eletrônico	Eletrônico
Potência do Reator	32	28
Vida útil do reator (horas)	6000	30000
Número de Lâmpadas por Reator	2	2
Tipo do Difusor	não refletivo	Espelhado
Tipo do Refletor	não refletivo	Espelhado
Característica da superfície do refletor	não refletivo	de alta refletância e alta pureza 99,85%
Potência Demandada por Luminária	56	40
Custo unitário [R\$]	100	157
Custo Total [R\$]	21400	16799
Potência total [W]	11984	4280

Tabela 17: Metas de Eficientização Energética – Cenário 1

Tipo de Equipamento/Tecnologia	Sistema Atual	Fluorescente Tubular 2x32W
	Sistema Proposto	Luminária fluorescente tubular 2x28W completa com reator
Potência da Lâmpada [W]	Existente	32
	Eficiente	28
Quantidade de lâmpadas	Existente	428
	Eficiente	214
Potência Total Demandada p/ Luminária [W]	Existente	49
	Eficiente	29
Quantidade de Reatores	Existente	214
	Eficiente	107
Fator de Coincidência na Ponta:		1
Tempo de Utilização do Equipamento [h/ano]:		3.300
Custo Total do Uso Final [R\$]		17.346,84

Nesta análise técnico econômica podemos observar uma redução no número de luminárias e lâmpadas, estas foram reduzidas pela metade, tal projeção se deve ao fato de o serviço energético da luminária eficiente ser quase 5 vezes maior que a luminária utilizada atualmente no CAM.

Deve-se proceder à uma redistribuição das luminárias, de acordo com a simulação no software DIALUX, possivelmente alternando em cada linha uma luminária eficiente. Assim se redistribuirá o fluxo luminoso. Tal simulação, poderá ser feita para todos os cenários e, é uma proposta para trabalhos futuros.

A tabela a seguir apresenta o detalhamento dos custos dos equipamentos eficientes, incluindo o custo total destes.

Tabela 18: Detalhamento dos Custos dos equipamentos Eficientes – Cenário 1

Uso Final:		Iluminação Interna					
Tipo	Quantidade	Material/ Equipamento	Vida Útil [Anos]	Preço Unitário [R\$]	Custo Unitário Instalação [R\$]	Custo Unitário Total [R\$]	Custo Total [R\$]
Luminária	107	Luminária fluorescente tubular 2x28W completa com reator eletrônico	6	157	5,12	162,12	17.346,84

A Tabela 19 apresenta a análise técnica e econômica levando em consideração a tarifa convencional praticada, apresentada anteriormente na Tabela 4 e os custos de investimento na troca dos equipamentos atuais por equipamentos deste cenário.

Tabela 19: Análise Técnica e Econômica – Cenário 1

Análise Técnico Econômica	Atual	Eficiente	Resultado
Demanda Evitada [kW]	11,98	4,28	7,70
Energia Economizada Anual [MWh]	39,55	14,12	25,42
Investimento [R\$]			R\$ 17.346,84
Custo da Energia Economizada	R\$ 5.873,95	R\$ 2.097,84	R\$ 3.776,11
Custo da Demanda Evitada	R\$ 3.518,98	R\$ 1.256,78	R\$ 2.262,20
Fatura de Energia Elétrica	R\$ 9.392,93	R\$ 3.354,62	R\$ 6.038,31
Horas de Operação Fora da Ponta	11	11	11
Dias de Operação Anual	300	300	300

Este investimento pode ser financiado e avaliado em um valor presente para que a sua economia seja jogada na parcela do investimento, isso é o que podemos observar na Tabela 20, que traz o cálculo econômico financeiro.

Tabela 20: Cálculo Econômico Financeiro – Cenário 1

Investimento Total	R\$17.346,84
Diagnóstico Energético	R\$1.734,68
Total do Serviço a ser Financiado	R\$19.081,52
Economia Anual de Energia	R\$6.038,31
Economia de Energia Anual Atualizada	R\$5.391,35
Parcela Mensal da Economia de Energia	R\$477,47
Parcela mensal de Economia	R\$477,47
Número Parcelas Financ. (economia Energia)	51
Valor Mensal das Parcelas de Financiamento	R\$473,69
Valor Presente do Montante Financiado Concessionária	R\$19.262,58
Valor Presente do Montante Financiado Cliente	R\$19.262,58
Valor Total do Contrato	R\$24.158,16

Este investimento deve ser analisado do ponto de vista do cliente, no caso a Prefeitura Municipal, para que este saiba quando terá retorno do seu investimento. O retorno real considera uma taxa mínima atrativa de 12%, alíquota do imposto de renda de 30% e ainda leva em consideração a depreciação do sistema. Esta análise está apresentada na Tabela 21, onde notamos um retorno com lucros a partir do quinto ano, vale ressaltar que esta análise refere-se somente a iluminação interna.

Tabela 21: Fluxo de Caixa com tempo de retorno do investimento – Cenário 1

n	FCAI	DEPR	LT	IR	FCDI	Fluxo de Caixa (t)	Fluxo Descontado	Saldo do Projeto
0	-19.081,52				-19.082	-19.081,52	-19.081,52	-19.081,52
1	6.038,31	-3.816	2.222	-667	5.372	5.371,71	4.796,17	-14.285,36
2	6.038,31	-3.816	2.222	-667	5.372	5.371,71	4.282,29	-10.003,06
3	6.038,31	-3.816	2.222	-667	5.372	5.371,71	3.823,48	-6.179,59
4	6.038,31	-3.816	2.222	-667	5.372	5.371,71	3.413,82	-2.765,77
5	6.038,31	-3.816	2.222	-667	5.372	5.371,71	3.048,05	282,28
6	6.038,31	-3.816	2.222	-667	5.372	5.371,71	2.721,47	3.003,76
7	3.998,77	-3.816	182	-55	3.944	3.944,03	1.784,08	4.787,84
8	3.998,77	-3.816	182	-55	3.944	3.944,03	1.592,93	6.380,77
9	3.998,77	-3.816	182	-55	3.944	3.944,03	1.422,26	7.803,03

Ao observarmos a análise técnico econômica verificamos que o retorno do investimento ainda é lento. Propomos então um outro cenário, a seguir.

3.2.3 Cenário 2: Luminária Facetada Refletiva com Lâmpada T5 1x28W

O cenário 2 propõem um sistema com uma luminária com refletor facetado refletivo com uma lâmpada eficiente T5 de 28W, reduzindo o número de luminárias pela metade. O resultado do ensaio deste segundo cenário está apresentado na Tabela 22 e a Fig. 3.18 apresenta o gráfico de superfície do nível de iluminação.

Tabela 22: Luminária com Lâmpada Fluorescente T5 1x28W com Refletor Facetado Refletivo

Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
10	616	628	620	913	920	878	885	764	702	694	
20	605	635	667	905	962	956	891	826	756	686	
30	574	603	710	848	968	980	956	896	783	616	
40	627	679	755	802	1009	1050	1003	898	858	737	
50	625	715	766	1041	1094	1074	1009	939	865	772	
60	624	663	782	988	1114	1071	1079	1012	850	678	
70	621	710	757	857	1085	1056	1049	834	814	746	
80	617	668	725	959	1019	1018	913	854	779	703	
90	566	611	812	898	1020	973	973	928	743	627	
100	597	628	644	771	950	879	926	796	663	645	
Valores Extrapolados											
						Média 1 m²:	820,5	Lux			

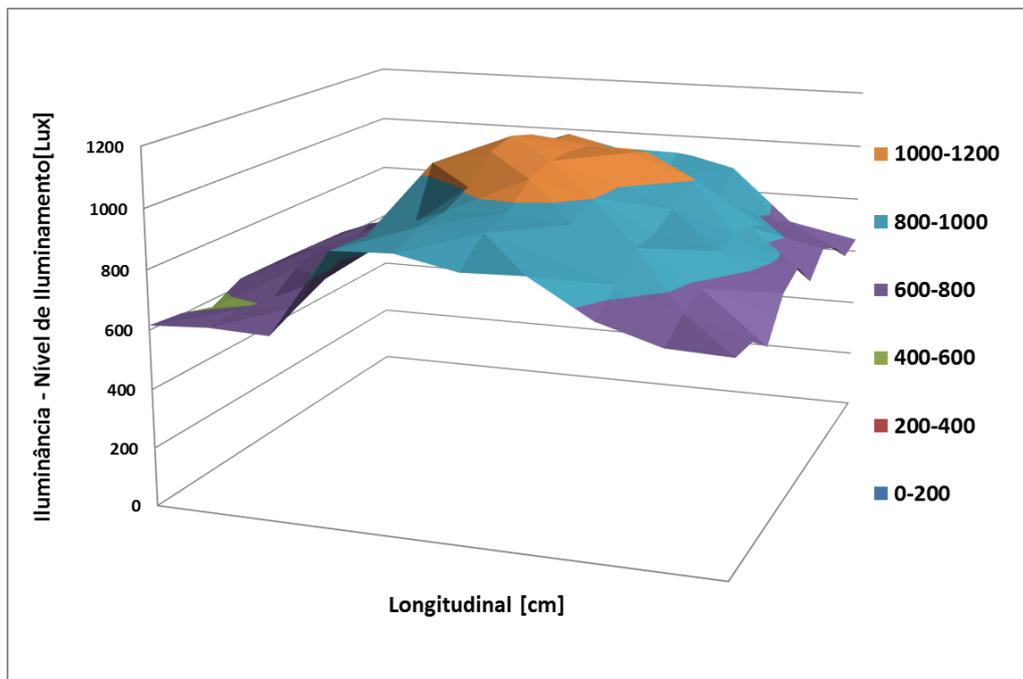


Fig. 3.18. Gráfico de Superfície referente a Tabela 15

É importante salientar que ao compararmos o nível de iluminamento desta luminária com o sistema atual do CAM, notamos que a média do nível de iluminamento de 248 Lux do primeiro ensaio atinge apenas 30% da média do nível de iluminamento deste sistema e, a média do segundo ensaio da luminária sem a calha, que conta com um nível de 359,3 Lux, atinge 43,79%, aproximadamente 44% do nível de iluminamento deste sistema.

O sistema de iluminação do Cenário 2 supera em 70% a tecnologia hoje vigente no CAM. Vale salientar que avaliamos a troca de um sistema de iluminação de duas lâmpadas (2x32W) por um sistema de apenas uma lâmpada (1x28W). Tais valores justificam as medidas de eficiência energética.

3.2.3.1 Análise Técnico Econômica do Cenário 2

A análise financeira do referido cenário é feita da mesma maneira que no cenário 1, levado em conta agora o sistema proposto, vale ressaltar que a tarifa praticada, horas de operação e dias do ano se mantém, modificando-se apenas o tipo de luminária e o número de lâmpadas.

A análise técnico econômica do Cenário 2 conta com metas de efficientização, custos do projeto e relações custo benefício. As tabelas a seguir apresentam os dados desta análise.

Tabela 23: Levantamento das características do sistema atual e do eficiente – Cenário 2

Nome do Cliente	Classe	Poder Público
Prefeitura Municipal de Alegrete	Local	Alegrete - RS
Iluminação Artificial	Atual	Eficiente
Tipo (Ambiental/Localizada)	Interna	Interna
Tipo de Lâmpada	Fluorescente Tubular	Fluorescente SmartLux
Número Lâmpadas	428	107
Potência da Lâmpada por Luminária	32	28
Vida útil da lâmpada (horas)	7500	25000
Tensão de Alimentação	220	220
Lâmpadas por Luminária	2	1
Serviço Energético [lumens]	248	820,5
Horas de Operação Diária	11	11
Vida Útil de Operação [Anos]	1	6
Estado Limpeza das Luminárias	Sujas	Normal
Tipo de Luminária	Tubular Não Refletiva	Refletiva Facetada Alumínio
Quantidade de Luminárias	214	107
Forma de Distribuição das Luminárias	UNIVERSAL	UNIVERSAL
Tipo de Reator	Eletrônico	Eletrônico
Potência do Reator	32	28
Vida útil do reator (horas)	6000	30000
Número de Lâmpadas por Reator	2	1
Tipo do Difusor	não refletivo	Espelhado
Tipo do Refletor	não refletivo	Espelhado
Característica da superfície do refletor	não refletivo	de alta refletância e alta pureza 99,85%
Potência Demandada por Luminária	56	30
Custo unitário [R\$]	100	133
Custo Total [R\$]	21400	14231
Potência total [W]	11984	3210

Tabela 24: Metas de Eficientização Energética – Cenário 2

Tipo de Equipamento/Tecnologia	Sistema Atual	Fluorescente Tubular 2x32W
	Sistema Proposto	Luminária fluorescente tubular 1x28 completa com reator eletrônico
Potência da Lâmpada [W]	Existente	32
	Eficiente	28
Quantidade de lâmpadas	Existente	428
	Eficiente	107
Potência Total Demandada p/ Luminária [W]	Existente	56
	Eficiente	30
Quantidade de Reatores	Existente	214
	Eficiente	107
Fator de Coincidência na Ponta:		1
Tempo de Utilização do Equipamento [h/ano]:		3.300
Custo Total do Uso Final [R\$]		14.788,47

Nesta análise técnico econômica podemos observar uma redução no número de luminárias e lâmpadas. As luminárias foram reduzidas pela metade e contam com uma lâmpada cada, tal projeção se deve ao fato de o serviço energético da luminária eficiente ser 3 vezes maior que a luminária utilizada atualmente no CAM.

A tabela a seguir apresenta o detalhamento dos custos dos equipamentos eficientes, incluindo o custo total destes.

Tabela 25: Detalhamento dos Custos dos equipamentos Eficientes – Cenário 2

Uso Final:	Iluminação Interna						
Tipo	Quantidade	Material/ Equipamento	Vida Útil [Anos]	Preço Unitário [R\$]	Custo Unitário Instalação [R\$]	Custo Unitário Total [R\$]	Custo Total [R\$]
Luminária	107	Luminária fluorescente tubular 1x28 completa com reator eletrônico	6	133,09	5,12	138,21	14.788,47

A Tabela 26 apresenta a análise técnica e econômica levando em consideração a tarifa convencional praticada, apresentada anteriormente na Tabela 4 e os custos de investimento na troca dos equipamentos atuais por equipamentos deste cenário.

Tabela 26: Análise Técnica e Econômica – Cenário 2

Análise Técnico Econômica	Atual	Eficiente	Resultado
Demanda Evitada [kW]	11,98	3,21	8,77
Energia Economizada Anual [MWh]	39,55	10,59	28,95
Investimento [R\$]			R\$ 14.788,47
Custo da Energia Economizada	R\$ 5.873,95	R\$ 1.573,38	R\$ 4.300,57
Custo da Demanda Evitada	R\$ 3.518,98	R\$ 942,58	R\$ 2.576,40
Fatura de Energia Elétrica	R\$ 9.392,93	R\$ 2.515,96	R\$ 6.876,96
Horas de Operação Fora da Ponta	11	11	11
Dias de Operação Anual	300	300	300

Este investimento pode ser financiado e avaliado em um valor presente para que a sua economia seja jogada na parcela do investimento, isso é o que podemos observar a seguir, que traz o cálculo econômico financeiro.

Tabela 27: Cálculo Econômico Financeiro – Cenário 2

Investimento Total	R\$14.788,47
Diagnóstico Energético	R\$1.478,85
Total do Serviço a ser Financiado	R\$16.267,32
Economia Anual de Energia	R\$6.876,96
Economia de Energia Anual Atualizada	R\$6.140,15
Parcela Mensal da Economia de Energia	R\$543,78
Parcela mensal de Economia	R\$543,78
Número Parcelas Financ. (economia Energia)	36
Valor Mensal das Parcelas de Financiamento	R\$535,55
Valor Presente do Montante Financiado Concessionária	R\$16.421,67
Valor Presente do Montante Financiado Cliente	R\$16.421,67
Valor Total do Contrato	R\$19.279,94

Este investimento deve ser analisado do ponto de vista do cliente, no caso a Prefeitura Municipal, para que este saiba quando terá retorno do seu investimento. O retorno real considera uma taxa mínima atrativa de 12%, alíquota do imposto de renda de 30% e ainda leva em consideração a depreciação do sistema. Esta análise está apresentada na Tabela 28, onde notamos um retorno com lucros a partir do quarto ano.

Tabela 28: Fluxo de Caixa com tempo de retorno do investimento – Cenário 2

n	FCAI	DEPR	LT	IR	FCDI	Fluxo de Caixa (t)	Fluxo Descontado	Saldo do Projeto
0	-16.267,32				-16.267	-16.267,32	-16.267,32	-16.267,32
1	6.876,96	-3.253	3.624	-1.087	5.790	5.789,91	5.169,57	-11.097,75
2	6.876,96	-3.253	3.624	-1.087	5.790	5.789,91	4.615,68	-6.482,07
3	6.876,96	-3.253	3.624	-1.087	5.790	5.789,91	4.121,15	-2.360,92
4	6.876,96	-3.253	3.624	-1.087	5.790	5.789,91	3.679,60	1.318,68
5	6.876,96	-3.253	3.624	-1.087	5.790	5.789,91	3.285,35	4.604,03
6	6.876,96	-3.253	3.624	-1.087	5.790	5.789,91	2.933,35	7.537,38
7	3.998,77	-3.253	745	-224	3.775	3.775,18	1.707,70	9.245,08
8	3.998,77	-3.253	745	-224	3.775	3.775,18	1.524,73	10.769,81
9	3.998,77	-3.253	745	-224	3.775	3.775,18	1.361,37	12.131,18

Ao observarmos a análise técnico econômica verificamos que o retorno do investimento é viável e mais atrativo que o primeiro cenário proposto. Devemos observar que estamos melhorando o serviço energético oferecido, implantando um sistema totalmente novo e eficiente, com equipamentos que geram economia e propiciam conforto visual, tais fatores devem ser levados em consideração aliados ao investimento.

Ainda assim é sugerido um novo cenário, com um sistema de reabilitação do sistema já existente, é o cenário 3 que segue.

3.2.4 Cenário 3: Reabilitação da Luminária do CAM com Lâmpada T5 1x28W

Este cenário foi proposto com a finalidade de demonstrar que um projeto de eficiência energética, não se resume em mudar completamente o sistema avaliado, trocando todos equipamentos existentes por novos, mas estudar, através do diagnóstico energético, a viabilidade da melhor solução a ser implementada, analisando também as variáveis envolvidas em todo o processo, sejam elas físicas, humanas ou comportamentais, lembrando que a iluminação interfere diretamente no rendimento humano durante a execução de suas atividades.

Este cenário propõem a reabilitação da luminária existente no CAM, adaptando à ela uma lâmpada tubular SmartLux de 28W e um refletor refletivo parabólico. Tal reabilitação exige a confecção deste refletor e seu formato requer um dimensionamento do foco para a lâmpada, a fim de se atender aos critérios de iluminação em interiores.

A partir das medidas da calha da luminária existente, que conta com uma largura $l = 20,6\text{cm}$ e com altura $h = 9\text{cm}$, calculou-se o foco da parábola e o comprimento de arco desta a fim de dimensionar-se o refletor idealmente. Os cálculos são detalhados a seguir.

3.2.4.1 Cálculo do foco e do comprimento de arco da Parábola

A equação que modela a parábola da luminária do CAM é:

$$y = \frac{x^2}{4F} \quad Eq. 10$$

onde o x é a largura da calha e F é o foco da parábola, calculado a partir da equação abaixo:

$$F = \frac{x^2}{4y} \quad Eq. 11$$

onde,

$x = 10,3cm$ (largura) e $y = 9cm$ (altura).

Logo, $F = 2,9469cm \approx 2,95cm$

A Fig. 3.19 ilustra a calha da luminária contendo a função da parábola do refletor. Em azul, está representado o refletor e pode-se observar o foco da luminária em 2,95cm no eixo y.

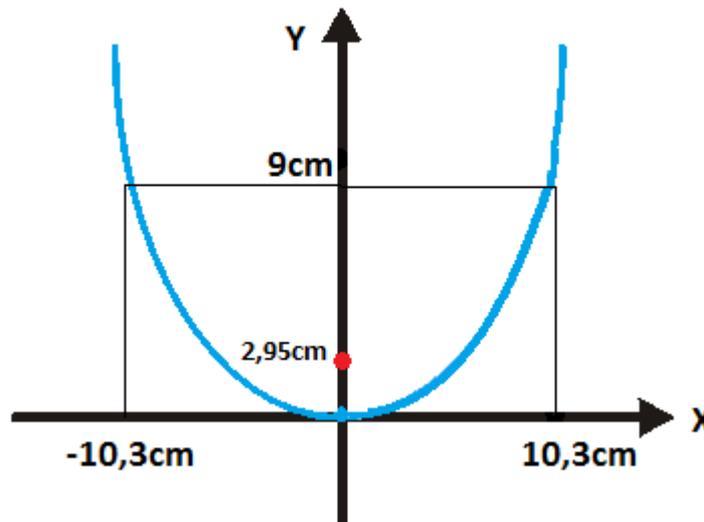


Fig. 3.19. Função da Parábola do Refletor

Após dimensionado o foco da parábola, é necessário calcular o comprimento de arco desta, afim de obter-se o comprimento que terá o refletor. A Fig. 3.20 representa a função que deve ser integrada para obtenção deste comprimento. O detalhamento dos cálculos é apresentado a seguir.

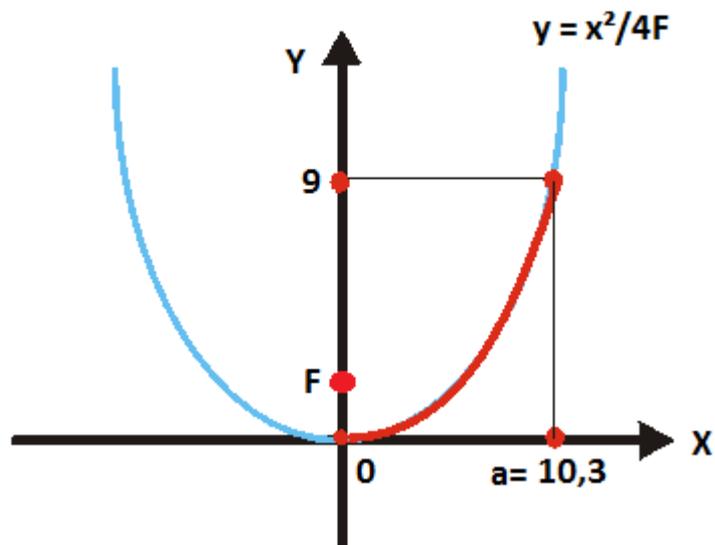


Fig. 3.20. Representação da Função do Comprimento de Arco da Parábola

A função usada para calcular o comprimento de arco da parábola é apresentada na Eq. 10, e o cálculo é detalhado a seguir.

$$y = \frac{x^2}{4F}$$

Comprimento de arco L:

$$L = 2L'$$

$$L' = \int_0^a \left[\sqrt{(y')^2 + 1} \right] dx$$

$$y' = \frac{2x}{4F} = \frac{x}{2F}$$

$$y'^2 = \frac{x^2}{(2F)^2} = \frac{x^2}{4F^2}$$

$$z = y' = \frac{x}{2F}$$

$$z^2 = \frac{x^2}{4F^2}$$

$$x = 2Fz$$

$$dx = 2Fdz$$

$$x = \begin{cases} 0 & z = 0 \\ a & z = a/2F \end{cases}$$

Substituindo:

$$\begin{aligned} L' &= \int_0^a \left[\sqrt{\frac{x^2}{4F^2} + 1} \right] dx = \int_0^{\frac{a}{2F}} [\sqrt{z^2 + 1}] 2F dz = L = 2F \int_0^{\frac{a}{2F}} [\sqrt{z^2 + 1}] dz \\ &= 2F \left\{ \left[\frac{z}{2} \cdot \sqrt{1 + z^2} \right]_0^{\frac{a}{2F}} + \frac{1}{2} \left[\ln(z + \sqrt{1 + z^2}) \right]_0^{\frac{a}{2F}} \right\} \end{aligned}$$

$$a = 10,3 \text{ cm}$$

$$F = 2,95 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} L' &= 2 * 2,95 * \left[\frac{10,3}{2 * 2 * 2,95} * \sqrt{\frac{10,3^2}{4 * 2,95^2} + 1} + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{10,3}{2 * 2,95} + \sqrt{\left(\frac{10,3}{2 * 2,95} \right)^2 + 1} \right) \right] \\ &= 14,2732 \approx 14,3 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$L = 2L' = 28,5464 \approx 28,6 \text{ cm}$$

Assim o comprimento total L da parábola é de 28,6 cm. Isso significa que o refletor deverá ter 28,6 cm de comprimento e foco 2,95 cm para que a lâmpada fique no centro da luminária, com a finalidade de obter-se um nível de iluminação distribuído uniformemente.

3.2.4.2 Luminária Reabilitada

A partir dos resultados obtidos teoricamente através dos cálculos, partiu-se para implementação prática, onde a luminária foi reabilitada, substituindo seu sistema de duas lâmpadas de 32W por apenas uma de 28W e com o refletor, dimensionado para a calha existente. As Fig. 3.21, 3.22 e 3.23 ilustram as etapas da adaptação.



Fig. 3.21. Adaptação da Luminária com refletor para calha existente

A primeira tentativa de adaptação da luminária falhou. Devido ao comprimento da calha, o refletor sofreu deformações e teve seu foco desviado, acarretando no efeito de sombreamento no nível de iluminação, o que podemos observar no resultado do ensaio 1 na Tabela 28 e na Fig. 3.22, abaixo.

Tabela 29: Luminária Reabilitada com Lâmpada T5 1x28W com Refletor Parabólico – Ensaio 1

Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	522	603	635	713	614	465	761	765	665	593
20	441	571	698	812	763	508	1057	865	720	520
30	310	444	736	862	1017	536	1250	1009	789	320
40	461	613	781	822	794	570	910	905	838	579
50	405	659	802	867	800	572	1138	972	867	614
60	349	515	817	934	1027	587	1305	1076	860	360
70	412	655	795	860	807	586	936	877	847	604
80	476	619	786	758	728	566	1040	906	822	579
90	333	451	744	787	890	533	1173	990	757	335
100	462	590	729	758	697	503	838	848	705	520
Valores Extrapolados										
Média 1 m²:						716,5	Lux			

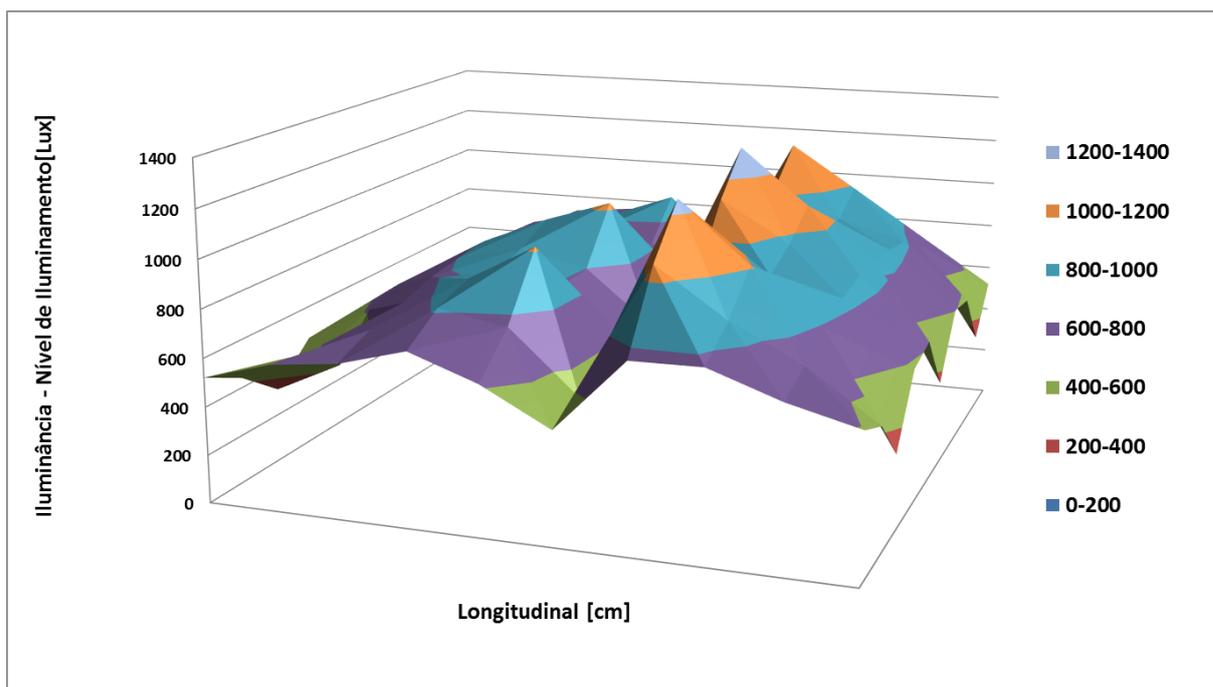


Fig. 3.22. Gráfico de Superfície referente a Tabela 28

Podemos observar na Tabela 29 e na Fig. 3.22 o efeito de sombreamento da luminária, onde as medições bem abaixo da lâmpada deveriam demonstrar um nível de iluminamento bem maior, mas, os resultados mostram que aconteceu justamente ao contrário, o nível de iluminamento foi diminuído. Isto se dá ao fato de o refletor ter sofrido deformações ao longo da calha, acarretando no desvio do foco, o que não resulta em um nível de iluminamento uniforme ao longo da superfície.

Uma segunda tentativa foi feita e, foram projetados moldes para o refletor, para que a parábola deste não sofresse deformações ao longo da calha e tivesse o foco mantido. A Fig. 3.23 ilustra estes moldes ao longo da calha e a Fig. 3.24 apresenta a versão final da luminária reabilitada.



Fig. 3.23. Moldes do Refletor ao longo da Calha



Fig. 3.24. Luminária Reabilitada

A partir de então efetuou-se o ensaio 2, para verificar se a luminária estava atingindo os níveis de iluminação esperados. A Tabela 30 e as Fig. 3.25 e 3.26 apresentam os resultados obtidos.

**Tabela 30: Luminária Reabilitada com Lâmpada T5 1x28W com Refletor Parabólico –
Ensaio 2**

Iluminância - Nível de Iluminamento [LUX]										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	487	489	470	1151	1277	1300	1099	602	529	520
20	484	508	504	1025	1253	1400	897	674	548	510
30	460	512	543	796	1106	1459	1120	800	589	472
40	498	536	560	678	1329	1552	1336	672	600	536
50	482	555	592	1111	1380	1589	986	744	615	558
60	465	518	584	842	1170	1588	1228	872	634	500
70	475	536	553	678	1366	1562	1361	623	581	541
80	485	510	514	1015	1251	1493	874	664	569	501
90	460	506	517	778	1009	1417	1083	759	574	433
100	475	490	473	626	1162	1315	1199	645	531	482
Valores Extrapolados										
Média 1 m²:						799,7	Lux			

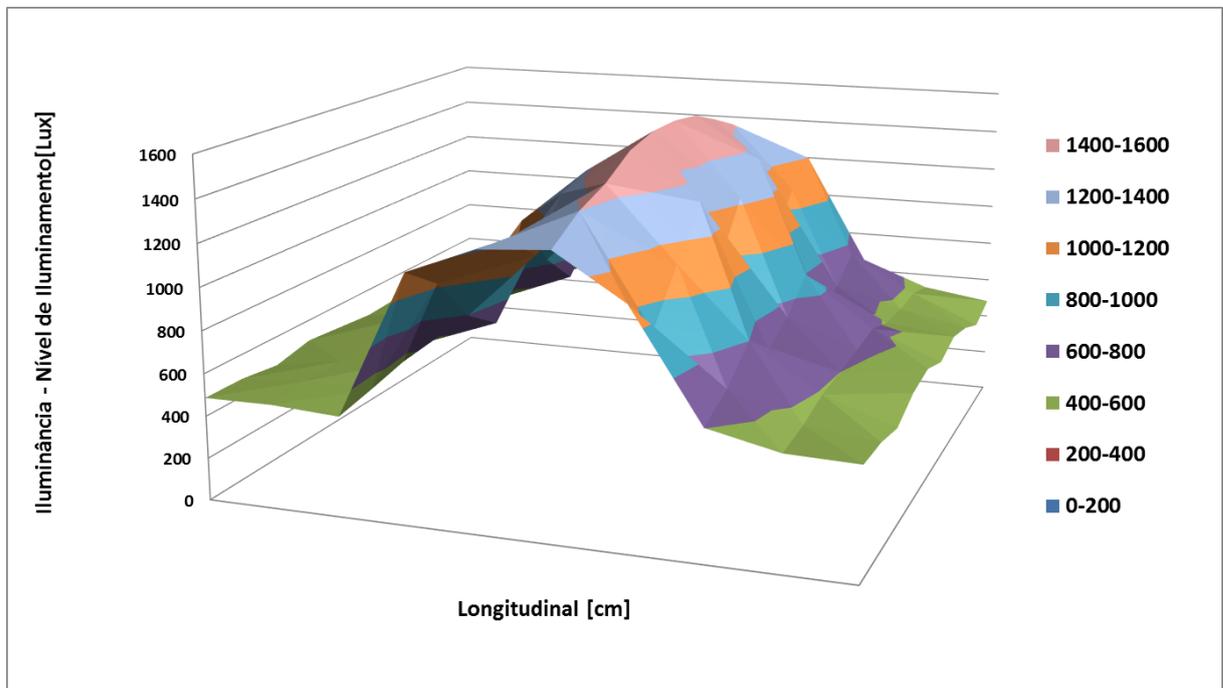


Fig. 3.25. Gráfico de Superfície referente a Tabela 29



Fig. 3.26. Medição no Centro do Equipamento: abaixo da lâmpada

Ao observarmos os resultados obtidos na Tabela 30 e na Fig. 3.25 podemos notar que o nível de iluminamento melhorou consideravelmente, atingindo os resultados esperados. Os moldes do refletor impossibilitaram a deformação deste e mantiveram o foco da lâmpada, o que propiciou níveis uniformes de iluminação fazendo com que a luminária reabilitada atingisse um serviço energético três vezes maior que o serviço energético oferecido pela luminária no seu estado atual.

A luminária no estado atual em que se encontra no CAM, com um serviço energético de 248 Lux, atinge apenas 31% do serviço energético da luminária reabilitada, que conta com um serviço energético de 799 Lux. Isso significa que o Cenário 3 proposto, supera em 69% o serviço energético atual do CAM, comprovando assim que a reabilitação do sistema é válida e apresenta resultados satisfatórios para a iluminação do interior do deste. A seguir é apresentada a análise técnico econômica deste sistema.

3.2.4.3 Análise Técnico Econômica do Cenário 3

A reabilitação do sistema atual de iluminação mostrou resultados satisfatórios nos níveis de iluminamento e a partir destes resultados parte-se para a análise econômica, a fim de comprovar a viabilidade desta adaptação.

Para a reabilitação da luminária serão necessários soquetes para lâmpadas T5 28W SmartLux, reatores eletrônicos, lâmpadas de 28W e a chapa refletiva. Para cada luminária será necessário 0,36m² de área do refletor, dadas as medidas da luminária de 1,25m de comprimento por 0,286 m de largura (comprimento de arco da parábola), um par de soquetes, um reator e uma lâmpada. O refletor é vendido por rolo, cada rolo conta com 100m² e custa \$1500, em torno de R\$ 3660, ou seja R\$ 36,60 por m², o que significa que para cada luminária será gasto com refletor em torno de R\$ 13,20, o par de soquetes custa R\$ 4,90, o reator eletrônico custa R\$ 29,89 e a lâmpada R\$ 6,90, sendo assim, o custo da reabilitação por luminária fica em torno de R\$ 63,20, sem o custo de mão de obra para a adaptação, o que é incluído posteriormente na análise econômica. As tabelas a seguir detalham toda a análise técnica econômica da reabilitação deste sistema proposto.

Tabela 31: Levantamento das características do sistema atual e do eficiente – Cenário 3

Nome do Cliente	Classe	Poder Público
Prefeitura Municipal de Alegrete	Local	Alegrete - RS
Iluminação Artificial	Atual	Eficiente
Tipo (Ambiental/Localizada)	Interna	Interna
Tipo de Lâmpada	Fluorescente Tubular	Fluorescente SmartLux
Número Lâmpadas	428	107
Potência da Lâmpada por Luminária	32	28
Vida útil da lâmpada (horas)	7500	25000
Tensão de Alimentação	220	220
Lâmpadas por Luminária	2	1
Serviço Energético [lumens]	248	799,7
Horas de Operação Diária	11	11
Vida Útil de Operação [Anos]	1	6
Estado Limpeza das Luminárias	Sujas	Normal
Tipo de Luminária	Tubular Não Refletiva	Refletiva Parabólica Alumínio
Quantidade de Luminárias	214	107
Forma de Distribuição das Luminárias	UNIVERSAL	UNIVERSAL
Tipo de Reator	Eletrônico	Eletrônico
Potência do Reator	32	28
Vida útil do reator (horas)	6000	30000
Número de Lâmpadas por Reator	2	1
Tipo do Difusor	não refletivo	Espelhado
Tipo do Refletor	não refletivo	Espelhado
Característica da superfície do refletor	não refletivo	de alta refletância e alta pureza 99,85%
Potência Demandada por Luminária	56	30
Custo unitário [R\$]	100	63,2
Custo Total [R\$]	21400	6762,4
Potência total [W]	11984	3210

Tabela 32: Metas de Eficientização Energética – Cenário 3

Tipo de Equipamento/Tecnologia	Sistema Atual	Fluorescente Tubular 2x32W
	Sistema Proposto	Fluorescente SmartLux 1x28W
Potência da Lâmpada [W]	Existente	32
	Eficiente	28
Quantidade de lâmpadas	Existente	428
	Eficiente	107
Potência Total Demandada p/ Luminária [W]	Existente	56
	Eficiente	30
Quantidade de Reatores	Existente	214
	Eficiente	107
Fator de Coincidência na Ponta:		1
Tempo de Utilização do Equipamento [h/ano]:		3.300
Custo Total do Uso Final [R\$]		6.712,87

Observamos na análise econômica uma redução no número de luminárias, estas foram reduzidas pela metade, tal projeção se deve ao fato de o serviço energético da luminária reabilitada ser três vezes maior que a luminária utilizada atualmente no CAM.

A tabela a seguir apresenta o detalhamento dos custos da reabilitação da luminária, incluindo o custo total destes.

Tabela 33: Detalhamento dos Custos dos equipamentos Eficientes – Cenário 3

Uso Final:		Iluminação Interna					
Tipo	Quantidade	Material/ Equipamento	Vida Útil [Anos]	Preço Unitário [R\$]	Custo Unitário Instalação [R\$]	Custo Unitário Total [R\$]	Custo Total [R\$]
Luminária	38	Refletor m ² (38m ² para 107 luminárias)	6	36,60	5,12	41,72	1.585,36
	107	Soquetes (o par)	6	4,90	0	4,9	524,30
	107	Reator Eletrônico	6	29,89	2	31,89	3.412,23
	107	Lâmpadas 28W	6	6,90	2	8,9	952,30
						Total [R\$]	6.712,87

A Tabela 34 apresenta a análise técnica e econômica levando em consideração a tarifa convencional praticada e os custos de investimento na reabilitação do sistema atual.

Tabela 34: Análise Técnica e Econômica – Cenário 3

Análise Técnico Econômica	Atual	Eficiente	Resultado
Demanda Evitada [kW]	11,98	3,21	8,77
Energia Economizada Anual [MWh]	39,55	10,59	28,95
Investimento [R\$]			R\$ 524,30
Custo da Energia Economizada	R\$ 5.873,95	R\$ 1.573,38	R\$ 4.300,57
Custo da Demanda Evitada	R\$ 3.518,98	R\$ 942,58	R\$ 2.576,40
Fatura de Energia Elétrica	R\$ 9.392,93	R\$ 2.515,96	R\$ 6.876,96
Horas de Operação Fora da Ponta	11	11	11
Dias de Operação Anual	300	300	300

Este investimento pode ser financiado e avaliado em um valor presente para que a sua economia seja jogada na parcela do investimento, isso é o que podemos observar na tabela abaixo, que traz o cálculo econômico financeiro.

Tabela 35: Cálculo Econômico Financeiro – Cenário 3

Investimento Total	R\$6.712,87
Diagnóstico Energético	R\$671,29
Total do Serviço a ser Financiado	R\$7.384,16
Economia Anual de Energia	R\$6.876,96
Economia de Energia Anual Atualizada	R\$6.140,15
Parcela Mensal da Economia de Energia	R\$543,78
Parcela mensal de Economia	R\$543,78
Número Parcelas Financ. (economia Energia)	15
Valor Mensal das Parcelas de Financiamento	R\$530,47
Valor Presente do Montante Financiado Concessionária	R\$7.454,22
Valor Presente do Montante Financiado Cliente	R\$7.454,22
Valor Total do Contrato	R\$7.957,04

Este investimento deve ser analisado do ponto de vista do cliente, para que este saiba quando terá retorno do seu investimento. O retorno real considera uma taxa mínima atrativa de 12%, alíquota do imposto de renda de 30% e ainda leva em consideração a depreciação do sistema. Esta análise está apresentada na Tabela 36, onde notamos um retorno com lucros já no segundo ano, isso significa um retorno muito rápido para o investimento.

Tabela 36: Fluxo de Caixa com tempo de retorno do investimento – Cenário 3

n	FCAI	DEPR	LT	IR	FCDI	Fluxo de Caixa (t)	Fluxo Descontado	Saldo do Projeto
0	-7.384,16				-7.384	-7.384,16	-7.384,16	-7.384,16
1	6.876,96	-1.477	5.400	-1.620	5.257	5.256,92	4.693,68	-2.690,47
2	6.876,96	-1.477	5.400	-1.620	5.257	5.256,92	4.190,79	1.500,31
3	6.876,96	-1.477	5.400	-1.620	5.257	5.256,92	3.741,78	5.242,09
4	6.876,96	-1.477	5.400	-1.620	5.257	5.256,92	3.340,87	8.582,96
5	6.876,96	-1.477	5.400	-1.620	5.257	5.256,92	2.982,92	11.565,88
6	6.876,96	-1.477	5.400	-1.620	5.257	5.256,92	2.663,32	14.229,20
7	3.998,77	-1.477	2.522	-757	3.242	3.242,19	1.466,60	15.695,80
8	3.998,77	-1.477	2.522	-757	3.242	3.242,19	1.309,47	17.005,27
9	3.998,77	-1.477	2.522	-757	3.242	3.242,19	1.169,17	18.174,44

Ao observarmos os dados luminotécnicos e econômicos, podemos perceber que este cenário 3 proposto é sem dúvida a melhor solução para o sistema atual do CAM. Tanto os níveis de iluminação quanto o investimento são viáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em iluminação, geralmente um diagnóstico energético é vantajoso, devido ao fato de que as lâmpadas eficientes consomem menos energia e possibilitam melhor conforto visual e ainda aliado a isso temos o fato de que na troca de reatores eletromagnéticos por reatores eletrônicos há uma menor dissipação de calor, o que reduz consideravelmente o uso do ar condicionado e por consequência um menor consumo.

As lâmpadas fluorescentes T5 (diâmetro 5/8') no lugar de lâmpadas T8 (diâmetro 8/8') aumentam a eficiência do conjunto lâmpada/luminária em até 15% devido à sua temperatura de operação ideal mais elevada (35°C) e ao menor diâmetro da lâmpada, que reduz os obstáculos à luz emitida.

Além destas vantagens há o apelo econômico, que prova que esta troca das lâmpadas T8 por lâmpadas T5 eficientes, realmente é um bom investimento e o seu retorno real, considerando uma taxa mínima atrativa de 12%, depreciação e, alíquota de 30%, se dá no segundo ano com lucros consideráveis. Sem dúvida este é o fator mais relevante para o cliente fazer o investimento.

Na análise dos três cenários propostos podemos confrontar o ganho nos níveis de iluminamento com os ganhos econômicos. Observamos que os três cenários trazem benefícios aos níveis lumínicos e superam em média 70% do nível lumínico atual do CAM, mas, avaliando tais sistemas economicamente, podemos notar que o cenário 3 supera os outros cenários em tempo de retorno do investimento e, ainda faz um reaproveitamento do sistema atual disponível.

Deve-se proceder à uma redistribuição das luminárias, de acordo com a simulação no software DIALUX, possivelmente alternando em cada linha uma luminária eficiente. Assim se redistribuirá o fluxo luminoso. Tal simulação, poderá ser feita para todos os cenários e, é uma proposta para trabalhos futuros.

No trabalho atual pode-se comprovar que eficiência energética não é simplesmente a substituição de todos os equipamentos existentes por equipamentos novos, mas sim uma análise detalhada de um todo, a partir do diagnóstico energético, avaliando desde as instalações até os equipamentos existentes, propondo alternativas viáveis que gerem benefícios diretos para o local onde serão aplicadas, como para o setor elétrico e sociedade em geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 15215-4: Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações** - Método de medição. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **ABNT NBR 5382: Verificação de iluminância em interiores: Procedimento**. RJ, 1985.

_____. **ABNT/NBR 5413:1992. Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **ABNT NBR ISO/CIE 8995-1**. Rio de Janeiro, abril 2013.

CIE – Commission Internationale de L’Eclairage. **CIE 121-1996 - The photometry and goniophotometry of luminaires**.

COSTA, G.J.C. **Iluminação econômica: cálculo e avaliação**. 4. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

COPETTI, Guilherme Luiz Zancan. **Eficiência Energética em Ambientes de Ensino**. Trabalho de Conclusão de Curso – Unipampa. Alegrete, 2013.

FRANCO, G. **Iluminação artificial, economia de energia e conforto**. Brasil - Florianópolis, SC. 1993. 42p. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2º, Florianópolis, 1993. Curso.

MME – Ministério das Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética**.

Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2011/Plano_Nacional_de_Eficiência_Energética_-_PNEf_-_final.pdf>. Acesso em 20abr. 2013.

OSRAM – Ferramentas e Catálogos. **Manual do Curso de Iluminação, Conceitos e Projetos**. Disponível em:

<http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_&_Catlogos/_pdf/Arquivos/Iluminacao_Geral/Manual_do_Curso_Iluminacao,_Conceitos_e_Projetos/AF_apostila_conceitos_e_projetos_SITE.pdf>. Acesso em março de 2013.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Gestão Energética Municipal**. Disponível em: <www.eletronbras.com/elb/procel/.../FileDownload.EZTSvc.asp?>> Acesso em 10 março de 2013.

_____ **Manual de Iluminação Eficiente**, 2002. Disponível em:
http://www.cqgp.sp.gov.br/gt_licitacoes/publicacoes/procel%20predio_pub_manual_iluminacao.pdf>. Acesso em março de 2013.

_____ **Livro Iluminação Eficiente** - Eletrobrás, PROCEL e Parceiros - Rio de Janeiro 2013.

PHILIPS LIGHTING DIVISION. **Manual de iluminação**. 3. ed. Eindhoven, Holanda, 1981. 319 p.

PHILIPS - **Manual de iluminação** - Ed Novembro 1986.

_____ **Guia de Iluminação**. 2007. Acesso a 22 de Julho de 2010, em:
www.luz.PHILIPS.com.br/archives/guia_de_iluminacao_leve.pdf

SILVA, Mauri Luiz da; **Iluminação - Simplificando o Projeto**. - Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2009.

_____ **Luz, Lâmpadas e iluminação**. - Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2004.