VIVIEN JAGLBAUER

**CONTRIBUIÇÃO À MELHORA DAS CONDIÇÕES
AMBIENTAIS DE TRABALHO ATRAVÉS DO
APRIMORAMENTO DA ILUMINAÇÃO EM GALPÕES
E PÁTIOS COBERTOS NA INDÚSTRIA MINERAL**

São Paulo

2007

VIVIEN JAGLBAUER

**CONTRIBUIÇÃO À MELHORA DAS CONDIÇÕES
AMBIENTAIS DE TRABALHO ATRAVÉS DO
APRIMORAMENTO DA ILUMINAÇÃO EM GALPÕES E
PÁTIOS COBERTOS NA INDÚSTRIA MINERAL**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia.

Área de concentração:
Engenharia Mineral

Orientador:
Prof. Dr. José Renato Baptista de Lima

São Paulo
2007

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com anuência de seu orientador.

São Paulo, 31 de agosto de 2007.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Jaglbauer, Vivien

Contribuição a melhora das condições ambientais de trabalho através do aprimoramento da iluminação em galpões e pátios cobertos na indústria mineral / V. Jaglbauer. -- São Paulo, 2007.

188 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1.Iluminação 2.Galpões industriais I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

A minha mãe, Giuletta G.
Tasinato Jaglbauer e a Luiz G.
Mueller Jr.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que fizeram com que este trabalho fosse exequível e me deram o suporte necessário para poder finalizá-lo no prazo determinado.

Ao Prof. Dr. Ladislao Pedro Szabo por ter me inserido na área de estudo da iluminação e pelo seu apoio constante nos últimos anos como tutor e amigo.

A empresa *Nutsteel Indústria Metalúrgica Ltda.* que cedeu material e abriu suas portas para o meu estudo; ao Eng. Osvaldo Pires Araújo desta mesma empresa, que me esclareceu diversas dúvidas de instalações elétricas em áreas perigosas e de segurança aumentada e das normas relativas ao setor.

Ao Sr. José da Silva da *Nutsteel Indústria Metalúrgica Ltda.* que me explicou o funcionamento do mercado de iluminação para atmosferas explosivas e proporcionou visitas às áreas que são objeto deste estudo, além do incentivo a continuar estudando este campo ao expressar o seu fascínio pelo tema.

Ao Eng. Isac Roizenblatt pelos inúmeros ensinamentos e esclarecimentos proporcionados na área da iluminação, pela revisão dos tópicos de conceitos e grandezas e pelo apoio que sempre despendeu a mim.

A Arq. Sílvia Bigoni e ao Eng. Alan Nascimento pela amizade, pelos esclarecimentos luminotécnicos, pelo material cedido e pelo convívio.

A Mariana Figueiro do *Lighting Research Center* do *Rensselaer Polytechnic Institute* pelo material cedido.

Ao Prof. Dr. José Renato Baptista de Lima pela luz nas horas decisivas e pela orientação e oportunidade de desenvolver este projeto, me estimulando a novos desafios e me abrindo as portas do mundo acadêmico.

A Maria Carolina Strano Moraes pela revisão geral do trabalho, especialmente do português.

A Maria Cristina Bonésio pela revisão das referências bibliográficas.

A minha família e a Luiz G. Mueller Jr. pelo companheirismo e apoio incondicional.

CONTRIBUIÇÃO A MELHORA DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE TRABALHO ATRAVÉS DO APRIMORAMENTO DA ILUMINAÇÃO EM GALPÕES E PÁTIOS COBERTOS NA INDÚSTRIA MINERAL

Vivien Jaglbauer

RESUMO

A questão ambiental e de higiene no trabalho é cada vez mais reconhecida e cobrada pela sociedade civil e pelos órgãos do governo em todas as suas instâncias. Alguns dos pátios de estocagem de minérios, que hoje estão a céu aberto, poderão precisar no futuro serem fechados para atender às normas ambientais cada vez mais rígidas, cobradas pela sociedade através dos órgãos ambientais de controle, que almejam que pátios de armazenamento tenham estanqueidade similar aos silos ou que haja um sistema de contenção de poeira e material particulado eficiente. Uma das saídas viáveis para esta questão é a estocagem do minério em galpões confinados, que demandam um custo de implantação mais elevado mas, que por outro lado, têm um baixo custo operacional. Nos pátios que possuírem fechamento, a iluminação passa a ser uma questão primordial, uma vez que proverá condições de funcionamento à produção, principalmente em caso de trabalho ininterrupto durante 24h. Desta forma, passam a ser consideradas, não somente as questões de segurança, como também de uma iluminação que estimule a produtividade através de um nível maior de iluminância, maior contraste, menor ofuscamento e seja confortável para as tarefas que serão realizadas no ambiente. Em áreas nas quais o material particulado é altamente combustível, tais como pátios de carvão mineral, uma iluminação adequada e segura é questão fundamental, pois se mal projetada, pode ser ignitora de incêndios, explosões e trágicos desastres acometendo trabalhadores e o ambiente de trabalho. Este trabalho é composto por uma extensiva revisão bibliográfica. A primeira parte apresenta os conceitos de iluminação; a segunda trata da higiene e segurança no trabalho, com ênfase no agente físico iluminação. A terceira parte comenta as normas nacionais e internacionais relacionadas à iluminação e analisa às suas solicitações. A quarta parte versa sobre áreas classificadas e atmosferas explosivas, procurando discriminar em linhas simples o que são áreas classificadas,

quais os critérios envolvidos, os riscos de ignição de poeiras mais comuns e normas relacionadas a estas áreas. Na quinta parte comenta-se sobre a iluminação de galpões em áreas industriais, relacionando os critérios a serem utilizados para um projeto adequado. Na sexta parte o trabalho cita equipamentos de iluminação, lâmpadas e luminárias com aplicação industrial disponíveis no mercado. Por fim, apresenta-se de um estudo de caso realizado em uma empresa do interior de São Paulo que possui pátios para estocagem de carvão em pó, analisando-se os resultados através de dados obtidos no local e da medição dos níveis de iluminância, efetuada em horários alternados. Tais dados foram comparados às normas e recomendações de boas práticas para concluir sobre a adequação da iluminação do galpão e alternativas para solução dos problemas encontrados foram propostas. A conclusão a que se chega é que é possível contribuir para uma melhora significativa nas instalações que provêm iluminação em galpões de minérios, padronizando-as, fazendo uma manutenção adequada, substituindo equipamentos obsoletos e observando-se as normas, visando o aumento de produtividade, segurança e conforto dos trabalhadores. Estas ações implicam ainda em economia e um menor consumo de energia, cooperando com a sustentabilidade ambiental e atendendo a requisitos da família das normas NBR ISO 14.000.

ABSTRACT

Environmental questions, occupational health and safety management are each time, more recognized and required by civil society and public agencies in all levels. Some of the ore stores that are opened today will need in the future to be closed to comply with stronger environmental regulations, required by society through controlling environmental agencies. Those agencies require the stores to be air tight or to have an efficient system of dust and particulate airborne. One feasible possibility for this question is the storage of the ore in closed sheds, which demand a higher cost of implementation, but on the other hand, it has a low cost of operation. In closed stores, the lighting is very important, since it provides necessary conditions for the workers productivity, particularly in the case of a continuous twenty four hour working day. Also, in addition to safety management, there are questions which should be considered, namely, an adjusted illumination that stimulates productivity, throughout higher illuminance, higher contrast, less glare and at the same time is comfortable for the tasks that will be carried through that environment. In environments in which the particulate material is highly combustible, such as coal stores, an adequate and safety illumination is an elementary question and if badly designed, can cause fires, explosions and tragic disasters that can injure people and destroy the working area. This work was composed by reference to an extensive bibliographical revision. The first part is a review of lighting concepts; the second refers to health and safety matters, security in the work place and also reference to the lighting. The third part highlights the national and international rules for lighting and analyzes it's requests. The fourth part deal with hazardous areas and explosive atmospheres, and explains in simple terms what are classified areas, which are the criteria involved, the risks of common different types of dusts and related regulations. The fifth part explains about lighting of industrial stores, with related criteria used in an adequate lighting design standard. In the sixth part it outlines the selection of lighting fixtures, light bulbs and lighting ancillaries used for industrial applications available in the market. A case in a company in the state of São Paulo, that possesses storage facilities of coal dust was carried out. The results were analyzed through data collected throughout the store and the measurement of the

illumination realized at different times of the day. Such data was compared to rules, regulations and best practices in order to decide on lighting adequacy of the store and alternatives to solve the encountered problems were proposed. The conclusion is that it is possible to contribute to a significant improvement in the installations that provide illumination in the ore stores by, standardizing them, providing adequate maintenance, substituting obsolete equipment and observing rules and regulations. These measures increases the productivity, security and comfort of the workers. This action also results in cost savings, less energy consumption and ensures cooperation with environmental sustainability and complies with the requirements of NBR ISO 14.000 series.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	4
AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	6
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE TABELAS	17
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	18
LISTA DE SÍMBOLOS E GRANDEZAS	20
1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Evolução dos pátios e galpões de armazenagem de minérios	22
1.2 Evolução da iluminação e novas tecnologias	32
1.3 Estudos já realizados	33
2 OBJETIVOS	36
3 JUSTIFICATIVA DO TEMA	37
4 MÉTODOS E CONCEITOS	39
4.1 Ângulo sólido	39
4.2 Fluxo luminoso	41
4.3 Intensidade luminosa	45
4.4 Iluminância	47
4.5 Luminância	51
4.6 Energia	53
4.7 Potência	54
4.8 Eficiência luminosa	55
4.9 Temperatura de cor correlata	59
4.10 Índice de reprodução de cor	61

5	SAÚDE E SEGURANÇA	62
5.1	Higiene do trabalho	63
5.2	Riscos e problemas causados pelos sistemas de iluminação atuais	70
5.3	Efeitos da iluminação na saúde	71
5.4	Efeitos práticos	75
6	NORMAS	77
6.1	Regulamentação no Brasil	79
6.1.1	Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBRs)	79
6.1.2	Ministério do trabalho	81
6.1.3	Indústria da mineração e o DNPM	82
6.1.4	Código de Defesa do Consumidor	83
6.1.5	Certificação da qualidade	83
6.2	Normas internacionais	84
6.2.1	Recomendações e normas americanas	84
6.2.1.1	Code of Federal Regulations	86
6.2.2	Normas adotadas na Europa	87
7	ATMOSFERAS EXPLOSIVAS	88
7.1	Áreas classificadas	88
7.2	Temperatura de inflamação de uma área	90
7.3	Zonas de classificação	92
7.4	Definição de poeira	93
7.5	Características das poeiras combustíveis	95
7.6	Potencial de inflamabilidade	96
7.7	Normas relacionadas a atmosferas explosivas	98
7.8	Segurança	99
8	ILUMINAÇÃO DE GALPÕES EM ÁREAS INDUSTRIAIS	101
8.1	Critérios a serem considerados	102
8.2	Qualidade da iluminação	104
8.3	Principais cuidados	107
8.4	Galpões para armazenamento de carvão	112

9	LÂMPADAS	117
9.1	Lâmpadas de descarga	119
9.1.1	Lâmpadas de descarga de baixa pressão (fluorescentes)	120
9.1.2	Lâmpadas de descarga de alta pressão	125
9.1.2.1	Lâmpada de vapor de mercúrio	125
9.1.2.2	Lâmpada de vapor de sódio	127
9.1.2.3	Lâmpadas de vapor metálico	131
10	LUMINÁRIAS	134
10.1	Desempenho das luminárias	141
10.2	Luminárias para áreas classificadas	143
11	EQUIPAMENTOS AUXILIARES	147
11.1	Reatores	147
11.2	<i>Starters</i> (iniciadores)	151
11.3	Ignitores	151
12	EQUIPAMENTOS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO	152
12.1	Sensores	153
12.2	Controladores de intensidade	155
13	ESTUDO DE CASO	156
13.1	Sistema de iluminação presente	158
14	MATERIAIS E MÉTODOS DE TRABALHO EM CAMPO	160
14.1	Equipamento utilizado	160
14.2	Medição	164
15	RESULTADOS	166
15.1	Resposta da empresa	167
16	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	168
17	CONCLUSÃO	173
18	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	176
	ANEXO - GLOSSÁRIO	184

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Cidade de Primero, no Colorado (EUA) coberta por nuvem de carvão	21
Figura 2	Fábrica de chocolates Menier em Noisel-sur-Marne, França	22
Figura 3	Fábrica de turbinas de alta tensão A. E. G. - Berlin, Alemanha	24
Figura 4	Fábrica de turbinas de alta tensão A. E. G. - Berlim, Alemanha	24
Figura 5	Fábrica de sapatos <i>Fagus Works</i> em Alfeld an der Leine, Alemanha	25
Figura 6	Interior da fábrica <i>Fagus Works</i> em Alfeld an der Leine, Alemanha	25
Figura 7	Vista aérea da fábrica da <i>Fiat</i> em Turim, Itália	26
Figura 8	Fábrica de tabaco <i>Van Nelle</i> em Roterdã, Holanda	27
Figura 9	Fábrica de tabaco <i>Van Nelle</i> em Roterdã, Holanda	27
Figura 10	Fábrica de papel <i>Paper Mill</i> em Mantova, Itália	29
Figura 11	Fábrica de semicondutores <i>INMOS</i> em Newport, País de Gales	29
Figura 12	Corte esquemático da fábrica de semicondutores <i>INMOS</i>	30
Figura 13	Exemplos de galpões construídos em aço	31
Figura 14	Exemplos de galpões construídos em concreto	31
Figura 15	Foto do porto de Mucuripe - CE	33
Figura 16	Ângulo sólido de uma fonte puntiforme	41
Figura 17	Espectro eletromagnético	43
Figura 18	Propagação do fluxo luminoso	44
Figura 19	Visão fotópica e escotópica de um observador padrão, de acordo com a CIE	45
Figura 20	Curva de distribuição de intensidade luminosa de uma lâmpada fluorescente de 36W	46
Figura 21	A iluminância e sua relação com a densidade de fluxo	48
Figura 22	O processo de acomodação da visão	50
Figura 23	Eficiência luminosa	55
Figura 24	Uso da energia na lâmpada incandescente	56
Figura 25	Uso da energia na lâmpada fluorescente tubular	56
Figura 26	Uso da energia na lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão	57
Figura 27	Uso da energia na lâmpada de vapor metálico	57
Figura 28	Uso da energia na lâmpada de vapor de sódio de alta pressão	58
Figura 29	Uso da energia na lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão	58
Figura 30	(A) Curva espectral de lâmpada fluorescente com boa reprodução de cor, IRC = 85; (B) Curva espectral de lâmpada de sódio de alta pressão com má reprodução de cor, IRC = 23.	61
Figura 31	Fatores de iluminação relacionados à atividade industrial	63
Figura 32	Relação entre idade e quantidade de luz requerida para se ler uma página bem impressa.	64

Figura 33	Relação entre o desempenho visual (%) e o nível de iluminação (lx) para uma tarefa visual moderada (esquerda) e uma tarefa visual difícil (direita)	65
Figura 34	Aumento relativo no desempenho que pode ser esperado após a melhoria da iluminação para uma tarefa visual simples (linha tracejada) ou difícil (linha contínua)	66
Figura 35	Redução de erros relativa resultante da melhoria na iluminação para uma tarefa visual simples (linha tracejada) ou difícil (linha contínua)	66
Figura 36	Número e tipos de acidentes para diferentes atividades industriais em função do nível de iluminação	68
Figura 37	Número de acidentes em função do nível de iluminação	68
Figura 38	ciclo duplo (2 x 24h) dos ritmos circadianos típicos de temperatura do corpo, melatonina, cortisol e nível de alerta em um dia normal com ciclo claro/ escuro.	72
Figura 39	Humor expresso como nível de atenção para níveis de iluminação uniformes de 250 lx e 2800 lx em função do número de horas trabalhadas para trabalhadores do turno da noite.	73
Figura 40	Atividade EEG (padrão básico de onda cerebral) de trabalhadores de escritórios sob níveis de iluminação de 450 lx e 1700 lx.	74
Figura 41	Nível de estresse em grupo de trabalhadores atuando com luz artificial e com uma combinação de luz natural e artificial.	75
Figura 42	Qualidade da iluminação: integração das necessidades humanas, da arquitetura, da economia e do meio-ambiente.	85
Figura 43	Determinação das categorias de iluminância	86
Figura 44	Definição de zonas com presença de poeira combustível	92
Figura 45	Zonas de classificação de áreas de acordo com o risco	93
Figura 46	Explosão resultante de poeira combustível	94
Figura 47	Explosão no terminal graneleiro de Blaye, França	94
Figura 48	Exemplo de luminária com acúmulo de pó por falta de limpeza	96
Figura 49	Componentes de uma explosão	97
Figura 50	Normas adotadas ao redor do mundo	98
Figura 51	Tipos de reflexão das superfícies	101
Figura 52	Exemplo de iluminação geral uniforme	103
Figura 53	Galpão com iluminação horizontal e vertical adequada	104
Figura 54	Esquema de iluminação de um galpão com vários tipos de armazenamento	106
Figura 55	Ilustração de uma oficina de máquinas industriais	107
Figura 56	O acabamento dos elementos estruturais com elevada refletância aumenta a luminância que cerca as luminárias e reduz o efeito das luminárias como fonte de ofuscamento	108
Figura 57	Luminárias requerem proteção adequada para o conforto visual	109

Figura 58	Comparação de refletâncias entre o teto claro e o teto escuro	110
Figura 59	Exemplos de lâmpadas de descarga de alta intensidade	110
Figura 60	Exemplo de sistema de iluminação fluorescente	111
Figura 61	Planta baixa genérica e corte transversal de um galpão para armazenagem de carvão	113
Figura 62	Área de atuação das empresas do setor de iluminação no Brasil	117
Figura 63	Faturamento do segmento de iluminação industrial	118
Figura 64	Luminária portátil com LEDs para uso em ambientes explosivos	119
Figura 65	Estrutura interna e princípio de funcionamento de uma lâmpada fluorescente tubular	121
Figura 66	Lâmpada fluorescente de vida longa	124
Figura 67	Estrutura interna e princípio de funcionamento de uma lâmpada de vapor de mercúrio	126
Figura 68	Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão	128
Figura 69	Reator e ignitores para lâmpada de vapor de sódio de alta pressão	130
Figura 70	Lâmpada de vapor metálico	131
Figura 71	Exemplo de lâmpada de multi-vapores metálicos	132
Figura 72	Comparativo de consumo entre lâmpadas de descarga de alta intensidade	133
Figura 73	Exemplos de refletores: (a) facetado linear, (b) e (c) redondo especular e de alumínio ranhurado, (d) refletor facetado, (e) refletor com rebatimento.	134
Figura 74	Exemplos de refratores: (a) lente prismática acoplada a superfície, (b) aletas, (c) refrator em vidro, (d) refrator tipo <i>Fresnel</i> , (e) envoltório com lente prismática, (f) lente prismática, (g) refrator prismático, (h) lente refratora com aletas	135
Figura 75	Exemplos de difusores: (a) e (b) difusores brancos envoltórios (c) difusor gelatinoso cilíndrico (d) difusor injetado em vidro.	136
Figura 76	Exemplos de defletores, grelhas e protetores: (a), (b) e (c) grelhas, (d) defletor em forma de cruz, (e) protetor para luminárias industriais, (f) protetores e refletores.	136
Figura 77	Exemplos de componentes mecânicos das luminárias: (a) e (b) componentes para lâmpadas fluorescentes, (c) luz direta (<i>downlight</i>) para lâmpada fluorescente compacta, (d) montagens e instalações elétricas para uma luminária tipo pendente	137
Figura 78	carcaça de alumínio extrudado, montagem, refletor, lâmpadas fluorescentes e reatores.	138
Figura 79	carcaça, montagem, refletor, lâmpada HID, soquete, reator eletromagnético e capacitor.	139
Figura 80	Exemplos de luminárias industriais fluorescentes lineares	140
Figura 81	Exemplos de luminárias industriais estreitas	140

Figura 82	Exemplos de luminárias industriais para grandes alturas de instalação: (a) refletor aberto metálico, (b) refletor aberto em acrílico, (c) e (d) refletores fechados.	141
Figura 83	Exemplos de luminárias industriais para P.D. baixos	141
Figura 84	Dados de um relatório fotométrico de uma luminária para ambientes internos.	142
Figura 85	Exemplo de luminária indicada para atmosferas explosivas	144
Figura 86	Luminária fluorescente para zonas 21 e 22 (lâmpada fluorescente tubular T8 58W)	145
Figura 87	Luminária para lâmpadas de descarga de alta pressão para zonas 21 e 22	145
Figura 88	Exemplo de reator eletromagnético para lâmpada de descarga de alta intensidade (a) e para lâmpada fluorescente (b)	148
Figura 89	Tipos de partida dos reatores	149
Figura 90	Exemplo de <i>starter</i>	151
Figura 91	Exemplo de ignitor	151
Figura 92	Exemplo de instalação com protocolo DALI	153
Figura 93	Exemplo de instalação com sensor de luz	154
Figura 94	Exemplo de relé fotoeletrônico	155
Figura 95	Planta baixa do galpão de carvão em pó. Os caminhões descarregam e carregam o carvão por meio das portas situadas nas duas extremidades.	157
Figura 96	Corte transversal do galpão de carvão	157
Figura 97	Luminária existente tipo “chapéu chinês”	159
Figura 98	Luxímetro Digital Portátil modelo MLM-1010	161
Figura 99	Luxímetro SEKONIC <i>Handy Lumi</i> modelo 246	162
Figura 100	Medição da iluminância	164
Figura 101	Planta com localização dos pontos de medição	165
Figura 102	Planta com níveis de iluminância calculados com programa <i>Relux 2006</i> .	165
Figura 103	Planta com níveis de iluminância calculados com programa <i>Relux 2006</i> para nova iluminação proposta.	170
Figura 104	(a) Vista em perspectiva e (b) vista frontal da nova proposta de iluminação.	171

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Fatores determinantes para iluminância adequada	50
Tabela 2	Valores médios de luminância	53
Tabela 3	Dados técnicos de lâmpadas fluorescentes, tais como temperatura de cor e índice de reprodução de cores	60
Tabela 4	Aumento de desempenho na tarefa e redução do número de rejeições como resultado da melhora da iluminação	66
Tabela 5	Redução de acidentes devido a melhoria no nível de iluminação	67
Tabela 6	Iluminâncias mínimas, médias e máximas de acordo com a tarefa a ser executada	80
Tabela 7	Níveis de iluminância para áreas de depósito segundo a norma EN 12464-1	87
Tabela 8	Características de algumas poeiras combustíveis	90
Tabela 9	Materiais constantes em indústria de hidrocarbonetos	91
Tabela 10	Comparação da classificação das temperaturas de área entre IEC e NEC	91
Tabela 11	Índice de refletância das superfícies	105
Tabela 12	Importação de lâmpadas fluorescentes no Brasil no período de 1998 a 2001	118
Tabela 13	Características de algumas lâmpadas fluorescentes	123
Tabela 14	Características de alguns modelos de lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão	127
Tabela 15	Características de alguns modelos de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão.	129
Tabela 16	Classificação <i>CIE</i> para luminárias de acordo com o grau de proteção contra poeira e umidade	138
Tabela 17	Tipos de lâmpadas admitidas pela luminária da figura 86	146
Tabela 18	Distâncias recomendadas para a instalação de reatores para lâmpadas HID	150
Tabela 19	Refletâncias das superfícies acabadas	158
Tabela 20	Medições efetuadas na parte interna e externa do galpão de carvão	164
Tabela 21	Comparação do consumo de energia entre o sistema de iluminação atual e o novo sistema proposto	169

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABILUX	Associação Brasileira das Indústrias de Iluminação
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
BIES	<i>British Illuminating Engineering Society</i>
CEN	<i>European Committee for Standardization</i>
CENELEC	<i>European Committee for Electrotechnical Standardization</i>
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (ligada à Secretaria do Meio Ambiente do governo de São Paulo)
CFR	<i>Code of Federal Regulations</i> (do <i>Department of Labor Mine Safety and Health Administration</i> dos Estados Unidos)
CIE	<i>Commission International de l'Eclairage</i>
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface</i> (Interface de iluminação endereçável digital)
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EN	<i>European Standards</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
HID	<i>High intensity discharge</i>
HPM	<i>High Pressure Mercury</i>
HPMH	<i>High pressure metal halide</i>
HPS	<i>High Pressure Sodium</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IES	<i>Illuminating Engineering Society</i>
IESNA	<i>Illuminating Engineering Society of North America</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ISO	<i>International Standardization Organization</i>

IP	Índice de proteção (da luminária)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo emissor de luz)
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NEC	<i>National Electrical Code</i> (Estados Unidos)
NRs	Normas Regulamentadoras (do Ministério do Trabalho)
NRM	Normas Reguladoras de Mineração
SI	Sistema Internacional de Unidades
UL	<i>Underwriters Laboratories</i> Organização particular americana que ensaia e lista equipamentos elétricos quanto à segurança, de acordo com os padrões reconhecidos pelo UL e outras organizações mundiais.
UV	Ultra-violeta

LISTA DE SÍMBOLOS E GRANDEZAS

Nome	Símbolo	Unidade
Ângulo sólido	ω	sr
Comprimento de onda	λ	m
Eficiência luminosa	η	lm/W
Energia radiante	Q, W, (U) (Qe)	J (= W.s)
Frequência	f	Hz
Fluxo luminoso	Φ	lm (= cd.sr)
Iluminância	E	lx (1lx = 1lm/m ²)
Índice de reprodução de cor	IRC	adimensional
Intensidade energética	I _e	W/sr
Intensidade luminosa	I	cd
Luminância	L ou NIT	cd/m ² = nt
Potência elétrica	P	W (1W=1V.A)
Potência radiante	P, Φ , (Φ_e)	W (1W=1 J/s)
Rendimento luminoso	K	adimensional
Resistividade elétrica	ρ	$\Omega.m$ ou $\Omega.mm/m$
Temperatura de cor correlata	TCC	K
Tensão	T	V

1. INTRODUÇÃO

O uso de galpões fechados para estoques de minérios diversos está cada vez mais sendo exigido por órgãos governamentais a fim de reduzir o impacto ambiental causado pela deposição de material granulado e potencialmente gerador de poeiras a céu aberto, como carvão, por exemplo.

Estes impactos incluem a emissão de poeiras que podem poluir comunidades e cidades adjacentes ao depósito como o ocorrido em 2002 nas cidades de Primero (figura 1), Huerfano e Las Animas no estado do Colorado e do condado de Colfax no estado do Novo México, ambos nos Estados Unidos, em decorrência da extração e transporte do carvão a partir de Huajatolla (ou *Spanish Peaks*) pela companhia *Lorencito Coal*, que causou o prejuízo da saúde das pessoas destas cidades, principalmente de crianças, por estarem respirando materiais perigosos ou terem um nível de contaminação do ar e do meio-ambiente maior, devido a tempestade de “areia preta” (ARKLEY, 2002). Se houvessem galpões cobertos para armazenagem do minério extraído e para o local de carregamento dos meios de transporte, isto poderia ter sido evitado ou minimizado.

Fonte: Trinidad Plus, 2002

Figura 1 – Cidade de Primero, no Colorado (EUA) coberta por nuvem de carvão

Em virtude disto, pátios cobertos para armazenamento de minérios estão se tornando mais comuns a cada dia, em razão de órgãos ambientais de controle almejam que haja estanqueidade de silo ou que haja, pelo menos, um sistema de contenção de pó eficiente. Uma das soluções para este problema é o enclausuramento dos depósitos, com um alto custo de implantação, mas com um custo operacional

baixo. Isto acarreta em problemas para a ventilação e iluminação, no que se refere à higiene e segurança dos trabalhadores.

Também existem depósitos de granulados, normalmente cobertos, para se evitar a lixiviação da matéria-prima, sua perda ou degradação, como é o caso de depósitos de cimento e argila.

Nestes ambientes, normalmente o nível de iluminação, quando insuficiente, compromete a produtividade (BELD & BOMMEL, 2001) e o bem-estar dos trabalhadores. Frequentemente, as instalações são obsoletas e mal cuidadas, não havendo manutenção preventiva e substituição de equipamentos inseguros que podem trincar, quebrar-se ou mesmo explodir, colocando pessoas, equipamentos e a própria continuidade do empreendimento em risco.

1.1 Evolução dos pátios e galpões de armazenagem de minérios

A função de galpões e pátios para armazenagem de matéria-prima é conservar o material de modo que não haja deterioração deste, que auxilie a disposição de forma ordenada, para que o carregamento e o descarregamento pelos sistemas de transporte ocorra no menor tempo possível e sem perdas, e que seja um ambiente saudável e higiênico para as pessoas que ali trabalham.

Em 1871/72 o arquiteto Jules Saulnier projetou uma fábrica de chocolates, a indústria *Menier* (figura 2), na cidade de Noisel-sur-Marne na França, toda em estrutura de aço com a carga sendo suportada pela estrutura metálica em formato de cruz. Foi um caso expressivo para a evolução da tecnologia construtiva da época (FLETCHER, 1975).

Fonte: FLETCHER, 1975

Figura 2 – Fábrica de chocolates Menier em Noisel-sur-Marne, França

Em 1910 foi construída a fábrica de turbinas de alta tensão AEG em Berlim, com sistema construtivo desenvolvido em aço e vidro e complementado com fechamento em alvenaria. O projeto é do arquiteto alemão Peter Behrens em estilo inicial do modernismo, atingindo bom efeito plástico e forma dinâmica com as colunas sobressaindo na parte lateral do edifício.

A figura 3 mostra a foto da fachada frontal do galpão da fábrica com 26m de altura e perfis de ferro para suporte dos painéis de vidro alinhados pela parte externa. Os painéis contribuem com para a iluminação natural do edifício (figura 4).

Le Corbusier admirou-se com a estrutura imposta como questão principal do edifício, para ele um dos luminares entre as criações arquitetônicas daquela época, que apresentava salas limpas e sem ornamentação, onde as máquinas eram a maior atração do salão (KULTERMANN, 1993).

Na mesma época, em 1913, Walter Gropius desenvolve o projeto para a fábrica de sapatos *Fagus Work* na cidade de Alfeld an der Leine na Alemanha (figuras 5 e 6). O projeto do arquiteto foi desenvolvido a partir do pavimento térreo e das fundações, que já existiam. O desenho do conjunto foi pensado de acordo com as funções internas e então articulado em uma forma tridimensional. O desejo do cliente por uma fachada que fosse atrativa foi resolvido por Gropius de uma maneira criativa: por meio de um esqueleto de aço projetado, que deslocasse a função da sustentação para o interior, tornando assim possível a dissolução do envelope exterior em paredes de vidro. Assim, a idéia de “cortina de vidro” foi expressa pela primeira vez de maneira consistente (KULTERMANN, 1993).

Fonte: Divizia, 2007.

Figura 3 – Fábrica de turbinas de alta tensão A. E. G. - Berlin, Alemanha

Fonte: Divizia, 2007.

Figura 4 – Fábrica de turbinas de alta tensão A. E. G. - Berlim, Alemanha

Em 1923 o arquiteto italiano Giacomo Matte-Trucco desenvolve o projeto da fábrica da Fiat em Turim na Itália, conforme mostra a figura 7. O prédio de cinco andares em estilo moderno, que possui uma pista de testes na cobertura, foi construído em concreto reforçado.

Fonte: Karmanski, 2007.

Figura 5 – Fábrica de sapatos *Fagus Works* em Alfeld an der Leine, Alemanha

Fonte: Karmanski, 2007.

Figura 6 – Interior da fábrica *Fagus Works* em Alfeld an der Leine, Alemanha

Segundo FRAMPTON (1983), o trabalho do arquiteto foi pioneiro na aplicação do concreto reforçado no campo industrial, uma vez que acomodar seis mil trabalhadores em 1,5 milhão de metros quadrados foi, até aquele momento, um empreendimento de tamanho sem precedentes.

Do ponto de vista estrutural, contudo, a inovação mais notável foram as rampas helicoidais localizadas nas duas extremidades do bloco, apoiadas por um sistema de concreto reforçado extremamente elegante.

Fonte: Imagery, 2007.

Figura 7 – Vista aérea da fábrica da Fiat em Turim, Itália

Em 1930 Johannes Brinkman projetou a fábrica de tabaco Van Nelle em Roterdã, na Holanda (figura 8). Este famoso edifício moderno é um dos mais importantes conjuntos industriais do século 20 e também um dos mais elegantes. O fechamento da fachada, inteiramente feito em cortina de vidro, foi um dos melhores exemplos de sistema deste tipo desenvolvido naquela época (figura 9). Ao mesmo tempo, o tratamento de junção dos blocos, a relação entre os sólidos e os vazios e a disposição dos elementos foi magnífica (CURL *apud* EMMANUEL, 1980).

Fonte: Imagery, 2007.

Figura 8 – Fábrica de tabaco Van Nelle em Roterdã, Holanda

Fonte: Imagery, 2007.

Figura 9 – Fábrica de tabaco Van Nelle em Roterdã, Holanda

Em 1962 Pier Luigi Nervi desenvolve o projeto para a fábrica de papel *Paper Mill* em Mantova, Itália (figura 10). O edifício apresenta-se como uma massa linear suspensa, com a silhueta de uma ponte. A estrutura cobre uma área de 8.000 m² e foi projetada para abrigar enormes máquinas para a fabricação do papel. A razão principal para a escolha deste tipo de cobertura foi permitir uma área livre de 160m para a futura expansão da fábrica. De fato é possível duplicar ou até mesmo triplicar o tamanho da construção sem problemas no que concerne a parte estrutural.

O telhado consiste em uma plataforma de aço suspensa por quatro cabos de aço, com vão central de 160m e duas vigas de travamento com 42m. O galpão tem largura constante em 30m. Toda a estrutura do telhado é suportada por quatro colunas com 50m de altura (NERVI, 1963).

Em 1982 Richard Rogers realiza o projeto para a fábrica de semicondutores *INMOS* em Newport, País de Gales (figuras 11 e 12). Trata-se de uma estrutura de um pavimento em aço, concebida para ser erguida em módulos e com máxima rapidez possível. A maior parte foi pré-fabricada fora do canteiro de obras, para permitir que o edifício fosse erguido modularmente. O conceito da fase inicial do edifício é uma espinha linear central contendo a circulação e os serviços e, a partir daí, alas internas para as atividades especializadas.

Esta rua interna é generosa o bastante no tamanho para conter máquinas de vendas, telefones públicos, bancos, lugares de reunião, paisagismo e áreas de espera para os escritórios. Ela fornece o controle visual total para a segurança. Foi projetada desta forma para possibilitar a ligação com outros módulos a serem construídos futuramente, de forma que todas as instalações em todos os andares estejam prontamente disponíveis para toda a equipe de funcionários (ROGERS, 1982).

Fonte: Ochshorn, 2003

Figura 10 – Fábrica de papel *Paper Mill* em Mantova, Itália

Fonte: Rogers, 1982

Figura 11 – Fábrica de semicondutores *INMOS* em Newport, País de Gales

Figura 12 – Corte esquemático da fábrica de semicondutores *INMOS*

Os galpões de hoje continuam sendo desenvolvidos em estrutura modular de concreto e aço, materiais que permitem uma maior rapidez de montagem e um menor custo por área construída no ambiente industrial.

Atualmente eles podem ser montados a partir de estruturas pré-fabricadas com fechamento lateral em placas de concreto ou compostos de alumínio e chegam a formar estruturas geodésicas complexas, dependendo da sua aplicação e do material que irão abrigar.

Como visto, o que define a arquitetura dos galpões são o seu fechamento horizontal (a cobertura) e seus fechamentos laterais, que também compõem a estrutura para a cobertura. O aproveitamento de um galpão é medido por sua capacidade de armazenamento, por área quadrada ou capacidade cúbica de estocagem.

A figura 13 ilustra diferentes galpões construídos recentemente em aço.

Fonte: CBCA, 2006

Figura 13 – Exemplos de galpões construídos em aço.

O comprimento, altura, largura, as condições de ventilação, de iluminação e a facilidade de limpeza dos galpões devem atender às necessidades funcionais da atividade a ser desenvolvida em seu interior. Destes fatores depende o aumento ou diminuição da produtividade das empresas.

A figura 14 mostra exemplos de galpões recentes construídos em concreto.

Fonte: Premodisa, 2006

Figura 14– Exemplos de galpões construídos em concreto.

1.2 Evolução da iluminação e novas tecnologias

Com as novas tecnologias de luminárias, lâmpadas e equipamentos auxiliares é possível diminuir o consumo de energia, pelo fato de novos equipamentos, em sua maioria, necessitarem de menor quantidade de energia para produzir maior e melhor iluminação e, ao mesmo tempo, melhorar a vida dos trabalhadores no aspecto ergonômico. Por meio de programas de simulação por computador (como, por exemplo, *Ecolux*, *Troplux*, entre outros) é possível calcular o nível de iluminância necessária para o bom andamento das atividades do ambiente, assim como determinar a quantidade de iluminação natural proveniente das aberturas da edificação.

A poeira suspensa no ar e as superfícies de refletância rugosas e escuras são fatores que causam dificuldades para iluminação e são determinantes no aumento da quantidade de equipamentos necessários para suprir os níveis de iluminância definidos em norma.

Os equipamentos se renovaram e aprimoraram suas tecnologias com vistas em uma maior eficiência luminosa e maior vida útil, atingindo níveis que superaram os produzidos anteriormente. Como exemplo, pode-se citar lâmpadas fluorescentes, que diminuíram o tamanho de seu bulbo e ao mesmo tempo aumentaram sua eficiência. Informações sobre lâmpadas, luminárias, equipamentos auxiliares e equipamentos de controle e automação são tratadas mais detalhadamente nos capítulos 9, 10, 11 e 12 deste trabalho.

Também há o surgimento de novas tecnologias inexistentes anteriormente neste ramo de aplicação como a iluminação por LEDs (diodos emissores de luz).

Como modelo de modernização na área de iluminação no Brasil pode-se apontar a Companhia das Docas do Ceará, que investiu na melhora da iluminação dos pátios e da faixa do cais no Porto de Mucuripe (CE).

Devido ao fato de a exploração de minério de ferro no Brasil estar aquecida e ser cada vez maior, se fez necessária a modernização deste porto, que hoje possui amplos pátios para armazenagem de minérios. A figura 15 mostra a área das docas e galpões de armazenamento do porto de Mucuripe.

Fonte: Docas do Ceará, 2006

Figura 15 – Foto do porto de Mucuripe, Ceará

1.3 Estudos já realizados

A referência na literatura sobre iluminação é extensa e abrangente, já sobre galpões confinados é escassa e não foram encontradas referências que mostrem a evolução das formas de estocagem e novas formas de construção. Sabe-se que os novos galpões são feitos em estrutura pré-fabricada de concreto ou aço, de forma mais rápida, econômica e limpa em relação aos construídos antes do surgimento do concreto armado.

Dos diversos trabalhos que tratam do tema iluminação, alguns abordam a questão da arquitetura relacionada à orientação de edifícios, como o livro “Técnica da orientação dos edifícios: insolação, iluminação, ventilação” de CARVALHO (1970) para uma melhor insolação e ventilação naturais através do correto posicionamento das janelas e aberturas do edifício em relação ao norte e considerando os ângulos e coordenadas das cartas solares, a geometria da insolação, os períodos de insolação nas fachadas e a radiação solar incidente. Para iluminação natural ainda é considerado o método de traçado de sombras sobre planos horizontais e verticais, também tratado em “Iluminação natural e projeto” de ARAMAKI (1980) e no livro “*Concepts and practice of architectural daylighting*” de MOORE (1991).

Existem guias de iluminação, com linhas gerais de projeto e distribuição de luminárias – como o IESNA *Handbook*, da *Illuminating Engineering Society* dos Estados Unidos (2000), bastante completo; guias de equipamentos e especificações técnicas, como os das empresas Philips e Osram; tabelas diversas e informações que servem de base para cálculos luminotécnicos; livros para iluminação industrial, como

o *American standard practice for industrial lighting* (também da *Illuminating Engineering Society- IES*), entre outros.

Existem algumas dissertações de mestrado na área de iluminação, mas poucas com datas recentes. Foram pesquisadas as seguintes bases de dados: portal “Saber Teses e Dissertações”, biblioteca da Universidade de São Paulo, Biblioteca da Universidade Mackenzie, biblioteca do *Dublin Institute of Technology*, biblioteca do *Trinity College*, *Scholar Google* e *Google*. A maioria das pesquisas recentes trata do estudo de iluminação natural. Os principais estudos encontrados estão relacionados abaixo:

- iluminação de minas subterrâneas: uma análise da situação brasileira. Tese de Doutorado (ESTON, 1992), que faz um levantamento sobre as condições de iluminação em minas subterrâneas brasileiras, abordando aspectos de higiene, segurança, normas e conceitos de iluminação;
- conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica. Tese de Doutorado (ALUCCI, 1993), que trata deste aspectos no projeto das edificações;
- iluminação zenital em ambientes industriais: o caso Albarus RS, de POZZI (2000) que faz uma análise da iluminação natural em uma indústria no Rio Grande do Sul. (Dissertação de Mestrado);
- avaliação de sistemas de iluminação artificial visando a eficiência energética: o caso da FATEC-SP de CARDOSO (2001), em que é apurada a economia de energia proporcionada pela substituição de equipamentos de iluminação no edifício escolar. (Dissertação de Mestrado);
- impactos da aplicação de lâmpadas fluorescentes compactas em habitações de baixa renda ao sistema de distribuição de energia elétrica de CASTELLS PEÑA (2003), sobre a racionalização do consumo de energia elétrica. (Dissertação de Mestrado);
- eficiência energética em sistemas de iluminação de interiores: análise de luminárias comerciais de IWASHITA (2004), onde a autora aborda as questões relativas à eficiência energética de equipamentos de iluminação, mais especificamente aquelas relacionadas às luminárias comerciais para lâmpadas fluorescentes tubulares (Dissertação de Mestrado).

- iluminação: importância e metodologia de aplicação na arquitetura de MINGRONE (1985) (Dissertação de Mestrado).

No entanto, a maior parte das referências encontradas data de mais de 20 anos e outras fontes são ainda mais antigas. Certamente que os conceitos não se modificaram, o que houve foram novas descobertas da medicina da saúde em relação a questões de iluminação e novas tecnologias.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar uma contribuição para a melhora das condições ambientais, de higiene e segurança no trabalho em pátios de estocagem e depósitos cobertos por meio do agente físico iluminação. Apresentar requisições legais e melhores práticas neste tipo de edificação; propor soluções, quando cabíveis, para uma instalação existente em operação; e oferecer uma contribuição para a melhor implantação de sistemas de iluminação nos futuros projetos de galpões.

3. JUSTIFICATIVA DO TEMA

A iluminação está relacionada com a questão de segurança para a realização de qualquer tipo de tarefa e com a questão de saúde e qualidade de vida das pessoas.

Hoje sabe-se muito mais a respeito das alterações que são causadas no organismo das pessoas por falta de luz natural, como a depressão de meio de inverno nos países temperados (*midwinter blues*), onde a falta de luz solar acaba interferindo de forma negativa no relógio biológico. Da mesma forma, trabalhadores em ambientes confinados também sofrem deste tipo de depressão. Isto pode ser minimizado através do uso de iluminação artificial com lâmpadas que emitem luz extremamente branca, da ordem de 8000K (KERKHOF, 1999).

A luz inadequada pode diminuir a acuidade visual, alterar o metabolismo e até o humor das pessoas em um determinado ambiente (NEGRÃO, 2005).

Atualmente já é possível imitar com equipamentos de iluminação artificial a luz do sol e a passagem do dia, com toda a gama de tonalidade de cores, da luz amarelo clara da manhã, para a luz ao meio-dia (pineal) com uma tonalidade mais branca até a luz do pôr-do-sol, um amarelo avermelhado. Assim, é possível dar a sensação de passagem de um dia inteiro até para pessoas que trabalham em subsolos, sem a presença de aberturas zenitais, melhorando sem dúvida alguma a qualidade de vida e o humor, contribuindo para reduzir o cansaço e aumentando a segurança.

Segundo BACHNER *apud* NEGRÃO (2005), do *National Lighting Bureau*, “as novas descobertas sobre o uso da luz em tratamentos contra o câncer de mama e o mal de Alzheimer, por exemplo, nos fazem crer que o modo como iluminamos nossos escritórios, casas e fábricas sofrerá em breve uma mudança em massa”.

Anteriormente o conceito para uma iluminação adequada para escritórios abertos ao longo de todo um pavimento era uma iluminação homogênea, que atendesse a todas as áreas da mesma forma. Todavia, verificou-se que esta homogeneidade era cansativa, pela falta de contrastes; e que também não era econômica (COSTA, 1998). Hoje se projeta diferentes tipos de iluminação para áreas de corredores, copa, sala de reuniões e estações de trabalho. Há mais nuances de iluminância e áreas de sombras, que ajudam a compor uma iluminação mais interessante e menos monótona.

Este conceito também provém das residências, onde cada pessoa pode ter a iluminação que mais lhe agrada e indo para a indústria, uma vez que os postos de trabalho hoje em dia levam mais em consideração o conforto e bem-estar de seus trabalhadores.

Cada pessoa tem seu nível ótimo de iluminação estabelecido de forma subjetiva. Em estudo efetuado por MOORE et al. (2004) em edifícios no Reino Unido constatou-se que cerca de 50% das pessoas se satisfaziam com níveis de iluminação menores que os estabelecidos em norma - e que com controles setorizados por meio de *dimers* foi possível economizar boa quantidade de energia, sem perda do conforto dos trabalhadores.

Antigamente também não havia a preocupação de conservação de energia que se tem hoje. Sabe-se que uma iluminação eficiente, com menor potência ou eficiência das lâmpadas, também contribui para uma economia de energia de climatização do ar: a cada 3,5 watts economizados com iluminação artificial, reduz-se 1 watt na maioria dos sistemas de ar-condicionado (CLARO, 2004).

Outro dado verificado é que sensores de ocupação podem economizar até 25% da energia em escritórios privados, 18% em escritórios coletivos e 35% em salas de reuniões (EPA, 1998).

Portanto, é de extrema importância que a questão da iluminação em ambientes industriais agressivos, onde há presença de material particulado suspenso no ar, inclusive galpões e área de estocagem, onde existam trabalhadores realizando diferentes tarefas, seja estudada para promover melhorias das condições de segurança no trabalho e de qualidade de vida das pessoas na indústria, uma vez que proporciona um melhor rendimento do trabalho, diminui os erros e, ao mesmo tempo, é um investimento de capital pequeno se comparado ao montante despendido para a construção dos edifícios (ESTON, 2006).

Até o presente momento não foi encontrado nenhum trabalho sobre esse tema e nota-se certo descuido por parte das indústrias com a questão do conforto ambiental referente à iluminação.

4. MÉTODOS E CONCEITOS

A estratégia deste trabalho para obter os objetivos propostos foi a seguinte:

- revisão bibliográfica extensiva em várias bases de dados, conforme anteriormente citado;
- visita a instalação de um galpão para estocagem de cimento que está em operação;
- medições *in loco* para o estudo de caso;
- modelagem do galpão e simulação dos níveis de iluminância por meio de *software* de iluminação (cálculo ponto a ponto);
- elaboração de uma nova proposta com sistemas de iluminação mais adequados.

Os conceitos de iluminação são extremamente importantes para se entender o que um bom projeto luminotécnico requer e quais são as qualidades inseridas no mesmo.

A grandeza presente no Sistema Internacional de Unidades referente à iluminação é a intensidade luminosa (I) e sua unidade é a candela (cd).

Algumas grandezas empregadas em iluminação são mais utilizadas que outras, como a iluminância, porém algumas influem de forma mais significativa na questão relacionada à conservação de energia: a eficiência, o rendimento e a eficácia – ou seja, a eficiência das lâmpadas, o rendimento das luminárias e reatores e a eficácia de aplicação.

O fluxo luminoso e a iluminância são conceitos absolutamente necessários para se desenvolver projetos de iluminação. A luminância é uma grandeza que aos poucos também vem sendo considerada parte integrante dos bons projetos de iluminação.

4.1 Ângulo sólido

Símbolo: ω

Unidade: esferorradiano (sr)

O estudo da iluminação está voltado para a visão de formas espaciais. Por esta razão trabalha-se com ângulos tridimensionais, também conhecidos na geometria como ângulos sólidos.

Utiliza-se esta grandeza, pois o feixe luminoso, ao incidir na retina ocular, cria uma imagem em sua superfície, cujo contorno é função do ângulo sólido percebido pelo olho. O feixe de luz constitui assim um ângulo sólido, que depende do tamanho da superfície vista pelo observador e da distância que este se encontra em relação ao objeto.

É um conceito matemático, cuja definição é voltada para a tridimensionalidade de uma esfera de raio R e uma área A qualquer em sua superfície. Assim, o ângulo sólido, expresso em esferorradianos, será o resultado do quociente entre uma área A situada na superfície da esfera e o quadrado do seu raio R .

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

Onde: A = área na superfície da esfera (m^2)

R = raio da esfera (m)

ω = ângulo sólido (sr)

A determinação do ângulo sólido de uma esfera é obtido partindo-se do conhecimento da área da superfície, isto é, $4\pi R^2$. Pela aplicação da expressão, o valor do ângulo sólido será 4π sr. Quando a superfície da esfera é delimitada por um círculo, facilmente se percebe que o ângulo sólido é representado por um cone (COSTA, 1998; MOREIRA, 1982).

A figura 16 mostra graficamente o ângulo sólido ω de uma fonte de luz pontiforme.

Fonte: MOREIRA, 1982

Figura 16 – Ângulo sólido de uma fonte puntiforme

4.2 Fluxo Luminoso

Símbolo: Φ

Unidade: lúmen (lm)

As fontes de luz artificiais, da mesma maneira que a luz natural emitem ondas eletromagnéticas. O olho funciona como um filtro seletivo que aproveita somente uma parcela da energia recebida, neste caso, os comprimentos de onda compreendidos entre 380nm e 780nm.

Para que ocorra o fenômeno da visão, é necessário que as radiações visíveis cheguem até o fundo do olho e este transmita ao cérebro as informações captadas. A sensibilidade do olho varia de acordo com as intensidades luminosas e com os estímulos de cor.

A retina é a parte do olho onde se formam as imagens. Existem dois tipos de receptores na retina, os cones e bastonetes. Eles transformam a energia radiante em química, que produz os impulsos elétricos enviados ao cérebro pelo nervo óptico.

A visão fotópica é a percepção visual com luz intensa (luz diurna, luminância $> 3,4 \text{ cd/m}^2$), assegurada pelos cones retinianos (retina central). Os cones irritam-se especificamente a cada comprimento de onda do espectro luminoso (senso

cromático) e captam diferentes intensidades luminosas em vários cones simultaneamente (senso de forma). Têm alta sensibilidade ao contraste e captam muito bem os movimentos.

A visão escotópica (visão noturna, luminância $< 0,034 \text{ cd/m}^2$) é a percepção visual quando há fraca iluminação, em escalas de cinza, só permitindo distinguir grosseiramente a forma dos objetos. Utiliza os bastonetes e trata-se da retina periférica do olho, região de visão pobre. Após 30 minutos de adaptação, os bastonetes são mil vezes mais sensíveis ao estímulo luminoso que os cones. Eles têm alta sensibilidade a luminância e dificuldade de captar objetos em movimento.

Há ainda a visão mesotópica (luminância entre $0,034$ e $3,4 \text{ cd/m}^2$), conhecida como crepuscular, que utiliza os cones e bastonetes no limiar entre o claro e o escuro. Devido a dificuldades metodológicas não se tem uma curva para esta região, mas ela não deixa de ter sua importância para a iluminação de vias, segurança e outros casos de iluminação noturna (PINTO, 2004).

A figura 17 mostra o espectro eletromagnético visível.

Fonte: Guia Técnico Procel/Reluz apud NEGRÃO, 2005

Figura 17 – O espectro eletromagnético

A radiação total emitida por uma fonte luminosa, dentro dos limites de visão do ser humano, é chamada de fluxo luminoso. Ele representa a energia luminosa emitida ou observada ou, ainda, a energia refletida, por segundo, em todas as direções, sob a forma de luz (figura 18) (COSTA, 1998).

Fonte: COSTA, 1998

Figura 18 – Propagação do fluxo luminoso

A definição de fluxo luminoso é: grandeza derivada do fluxo radiante Φ_e pela avaliação da radiação de acordo com a sua ação sobre o observador fotométrico padrão *CIE* (IEC, 2007).

Em termos matemáticos:

$$\Phi_v = K_m \int_{380}^{780} \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2)$$

Fonte: IEC, 2007

Onde:

Φ_v = fluxo luminoso (lm);

K_m = valor do watt-luminoso = 683 lm/W;

$d\Phi_e(\lambda)/d\lambda$ = distribuição espectral do fluxo radiante (W);

$V(\lambda)$ = eficiência luminosa espectral; e

λ = comprimento de onda (nm).

Os limites mínimo e máximo da integral correspondem à limitação da visão do olho humano (380-780 nm). Quando aplicado a radiações monocromáticas, o máximo valor $K(\lambda)$ é denotado pelo símbolo K_m (IEC, 2007), conforme segue:

- Para visão fotópica:

$$K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1} \text{ por } \nu_m = 540 \times 10^{12} \text{ Hz } (\lambda_m \approx 555 \text{ nm}) \quad (3)$$

- Para visão escotópica:

$$K'_m = 1700 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1} \text{ por } \lambda'_m = 507 \text{ nm} \quad (4)$$

- Para outros comprimentos de onda :

$$K(\lambda) = K_m V(\lambda) \text{ e } K'(\lambda) = K'_m V'(\lambda). \quad (5)$$

O coeficiente de 683 lm/W significa que 1W no comprimento de onda 555 nm (cor amarelo esverdeado é o valor de máxima sensibilidade da visão fotópica que ocorre para $\lambda = 555$ nm) representa 683 lumens. Ou seja, é a conversão física da luz, que transforma watts em energia radiante. A figura 19 mostra o gráfico da visão fotópica e escotópica de um observador padrão CIE.

Fonte: CIE, 1970

Figura 19 – Visão fotópica e escotópica de um observador padrão, de acordo com a CIE.

Na prática as fontes luminosas, salvo para fins especiais, não são monocromáticas e sua energia se distribui ao longo do espectro. Em função disto, o seu valor se reduz muito (COSTA, 1998). Como exemplo pode-se citar a lâmpada de sódio de baixa pressão, que é monocromática e emite 150 lm/W, enquanto uma lâmpada de vapor metálico, que reproduz bem as cores para embalagens, emite cerca de 85 lm/W (PHILIPS, 2004).

No capítulo 9, onde se tratará de lâmpadas, existe uma tabela com as características de lâmpadas fluorescentes, dentre elas o fluxo luminoso para diversos tipos de lâmpadas fluorescentes tubulares.

4.3 Intensidade Luminosa

Símbolo: I

Unidade: candela (cd)

É a unidade de base do sistema internacional para iluminação (IEC, 2007; INMETRO, 2003). O estudo da intensidade luminosa conduz a noção de um vetor luminoso emitido por uma fonte. A exigência para a medição da intensidade luminosa é que a distância de medição tenha pelo menos cinco vezes a maior dimensão da fonte, na direção onde se deseja esta informação, uma vez que a fonte luminosa nunca irradia a luz uniformemente em todas as direções; assim, a margem de erro aceita é da ordem de 1%. As fontes luminosas constituídas por lâmpadas esféricas ou ovóides satisfazem esta condição; já as fontes tubulares, como as fluorescentes, exigem dimensões maiores para os recintos de medição (COSTA, 1998).

Em um plano transversal à lâmpada, traçando-se uma linha unindo as extremidades de todos os vetores originados desta fonte, obtém-se a curva de distribuição luminosa (CDL), que é a representação gráfica da intensidade desta fonte luminosa em todas as suas direções de emissão.

A figura 20 mostra a curva de distribuição luminosa de uma lâmpada fluorescente.

Fonte: Osram, 2006/2007

Figura 20 – Curva de distribuição de intensidade luminosa de uma lâmpada fluorescente de 36W

A intensidade luminosa pode ser associada a uma lâmpada ou a uma luminária. Na prática a segunda opção é a mais aplicada, pois em geral a lâmpada é utilizada em conjunto com a luminária.

A intensidade luminosa é necessária para dimensionar sistemas de iluminação pelo método de cálculo “ponto a ponto”, ou seja, o cálculo do nível de iluminação em determinado plano de trabalho proporcionado por uma luminária específica (VIANNA & GOLÇALVES, 2001).

4.4 Iluminância

Símbolo: E

Unidade: lux (lx)

O melhor conceito sobre iluminância talvez seja: “densidade de luz necessária para uma determinada tarefa visual”(COSTA, 1998). Baseados em pesquisas realizadas com diferentes níveis de iluminação, os valores relativos à iluminância foram tabelados. No Brasil, esta tabela encontra-se na NBR 5413 – Iluminância de interiores, que segue a tendência das normas internacionais (EN 12464-1; ISO 8995:2002/CIE S008:2001).

Por definição, iluminância é o limite da razão do fluxo luminoso $d\Phi$, incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado, para uma área dA deste elemento, quando esta área tende para zero. Ou seja, é o fluxo luminoso incidente numa superfície por unidade de área.

$$E = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi}{\Delta A} = \frac{d\Phi}{dA} \quad (6)$$

Onde:

$d\Phi$ = fluxo luminoso (lm)

dA = área (m^2)

E = iluminância (lux)

Um lux corresponde à iluminância de uma superfície plana de um metro quadrado de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de um lúmen. Importante notar que a iluminância está ligada a um ponto na superfície que independe da posição do observador (figura 21).

Fonte: COSTA, 1998

Figura 21 – A iluminância e sua relação com a densidade de fluxo

Assim como MOON *apud* COSTA (1998) foi um dos pioneiros no estudo científico da iluminação artificial, HOPKINS *apud* COSTA (1998) e outros estabeleceram métodos para o estudo da iluminação natural, aplicada em ambientes.

Segundo HOPKINS *apud* COSTA (1998), na obra *Daylighting*, “há dois aspectos do problema da iluminação natural que são igualmente importantes. O primeiro consiste em garantir uma iluminação suficiente para que se possa trabalhar com eficiência, rapidez e sem erros. O segundo, consiste em proporcionar um ambiente visual agradável”. Estes problemas não são incompatíveis, mas é tão fácil ignorar um deles ao tentar satisfazer o outro que, freqüentemente, o aspecto qualitativo da luz do dia é negligenciado ao tentar satisfazer uma especificação que exige certa quantidade mínima de iluminação. É evidente que o estabelecimento de uma iluminação adequada para um trabalho visualmente eficiente é o primeiro requisito para um projeto de iluminação, mas se este critério quantitativo é assegurado apenas a custa de um ofuscamento excessivo e desconforto visual, o resultado não será considerado satisfatório pelo usuário.

Este texto dirigido para iluminação natural também é extremamente válido na iluminação artificial e comprova mais uma vez, que iluminação não é apenas iluminância. A quantidade de luz para uma determinada tarefa visual é obtida através da iluminância, mas a sua qualidade é bem mais complexa.

Normalmente nos trabalhos de iluminação é empregada a iluminância média, dada pela expressão:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (7)$$

Onde:

E = iluminância média (lux)

Φ = fluxo luminoso (lm)

A = área (m²)

A iluminância média para galpões de estocagem de minérios é de 150 lx (NBR 5413), mas pode variar de acordo com as tarefas a serem executadas no local. Por exemplo, se na mesma área houver atividade de carregamento e descarregamento, o nível médio de iluminância será (ou deverá ser) 200 lx.

A arquitetura interna do ambiente, como a forma do recinto, suas dimensões, seus acabamentos – ou seja, cor das paredes, presença de janelas e portas em vidro, cortinas e demais componentes internos – também pode contribuir, por meio de reflexões mútuas, para uma maior iluminação. Contudo, isto é raro em galpões de armazenamento de minérios pela poluição e sujeira existentes e o tipo de acabamento interno, em geral cimento queimado, blocos de concreto, perfis na cor cinza ou preta, entre outros, que acabam por absorver grande parte da luz.

A nomenclatura da iluminância existente no Brasil é divergente. Pelo INMETRO o termo correto e consagrado anteriormente pela ABNT é *iluminamento*, proveniente da tradução francesa de *eclairment* (daí o símbolo internacional E). Iluminância, proveniente da tradução da expressão inglesa *illuminance*, é o termo atualmente adotado pela ABNT.

Os níveis de iluminância adequados para áreas de estocagem serão tratados no capítulo 6 deste trabalho, cujo título é “Normas”.

O nível de iluminância média é preceituado por norma internacional e adotado pela ABNT, através da NBR 5413. Seus valores são distribuídos em três faixas (A, B e C), tendo cada faixa três conjuntos de três valores cada – mínimo, médio e máximo, cuja seleção é realizada por meio de uma ponderação de fatores.

A obtenção do valor destes níveis é subjetiva, sendo obtido mediante pesquisa feita em salas especiais por meio de um questionário, que procura da forma mais

isenta possível conhecer a preferência do usuário quanto ao nível de iluminação utilizado.

Constatou-se que o desempenho visual está estreitamente ligado e vinculado à idade, ao estado psicológico dos indivíduos, às dimensões do ambiente e sua decoração, ao tipo de tarefa que está sendo executada (COSTA, 1998).

É mostrado na figura 22 o processo de acomodação da visão. Com o avanço da idade, a capacidade de acomodação diminui, sendo necessárias maiores distâncias e maiores níveis de iluminância para focalizar um objeto. Assim, pessoas idosas carecem de mais luz.

Fonte: Guia Técnico Procel/Reluz *apud* NEGRÃO, 2005

Figura 22 – O processo de acomodação da visão

A tabela 1 mostra os valores atribuídos para idade, velocidade e precisão na área de trabalho e refletância do fundo da tarefa.

Tabela 1 – Fatores determinantes para iluminância adequada

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

Fonte: ABNT - NBR5413/1992

Um nível baixo de iluminação produz cansaço visual, por outro lado um nível elevado conduz a irritação do olho. Em qualquer destes casos isto será traduzido na diminuição do trabalho e conseqüentemente da produtividade.

Em geral, para atividades comuns, uma iluminação de 500 lx é satisfatória. Atualmente, a tendência é o uso de uma iluminação geral de até 1.000 lx, sendo o excedente complementado por fontes que suplementem a iluminação do campo de trabalho (COSTA, 1998).

Uma iluminação suplementar localizada, que permita adaptar o olho ao campo de visão, contribuirá para a economia energética, visto que estará desligada quando não for necessária. Isto trará dois benefícios simultâneos. O primeiro, de ordem microeconômica, está diretamente relacionado com o valor a pagar pelo uso da energia; e o segundo, de ordem macroeconômica, está relacionado à redução da necessidade de produção de energia, trazendo como conseqüência a postergação das obras de geração.

Entretanto, deve ser observado que a relação máxima entre a iluminação suplementar e a geral não seja inferior a um décimo. Por exemplo, se uma atividade visual tem no seu campo de trabalho 10.000 lx, o ambiente geral da sala deve ser 1.000 lx. Com isto, evita-se que o ambiente seja irritante aos demais usuários, que não estejam necessitando daquele valor no seu campo visual. É o caso de salas de cirurgia nas quais médicos e enfermeiros auxiliares em geral necessitam da iluminação geral e circunstancialmente da localizada, com valor dez vezes maior. Certamente que uma iluminância de 10.000 lx é excepcional, basta saber que é o limite superior da norma NBR 5413.

Recomenda-se ainda que o mínimo aceitável em ambientes internos seja de 200 lx e que a diferença entre o valor mínimo e máximo recomendável em áreas adjacentes seja de um quinto.

4.5 Luminância

Símbolo: L ou NIT

Unidade: candela por metro quadrado (cd/m^2) ou nit (nt)

É através da luminância que o homem enxerga, já que os raios luminosos não são visíveis e a sensação de luminosidade é decorrente da reflexão destes raios em uma superfície. A luminosidade visível é chamada luminância. Logo:

- iluminância é a luz incidente, não visível;
- luminância é a luz refletida, visível.

A equação matemática que permite a determinação da luminância é:

$$L = \frac{I}{(A \times \cos \alpha)} \quad (8)$$

Fonte: IEC, 2007

Onde:

L = luminância em cd/m^2 ; (ou em nit)

I = intensidade luminosa em cd;

A = área projetada em m^2 ; e

α = ângulo considerado em graus.

Em caso de desconhecimento do valor da intensidade luminosa, usa-se a equação matemática abaixo, que só é válida para o caso de difusores perfeitos, ou seja, paredes totalmente brancas, áreas cobertas de neve, entre outros exemplos caracterizados por uma superfície que reflita a luz igualmente a partir de qualquer ponto nela contido.

$$L = \frac{(\rho \times E)}{\pi} \quad (9)$$

Onde:

ρ = coeficiente de reflexão (número puro);

E = iluminância sobre essa superfície (em lux);

As paredes de um galpão de carvão são quase absorvedores perfeitos, uma vez que estão constantemente revestidas pelo pó e o carvão é completamente fosco. A partir daí pode-se supor que a mesma fórmula é válida. Neste caso, o ρ seria quase zero (em torno de 4%) e a luminância da superfície, por consequência, também seria próxima a zero. Para o cálculo de iluminação para minas de carvão deve-se usar sempre luminâncias (expressas em nit) e não iluminâncias (ESTON, 2006).

Uma vez que os objetos possuam diferentes capacidades de reflexão da luz, fica compreendido que certa iluminância possa gerar diferentes luminâncias.

Lembre-se que o coeficiente de reflexão (ρ) é o quociente do fluxo incidente pelo fluxo refletido pela superfície:

$$\rho = \frac{\rho_i}{\rho_r} \quad (10)$$

Este coeficiente varia de acordo com a cor e a textura das superfícies.

A luminância está diretamente relacionada com os contrastes. Por exemplo, a leitura de páginas escritas em letras pretas (refletância 10%) sobre o papel de fundo branco (refletância 85%) revela que a luminância das letras é menor que a luminância do fundo, tornando a leitura menos cansativa.

A tabela 2 mostra valores médios de luminância para diversas fontes luminosas e materiais.

Tabela 2 – Valores médios de luminância

ESPECIFICAÇÃO	cd/m ²
Sol no zênite	1.600.000.000
Céu	8.000
Lua	2.500
Lâmpada incandescente vidro claro	5.000.000
Lâmpada incandescente vidro opalino	200.000
Lâmpada fluorescente (diâmetro 38mm 40W)	5.000
Lâmpada fluorescente (diâmetro 26mm)	15.000
Valor aceitável para o conforto visual	2.000
Papel branco (E=300 lx, ρ =85%)	80
Papel cinza (E=300 lx, ρ =40%)	40
Papel preto (E=300 lx, ρ =5%)	

Fonte: COSTA, 1998

Para galpões e depósitos de minérios a quantidade de iluminância é extremamente importante pois, normalmente, a luminância nestas áreas contribui muito pouco para o iluminamento geral.

4.6 Energia

Símbolo: Q_c

Unidade: J (= W · s)

Energia é o estado quântico de um átomo, molécula ou íon (IEC, 2007). Energia radiante é a integral do fluxo radiante Φ_e sobre determinado tempo Δt , dado pela fórmula:

$$Q_c = \int_{\Delta t} \Phi_e dt \quad (11)$$

Energia radiante é a energia que pode atravessar o espaço. Inclui a luz, as ondas de rádio e os raios de calor. O calor radiante não é o mesmo que a variante de energia cinética chamada de “energia térmica”, mas quando os raios de calor atingem um objeto fazem com que as suas moléculas se movam mais depressa, ganhando então energia térmica. Os raios de luz e de calor são produzidos tornando os objetos tão quentes que brilham, como no caso do filamento de uma lâmpada elétrica (Wikipedia, 2007).

Energia elétrica é aquela que se caracteriza por meio de um fluxo constante de elétrons e é observada sob forma de eletricidade em nossas casas ou de impulsos nervosos nos neurônios de nosso sistema nervoso e sensorial.

A conta de energia elétrica residencial é definida pela multiplicação da potência "P" de cada aparelho pelo tempo "t" em que ele ficou ligado: $E_{el} = P \cdot t$, sendo que, se esse tempo for determinado em "hora", a unidade será *Wh* (watt-hora), se for em segundos, a unidade será *Joule*. No Brasil, a conta de energia elétrica consumida é expressa em *kWh* (quilowatt-hora) (Wikipedia, 2007).

4.7 Potência

Símbolo: P

Unidade: W (= J/s)

Em física, potência é a grandeza que determina a quantidade de energia concedida por uma fonte a cada unidade de tempo. A potência (P) pode ser calculada pela variação de energia do sistema (δE) em determinado intervalo de tempo (δt), como expressa a fórmula:

$$P = \frac{\delta E}{\delta t}$$

No SI, a unidade de potência é o W (watt), ou sua unidade equivalente, J/s (joule por segundo).

4.8 Eficiência luminosa

Símbolo: η

Unidade: lúmen por watt (lm/W)

É extremamente simples de ser compreendida e também extremamente importante para a conservação de energia (COSTA, 1998).

Eficiência luminosa é a relação entre o fluxo luminoso emitido em lúmens por uma fonte e a energia consumida para produzi-lo. A figura 23 ilustra a eficiência luminosa de uma lâmpada.

Fonte: COSTA, 1998

Figura 23 – Eficiência luminosa

A lâmpada incandescente de emprego usual nos lares do Brasil apresenta em torno de 10% de eficiência na transformação de radiação em luz visível (SORCAR, 1982). A maior parte da radiação é dissipada na forma de calor. Isto pode ser visto na figura 24.

A eficiência varia conforme a potência da lâmpada, sendo menor para as potências mais baixas: 9,4 lm/W para uma potência nominal de 25W; e 17,5 lm/W para uma potência nominal de 100W (COSTA, 1998).

Fonte: COSTA, 1998

Figura 24 – Uso da energia na lâmpada incandescente

Já a lâmpada fluorescente tubular convencional utiliza para a produção de luz visível 2,5%, valor que deve ser acrescido aos 22,5% resultantes da conversão da radiação ultravioleta em luz (ver figura 25); este rendimento aumenta no caso das lâmpadas fluorescentes tubulares de nova geração, onde se pode atingir 36% (SORCAR, 1982). O maior rendimento das lâmpadas fluorescentes se deve ao fato de que a iluminação é produzida pelo fenômeno da descarga elétrica através de gases, havendo uma diminuição na produção de calor. Isto traz como consequência indireta sistemas de ar condicionado de potência menor. Sua eficiência luminosa pode ser superior a 100 lm/W, quando as lâmpadas têm cobertura de pós tricromáticos ou trifósforo (lâmpadas de nova geração), derivados de terras raras.

As lâmpadas fluorescentes compactas eletrônicas, que surgiram para substituir as lâmpadas incandescentes, apresentam uma eficiência média da ordem de 44 a 65 lm/W. Tanto as lâmpadas incandescentes quanto as lâmpadas fluorescentes tem seu uso consagrado na iluminação interna.

Fonte: COSTA, 1998

Figura 25 – Uso da energia na lâmpada fluorescente tubular

A luz produzida pela lâmpada de vapor de mercúrio em alta pressão é da ordem de 15% (ver figura 26). O recobrimento com compostos de fósforo permite

que esta lâmpada seja produzida em várias versões, inclusive para fins internos (no passado era especialmente projetada para iluminação externa).

Fonte: COSTA, 1998

Fig. 26 – Uso da energia na lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão

Entretanto, observa-se que boa parte da energia é utilizada em radiações não visíveis, como ultravioleta, infravermelha e perdas. Este fato é comum nas lâmpadas de alta pressão como na lâmpada de vapor metálico, que é uma lâmpada de vapor de mercúrio cuja correção de cor é feita utilizando-se iodetos metálicos (ver figura 27).

Esta lâmpada tem uma eficiência melhor, em torno de 24% da energia transforma-se em radiação visível. Uma comparação entre as duas permite inferir que a primeira apresenta uma eficiência de 55 lm/W e a última de 70 a 80 lm/W, dependendo do formato do bulbo (ovóide ou tubular).

Fonte: COSTA, 1998

Figura 27 – Uso da energia na lâmpada de vapor metálico

As lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão, que apresentam uma luz dourada, têm eficiência de quase 30% (ver figura 16) emitindo mais de 110 lm/W. Esta lâmpada, utilizada inicialmente somente para iluminação externa, teve desenvolvimento acentuado (devido à perda de parte de sua eficiência luminosa), o que permitiu seu emprego em ambientes internos (lâmpada de sódio branca).

Fonte: COSTA, 1998

Figura 28 – Uso da energia na lâmpada de vapor de sódio de alta pressão

A lâmpada vapor de sódio de baixa pressão (ver figura 29), apresenta uma luz monocromática, onde 36% é transformado em radiação visível, permite que se obtenha uma alta eficiência luminosa (no momento é a maior dentre a família das lâmpadas) de 180 a 200 lm/W. Ela tem aplicação específica, contudo seu uso não pode ser desprezado quando a intenção é a conservação energética.

Fonte: COSTA, 1998

Figura 29 – Uso da energia na lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão

A lâmpada de enxofre foi lançada comercialmente em 1994. Ela produz uma alta intensidade luminosa, que é atingida pela formação de um plasma de enxofre, quando inserido dentro de uma câmara de microondas. Associada com um guia óptico pode ser empregada para a iluminação de grandes ambientes, como é o caso de seu emprego no Museu do Ar e do Espaço da *Smithsonian Institution*, localizado em Washington, DC. Como não se emprega mercúrio em sua produção, este tipo de lâmpada pode ser considerado uma opção “amigável” para o meio ambiente (COSTA, 1998).

Desta forma, em áreas industriais, onde se deseja o menor consumo de energia, uma manutenção menos frequente e maior eficiência luminosa, deve-se

utilizar lâmpadas de descarga de alta pressão e em alguns casos, lâmpadas fluorescentes de nova tecnologia.

4.9 Temperatura de cor correlata

Símbolo: **TCC**

Unidade: kelvin (K)

A cor é um parâmetro fundamental de visão e percepção. A energia eletromagnética radiante fornece um estímulo físico que penetra nos olhos e causa a sensação de cor (IESNA, 2000).

A temperatura de cor correlata é a medida científica do equilíbrio dos comprimentos de onda encontrados em qualquer luz “branca”. Originalmente, o termo é utilizado para descrever a “brancura” da luz da lâmpada incandescente. A temperatura da cor está diretamente relacionada com a temperatura física do filamento nas lâmpadas incandescentes, de forma que a escala de temperatura Kelvin (K) é utilizada para descrever a temperatura da cor (VIANNA & GOLÇALVES, 2001).

Para lâmpadas de descarga, onde nenhum filamento está envolvido, o termo “temperatura de cor correlata” (TCC) é utilizado para indicar que a luz aparece “como se” a descarga estivesse operando em uma dada temperatura da cor. A cromaticidade é expressa em Kelvins (K) ou como coordenadas “x” e “y” no diagrama de cromaticidade da CIE.

O branco do corpo metálico em alto grau de aquecimento, semelhante ao branco da luz do meio-dia, possui uma temperatura de 6500K. A luz amarela, quente, como de uma lâmpada incandescente, está em torno de 2700K. As lâmpadas de aparência fria têm temperatura de cor maior que 5.000K e as de aparência neutra em torno de 4.000K.

É importante mencionar que a cor da luz em nada se remete à potência da lâmpada, não sendo válida a impressão de que quanto mais clara a luz fornecida pela lâmpada, maior será a sua potência (VIANNA & GOLÇALVES, 2001).

A tabela 3 relaciona lâmpadas fluorescentes tubulares com diferentes tonalidades de cor disponíveis no mercado.

Tabela 3 – Dados técnicos de lâmpadas fluorescentes, tais como temperatura de cor e índice de reprodução de cores

	Potência	Fluxo Luminoso	Temp. de cor	Índice de reprodução	Dímetro	Comprimento	Base
LUMILUX® T5 HE – FLUORESCENTE TUBULAR T5 DE ALTA EFICIÊNCIA							
Vida útil: 18.000 horas							
FH 14 W/865 HE	14	1100	6500	80-89	16	549	G5
FH 14 W/840 HE	14	1200	4000	80-89	16	549	G5
FH 14 W/830 HE	14	1200	3000	80-89	16	549	G5
FH 21 W/865 HE	21	1750	6500	80-89	16	849	G5
FH 21 W/840 HE	21	1900	4000	80-89	16	849	G5
FH 21 W/830 HE	21	1900	3000	80-89	16	849	G5
FH 28 W/865 HE	28	2400	6500	80-89	16	1149	G5
FH 28 W/840 HE	28	2600	4000	80-89	16	1149	G5
FH 28 W/830 HE	28	2600	3000	80-89	16	1149	G5
FH 35 W/865 HE	35	3050	6500	80-89	16	1449	G5
FH 35 W/840 HE	35	3300	4000	80-89	16	1449	G5
FH 35 W/830 HE	35	3300	3000	80-89	16	1449	G5
LUMILUX® T5 HE – FLUORESCENTE TUBULAR T5 COLORIDA							
Vida útil: 18.000 horas							
FH 14 W/66 HE	14	1550	verde	-	16	549	G5
FH 14 W/67 HE	14	300	azul	-	16	549	G5
FH 28 W/60 HE	28	2100	vermelho	-	16	1149	G5
FH 28 W/66 HE	28	3500	verde	-	16	1149	G5
FH 28 W/67 HE	28	700	azul	-	16	1149	G5
LUMILUX® T5 HO – FLUORESCENTE TUBULAR T5 DE ELEVADO PACOTE DE LUZ							
Vida útil: 18.000 horas							
FQ 24 W/865 HO	24	1600	6500	80-89	16	549	G5
FQ 24 W/840 HO	24	1750	4000	80-89	16	549	G5
FQ 24 W/830 HO	24	1750	3000	80-89	16	549	G5
FQ 54 W/865 HO	54	4050	6500	80-89	16	1449	G5
FQ 54 W/840 HO	54	4450	4000	80-89	16	1449	G5
FQ 54 W/830 HO	54	4450	3000	80-89	16	1449	G5
FQ 80 W/840 HO	80	6150	4000	80-89	16	1449	G5
FQ 80 W/830 HO	80	6150	3000	80-89	16	1449	G5

Fonte: Catálogo comercial OSRAM, 2006/2007

A temperatura de cor da lâmpada é um parâmetro importante, pois é responsável pela sensação psicológica de quente ou frio. No capítulo 5 “Saúde e segurança” será apresentada qual a temperatura de cor recomendada para áreas de estocagem de acordo com as sensações provocadas nos trabalhadores.

Hoje o projetista de iluminação tem a sua disposição não somente o poder de escolha da cor da fonte de luz, como também uma ampla gama de variações no índice de reprodução de cores produzidas pelas fontes de luz, que podem ter tonalidades de cor idênticas (IESNA, 2000).

4.10 Índice de reprodução de cor

Símbolo: **IRC**

Unidade: adimensional

A cor somente existe na mente do observador; não há instrumento que permita mensurar o que os olhos detectam e sua respectiva tradução da realidade do cérebro (COSTA, 1998).

Um objeto ou uma superfície expostos a diferentes fontes de luminosidade são percebidos visualmente em diferentes tonalidades. Esta variação está relacionada com as diferentes capacidades das lâmpadas de reproduzir distintamente as cores dos objetos. Deste fenômeno assume-se que sem luz não há cor. A capacidade da luz incidente de reproduzir cores levou à adoção do conceito de reprodução de cor numa escala qualitativa de 0 a 100, ou índice de reprodução de cores (IRC).

O IRC é uma tentativa de mensuração da cor avaliada pelo cérebro (COSTA, 1998).

Obviamente, o índice de reprodução de cor possui uma relação direta com a reprodução de cores obtida com a luz natural. A luz artificial, via de regra, deve se aproximar ao máximo das características da luz natural (referência 100), a qual o olho humano está naturalmente adaptado.

A figura 30 mostra a curva espectral de dois tipos de lâmpada.

Fonte: Osram 2006/2007

Figura 30 – (A) Curva espectral de lâmpada fluorescente com boa reprodução de cor, IRC = 85; (B) Curva espectral de lâmpada de sódio de alta pressão com má reprodução de cor, IRC = 23.

5. SAÚDE E SEGURANÇA

Há séculos o ritmo da vida humana é determinado pelos períodos de dia e noite, claro e escuro, que ditam os ciclos de sono e vigília. Desde a revolução industrial, e especialmente após a invenção da luz artificial em 1880, a sociedade vem gradualmente estendendo o período ativo do dia e caminhando em direção a uma sociedade ativa durante 24h. Trabalhos em turnos, incluindo turnos noturnos, já são aplicados há muitos anos nos processos de produção como na indústria de metais, de alimentos, nos hospitais e na mineração.

Atualmente, a globalização das atividades de muitas companhias, com a disponibilidade dos serviços de tecnologia e viagens intercontinentais mais freqüentes, levou a um rápido aumento do número de pessoas trabalhando em horários irregulares. Também devido à grande competitividade de mercado, os trabalhadores devem produzir mais e melhor, independentemente do horário. Em muitos países uma parte substancial da população ativa, de 15 a 25%, trabalha de uma forma ou de outra em turnos, principalmente as que ocupam posições na produção, transporte ou serviços (BELD & BOMMEL, 2001).

Hoje é uma tendência as empresas considerarem o recurso humano seu maior bem e, por razões econômicas e pelo bem estar dos indivíduos, a segurança e a redução de acidentes e do absenteísmo estão ganhando grande atenção.

A mineração teve um papel preponderante na evolução das questões de saúde e segurança no segmento industrial, devido ao fato de trabalhar sempre com situações extremas de conforto ambiental (temperaturas muito altas ou muito baixas, dispersão de poeira, produtos químicos e outros materiais no ar, falta de ventilação, ruído intenso, falta de iluminação natural, entre outros).

Uma definição comum de produtividade é eficiência. Um ambiente interno pobre, com má qualidade ambiental, diminui a produtividade organizacional, tanto reduzindo o valor dos resultados quanto aumentando o valor dos investimentos.

Algumas pesquisas têm sido realizadas, a maioria certamente com motivação econômica, já que edifícios custam muito menos que empregados (VEITCH, 2006), e os pesquisadores estão começando a entender como o ambiente iluminado

influencia os processos e estados mentais que determinam o desempenho no trabalho, a satisfação pessoal e outros importantes resultados.

Na figura 31 pode-se ver alguns dos fatores que influenciam a produtividade na indústria.

AMBIENTE DE TRABALHO

Fonte: BELD & BOMMEL, 2001

Figura 31 – Fatores de iluminação relacionados à atividade industrial

Segundo WOODS (1989) as faltas no trabalho e o baixo desempenho custam muito mais às companhias do que um investimento na melhora das condições ambientais internas.

5.1 – Higiene do trabalho

O sistema sensorial, da retina ao córtex visual, é o primeiro passo em uma sequência de complexos processos que levam à percepção dos objetos, cores, profundidade, movimento e outras características.

A iluminação tem poucos efeitos diretos no processo de percepção, mas influencia na maneira como a imagem visual pode interagir para produzir ilusões visuais.

Por exemplo, a percepção de profundidade em escadas requer um contorno de contraste tanto de cor como de sombra. Algumas ilusões visuais causadas pela iluminação podem ser perigosas se obscurecerem detalhes importantes, tais como a profundidade de uma escada ou o movimento de uma máquina (efeito estroboscópico) (KAISER, 2004).

Pesquisas sobre quantidade e qualidade da iluminação nas últimas décadas mostraram que a melhora na qualidade da iluminação de um nível baixo para um nível moderado aumenta a velocidade e a acuidade com que objetos podem ser detectados e reconhecidos (IESNA, 2000). O desempenho visual de uma pessoa depende da qualidade da iluminação e da sua própria “habilidade visual”. Neste caso, a idade é um critério importante. Quanto maior a idade, maior a quantidade de luz necessária.

A Figura 32 mostra a quantidade de luz necessária para se ler um livro bem impresso em relação à idade do indivíduo. Se compararmos uma pessoa de 10 anos de idade com uma outra de 60 anos, a iluminação requerida no segundo caso será 15 vezes maior do que no primeiro para que se possa executar bem a mesma “tarefa”. Este efeito se torna mais e mais importante quando se leva em consideração que a força de trabalho está envelhecendo.

Fonte: Fortuin, 1951

Figura 32 – Relação entre idade e quantidade de luz requerida para se ler uma página bem impressa.

Já a figura 33 serve como uma ilustração do resultado de várias pesquisas compiladas pela CIE a respeito da influência da qualidade da luz no desempenho visual. Ela demonstra o desempenho atingido, de acordo com o nível de iluminação, para diferentes tipos de tarefas e diferentes dificuldades.

Fonte: CIE, 1986

Figura 33 – Relação entre o desempenho visual (%) e o nível de iluminação (lx) para uma tarefa visual moderada (esquerda) e uma tarefa visual difícil (direita) – a linha contínua representa os jovens e a linha tracejada representa pessoas mais idosas.

O primeiro gráfico mostra o desempenho em uma tarefa visualmente moderada (por exemplo, trabalho geral com maquinário) e outro para uma tarefa visualmente difícil (por exemplo, trabalho de montagem fina ou inspeção de cores). Para todas as tarefas, um claro incremento no desempenho visual é atingido se a qualidade da luz, neste exemplo o nível de iluminância, é aumentada.

Também se mostra evidente que o efeito da idade no desempenho visual é muito importante. Para um mesmo nível de desempenho visual, a qualidade da iluminação deve ser muito maior para trabalhadores com mais idade. No entanto, para tarefas visualmente difíceis, a iluminação pode não compensar completamente o efeito de deterioração da visão ao longo dos anos.

Dada a média crescente de idade na força de trabalho nos próximos anos (20% de aumento no grupo de idade de 50-65 anos nos próximos 15 anos na Europa), podemos inferir que, sem mudanças no nível de iluminação, o desempenho dos trabalhadores provavelmente diminuirá (BELD & BOMMEL, 2001).

Uma melhora no rendimento da visão gera uma melhora de rendimento da tarefa e/ou do desempenho no trabalho. A melhora é refletida em uma maior produção e em um menor número de erros. Certamente que uma tarefa onde o componente visual é importante se beneficiará mais do que uma tarefa em que o componente visual é menos importante.

Como exemplo, pode-se observar a tabela 4, que resume diferentes tarefas industriais, o aumento do desempenho e a redução de peça/produção rejeitada devido à melhora na qualidade de iluminação.

Tabela 04 – Aumento de desempenho na tarefa e redução do número de rejeições como resultado da melhora da iluminação.

Tipo de trabalho	Nível de iluminação (lx)		Aumento no desempenho da tarefa (%)	Redução no número de rejeições (%)
	Antes	Depois		
Montagem de câmera	370	1000	7	
Costura em couro	350	1000	8	18
Sala de componentes	100	1000	30	
Trabalho de montagem fina	500	1500	28	29
Indústria metalúrgica	300	2000	16	20
Tarefas visuais difíceis na indústria metalúrgica	500	1600 - 2500	10	N.D
Montagem de miniaturas	500 - 1000	4000	N.D	N.D
Tecelagem	250	1000	7	N.D

N.D. = não disponível

Fonte: LANGE, 1999

As figuras 34 e 35 resumem a tendência geral de melhoria no desempenho da tarefa e na redução de erros devido ao aumento da iluminação.

Fonte: Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2007

Figura 34 - Aumento relativo no desempenho, que pode ser esperado após a melhoria da iluminação, para uma tarefa visual simples (linha tracejada) ou difícil (linha contínua)

Figura 35 – Redução de erros relativa, resultante da melhoria na iluminação, para uma tarefa visual simples (linha tracejada) ou difícil (linha contínua)

Acidentes são sempre uma preocupação no ambiente industrial. Os danos físicos e o sofrimento mental resultantes são às vezes responsáveis por perdas consideráveis na produção.

Existem evidências claras que muitos tipos de acidentes industriais podem ser evitados ao se promover uma condição melhor de visibilidade. Em uma simulação de acidente na Alemanha, feita em uma maquete representando um depósito em tamanho real, foi demonstrado que, com níveis maiores de iluminação, condições perigosas eram melhor reconhecidas (VOLKER, 1999 *apud* BELD & BOMMEL, 2001).

O risco de acidentes também é reduzido quando existe aviso de situações potencialmente perigosas e quando o humor, o estado de alerta e a saúde do trabalhador industrial são melhores devido a iluminação de boa qualidade. Este efeito pode ser importante, pois um considerável número de acidentes é causado por um baixo grau de concentração e um alto grau de fadiga do trabalhador. Sem dúvida alguma, a diminuição do número de acidentes depende do tipo de indústria envolvida e da situação ambiental que prevalece.

A tabela 05 mostra a redução de acidentes para duas tarefas industriais.

Tabela 05 – Redução de acidentes devido à melhoria no nível de iluminação

Tipo de trabalho	Nível de Iluminação (lx)		Redução de Acidentes (%)
	Antes	Depois	
Indústria Metalúrgica	300	2000	52
Tarefa visualmente difícil na indústria metalúrgica	500	1600-2500	50

Fonte: LANGE, 1999

Outro estudo (figura 36) demonstra o número de acidentes no local de trabalho, em função do nível de iluminação, para diferentes tipos de lesões. Aqui também é claro que a redução do número de acidentes é decorrente da melhora da qualidade da iluminação.

Fonte: Völker, Rüschemschmidt and Gall, 1995

Figura 36 – Número e tipos de acidentes para diferentes atividades industriais em função do nível de iluminação (no total foram investigados 347 acidentes).

Na figura 37 todos os dados referentes aos acidentes analisados neste mesmo estudo foram combinados. Pode-se verificar que ambientes de trabalho com níveis de iluminação entre 50 e 250 lx são relacionados com um número relativamente mais alto de acidentes.

Fonte: Völker, Rüschemschmidt and Gall, 1995

Figura 37 – Número de acidentes em função do nível de iluminação.

É importante notar, no entanto, que não somente o nível de iluminação tem papel importante na prevenção de acidentes, mas também todos os outros aspectos que uma iluminação de boa qualidade fornece.

Para ilustrar, uma iluminação não uniforme pode criar problemas de adaptação e atrapalhar uma visibilidade adequada. Brilho excessivo também pode gerar severos problemas de adaptação, com todas as suas conseqüências negativas (ofuscamento, dores de cabeça, entre outras). Efeitos estroboscópicos podem levar a situações perigosas em locais onde existem máquinas trabalhando e não se pode notar o movimento de certas partes destas máquinas (vale lembrar que os sistemas de iluminação eletrônicos de alta frequência eliminam este efeito indesejável). E também uma iluminação que pode levar ao mau reconhecimento das cores pode causar situações perigosas.

A iluminação influencia não só o desempenho visual, mas também o ambiente de trabalho. O local de trabalho, se bem projetado, pode ter um efeito estimulante nas pessoas que lá trabalham (CLEMENTS-CROOME, 1998).

A iluminação pode tanto ter um efeito benéfico, enfatizando os elementos positivos de um ambiente, quanto deletério, por exemplo, causando ofuscamento e reproduzindo muito mal ou distorcendo cores.

Uma luz não uniforme, com mudanças abruptas na iluminância ao redor da área da tarefa, pode levar ao estresse visual e ao desconforto. Isto tem a ver com as propriedades adaptativas do olho. Uma luz geral com uniformidade suficiente irá gerar níveis suficientemente altos de iluminação para dar uma liberdade total na localização das máquinas e dos postos de trabalho.

Ofuscamento é a sensação produzida pelo brilho excessivo no campo visual, quando este é muito maior que o brilho ao qual os olhos estão adaptados. Isto pode levar a uma redução do desempenho visual e causar desconforto. Muito ofuscamento pode chegar a gerar dores de cabeça e tensão nos olhos. Isto também pode ocorrer se houver diferenças excessivas de iluminação entre as diversas superfícies no interior do ambiente. Então, é muito importante limitar o ofuscamento para evitar erros, fadiga e acidentes.

Um objeto colorido é percebido pelo fato de refletir somente parte da luz incidente. O índice de reprodução de cores de uma fonte de luz é uma indicação de

qualidade de iluminação. Ele varia de 0 a 100 e lâmpadas com IRC menor do que 80 geram resultados inaceitáveis em interiores onde as pessoas vivem e trabalham. A reprodução apropriada das cores da pele humana é especialmente importante, pois uma iluminação que faz com que as pessoas pareçam pálidas e doentes geralmente leva a reclamações (BELD & BOMMEL, 2001).

No entanto, na prática, em 80% das instalações industriais ainda existem muitas fontes de luz onde o IRC é muito inferior a 80. A razão usual é que o custo inicial é menor para lâmpadas de menor qualidade. Contudo, é preciso notar que se o custo total da instalação for considerado, incluindo os custos com gasto de energia, lâmpadas mais modernas com bom índice de reprodução de cor são mais econômicas.

5.2 – Riscos e problemas causados pelos sistemas de iluminação atuais

No começo dos anos 90, com a atenção dos pesquisadores voltada para a “Síndrome dos edifícios doentes”, as reclamações dos trabalhadores eram em relação ao ar seco, à qualidade do ar, temperaturas muito altas ou muito baixas, dores de cabeça, nariz e olhos irritados. Em uma pesquisa realizada na Holanda em 61 edifícios, metade das pessoas reclamou da qualidade do ar e 25% reclamou a respeito da saúde e bem-estar, mas 30% também reclamaram das condições de iluminação (LEIJTEN 2000 *apud* BELD & BOMMEL, 2001).

Atualmente, os sistemas de iluminação fluorescentes dominam os ambientes de trabalho por causa de sua alta eficiência energética. Este tipo de sistema é bastante complexo e inclui uma série de equipamentos como a lâmpada, a luminária, o sistema óptico (geralmente lentes ou grelhas) e o reator (que cria as condições necessárias para operar o sistema – voltagem, corrente e a forma da onda), para iniciar e manter a lâmpada em operação. Os reatores, quando operados em corrente alternada (AC), fazem o sistema de iluminação fluorescente aumentar e diminuir em 100%, com o grau de modulação dependendo da lâmpada e do tipo de reator (WILKINS & CLARK, 1990). O que acontece é que reatores convencionais usam um núcleo magnético, que resulta em uma oscilação de duas vezes a taxa de energia elétrica AC (60 Hz no Brasil, totalizando 120 Hz). A maioria das pessoas não percebe esta modulação como um efeito estroboscópico, mas há evidência de

atividade neural em resposta a modulações com taxas maiores do que 147 Hz (BERMAN et al. 1991), interferindo no processo visual, interrompendo os movimentos dos olhos na leitura, causando fadiga visual e atrapalhando o desempenho visual (KULLER & LAIKE, 1998).

Para corrigir isto surgiram os reatores eletrônicos de alta frequência, eficientes energeticamente, que usam um circuito eletrônico integrado para operar as lâmpadas em taxas entre 20.000 e 60.000 Hz, aliviando o problema, pois estas taxas excedem a capacidade fisiológica humana, funcionalmente produzindo luz constante (VEITCH, 2006).

O ofuscamento gerado por estes sistemas também é freqüente. O grau de restrição de ofuscamento obtido depende muito da qualidade óptica das luminárias usadas em combinação com o tipo de lâmpada. Lâmpadas fluorescentes têm, graças as suas grandes dimensões, luminâncias mais baixas que lâmpadas de gás de alta pressão (mercúrio, sódio e vapores metálicos), sendo mais fácil limitar seu ofuscamento por meio de grelhas, lentes e forma do corpo da luminária.

5.3 – Efeitos da iluminação na saúde

Nos tempos remotos o benefício do efeito da luz do sol (luz do dia) era bastante conhecido e usado, por exemplo, em helioterapia. Esta terapia da luz para resolver problemas de saúde era popular até 1930, quando foi inventada a penicilina. A importância da luz em relação à saúde e ao bem-estar, contudo, reapareceu nos últimos 20 a 30 anos por várias descobertas das pesquisas biológica e médica (BELD & BOMMEL, 2001).

Normalmente se pensava no olho somente como um órgão para a visão, mas após a descoberta do nervo que faz a conexão entre o olho e o cérebro, descobriu-se que a luz ocular também mede e controla um grande número de processos fisiológicos e psicológicos nos seres humanos. As descobertas mais importantes dos efeitos da luz ocular estão relacionadas ao controle do relógio biológico, a efeitos estimulantes diretos e à influência no humor (BELD & BOMMEL, 2001).

A luz percebida pelo olho manda, via um sistema separado de nervos, sinais para o relógio biológico localizado no cérebro, que regula os ritmos circadianos

(diário) e circanuais (estações), que estão relacionados a uma série de processos do corpo humano (SCHEER *et al*, 1999).

Sem luz, o relógio interno estaria contando livremente em um período de 24h e 15 min e, conseqüentemente, o relógio interno se desviaria dia após dia e mais e mais do horário ambiente (CZEISLER, 1999). O resultado seria a sensação de sintomas similares ao cansaço gerado por uma viagem de avião entre algumas zonas de horários (BOULUS, 1995).

A figura 38 mostra o efeito do ritmo circadiano no corpo humano.

Fonte: CZEISLER, 1999; BOULUS, 1995

Figura 38 – ciclo duplo (2 x 24h) dos ritmos circadianos típicos de temperatura do corpo, melatonina, cortisol e nível de alerta em um dia normal com ciclo claro/escuro.

Os hormônios cortisol e melatonina têm um papel importante nos níveis de alerta e sonolência. Os níveis de cortisol aumentam na parte da manhã e preparam o corpo e a mente para um novo dia de atividades. Ao mesmo tempo o nível de melatonina cai, reduzindo a sonolência.

A iluminação tem a capacidade de suprimir diretamente a melatonina, isto é, a luz durante a noite diminui os níveis de melatonina em meia hora; da mesma forma, a luz da manhã ajuda a reduzir os níveis de melatonina e acordar o indivíduo.

Portanto, a dose correta de luz do dia no horário correto é muito importante para manter em sincronia os relógios interno e externo, principalmente porque o relógio interno regula os ritmos circadianos que são extremamente relevantes nas atividades diárias, tais como nível de alerta, sonolência, fadiga, humor e desempenho (U.S. CONGRESS, 1991; COLQUHOUN, 1996).

Algumas descobertas recentes também sugerem que a luz tem um efeito direto na taxa de batimentos cardíacos e no nível de insulina (UEYAMA, 1999;

SCHEER, 1999). Fundamentalmente, estas descobertas recentes mostram um número crescente de caminhos neurais do olho para diversas glândulas do corpo, direta ou indiretamente. Também foi demonstrado que a terapia da luz é útil no tratamento de vários tipos de disfunções do sono e da doença de Alzheimer, entre outras aplicações que estão sendo estudadas, como no tratamento de mal de Parkinson, bulimia, anorexia e doenças do sistema imunológico (LAM, 1998; VAN SOMEREN, 1997).

O humor é o reflexo do estado sentimental das pessoas, fisicamente se estão se sentindo bem ou mal, e mentalmente se estão em estado de maior ou menor alerta (MEHRABIAN, 1974). Outros fatores que influenciam o humor são, por exemplo, o tempo, as estações do ano e, no caso do trabalho, as condições visuais e o ambiente (BELD & BOMMEL, 2001).

No campo industrial o estado de alerta é de extrema importância, já que não é um fator que influencia somente o humor, mas também o desempenho, evitando acidentes. Considerando a importância dos níveis de alerta, não é estranho que muitas pesquisas a este respeito tenham sido feitas, principalmente estudando tais níveis nos turnos noturnos, onde os efeitos são maiores. A figura 39 mostra os efeitos de dois regimes de iluminação no estado de alerta em função do tempo de trabalho para operários em regime de turnos.

Fonte: BOYCE *et al*, 1997

Figura 39 – Humor expresso como nível de atenção para níveis de iluminação uniformes de 250 lx e 2800 lx em função do número de horas trabalhadas para operários do turno da noite.

Outros estudos mostram que o uso de um nível maior de iluminação coopera com a fadiga e faz com que as pessoas fiquem por um tempo maior em alerta (DAURAT, 1993), o que significa que a luz clara tem influência no sistema nervoso central (KULLER, 1993), como mostra a figura 40.

Fonte: KULLER, 1993

Figura 40 – Atividade EEG (padrão básico de onda cerebral) de trabalhadores de escritórios sob níveis de iluminação de 450 lx e 1700 lx.

Os níveis de reclamação de estresse também foram estudados em pessoas que trabalham em áreas internas, com iluminação artificial somente, em comparação com pessoas que trabalhavam em locais com uma combinação de iluminação natural e artificial. Com a iluminação artificial somente (sempre com o mesmo nível) dificilmente houve alguma diferença no nível de reclamação de estresse em relação ao inverno e ao verão. Contudo, no grupo que havia a iluminação natural combinada, o nível de reclamações no verão foi relativamente menor que no inverno, como pode ser visto na figura 41.

Fonte: KERKHOF, 1999 *apud* BELD & BOMMEL, 2001

Figura 41 – Nível de estresse em grupo de trabalhadores atuando com luz artificial ou com uma combinação de luz natural e artificial.

Pode-se assumir que a grande quantidade de luz do dia no verão contribui para um número reduzido de reclamações de estresse. Luz clara no inverno, como demonstrado acima, pode muito provavelmente compensar a diferença.

Assim como uma iluminação de boa qualidade tem efeitos positivos na saúde, no bem-estar e no desempenho, deve-se enfatizar que uma iluminação precária pode gerar efeitos negativos, mesmo quando as pessoas não reclamam da qualidade da luz (PADMOS, 1991 *apud* BELD & BOMMEL, 2001).

5.4 Efeitos práticos

Segundo alguns autores, premissas simples e diretas de que com determinado projeto de iluminação é possível aumentar a produtividade em determinada porcentagem não são possíveis (VEITCH, 2006). Contudo, entendendo-se os processos psicológicos e organizacionais que influenciam os empregados em seu ambiente de trabalho, pode-se desenvolver recomendações para um projeto de iluminação adequado, que atenda as necessidades do espaço de trabalho (VEITCH *et al*, 2003).

Embora os principais efeitos da qualidade de luz no desempenho de qualquer tarefa não sejam simples, alterações de desempenho associadas com a visibilidade da

tarefa, prática e fadiga foram encontradas (BOYCE, 2006). As interações entre a qualidade de luz e o tempo sugeriram que ter certo grau de controle individual da luz tende a manter a motivação e a vigilância ao longo do dia.

Outros autores, como BELD & BOMMEL (2001), sugerem que, aumentando o nível mínimo requerido de iluminação de 300 lx para 500 lx, leva-se a um aumento na produtividade de 10 a 25%, valores baseados em suposições conservadoras, ou de 10 a 45% em valores realistas, mas certamente mais do que 10%.

6. NORMAS

Existem diversos órgãos nacionais e internacionais que ditam regras e padrões a serem utilizados em projetos de iluminação.

Na parte internacional, a principal organização para o estudo da iluminação é a Comissão Internacional de Iluminação (CIE - *Comission International de l'Eclairage*), sediada em Viena - Áustria, criada em 1913 com o intuito de cooperação e intercâmbio de informações entre seus países membros em questões relacionadas à ciência da luz e do estudo dos grandes problemas técnicos e científicos da iluminação. Atualmente ela é representada por 38 países que indicam especialistas para colaborar na elaboração de normas, relatórios técnicos e recomendações científicas. As recomendações de aplicação da iluminação em diversos países têm origem na CIE. A Divisão CIE do Brasil é representada pelo INMETRO - Diretoria de Metrologia Científica e Industrial (DIMCI) e Divisão de Metrologia Óptica (DIOPT).

A CIE também tem acordos de cooperação técnica com outras três entidades internacionais:

- ✓ a *International Standardization Organization* (ISO - Organização Internacional para Padronização) – organização não-governamental fundada em 1947, composta atualmente por 158 membros, cada um representando um país diferente, que produz padrões comerciais e industriais mundiais, que costumam ser adotados como leis em diversos países, uma vez que a organização age como um consórcio com fortes laços com os governos. A ISO tem laços estreitos de cooperação com o IEC;
- ✓ a *IEC* (*International Electrotechnical Commission* – Comissão Internacional de Eletrotécnica), fundada em 1906 é responsável pela padronização de equipamentos elétricos (desenvolve alguns padrões em comissões conjuntas com a ISO). É ela quem edita as normas para os produtos.
- ✓ *European Committee for Standardization* (CEN – Comitê Europeu de Regulamentação), fundado em 1961 e do qual fazem parte 30 países da

Comunidade Européia. Ele tem o intuito de desenvolver padrões europeus voluntários (ENs). A CEN trabalha com as normas e padrões do CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization* - fundado em 1973) na área de engenharia elétrica. Embora muito próximo da Comunidade Européia, uma vez que seus 30 membros participam da CE, o CENELEC não é uma organização da Comunidade Européia.

Além desta associação (CIE) de caráter internacional, cada país possui a sua própria sociedade dedicada a recomendações e regulamentações. Por exemplo, nos Estados Unidos ela é a IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*) e na Inglaterra é a BIES (*British Illuminating Engineering Society*). Ambas sociedades fazem recomendações que podem ou não ser seguidas; na maioria dos casos elas são seguidas e acabam por se parecer regulamentos. Em alguns casos os governos podem adotar estas recomendações como oficiais, porém em si não o são. Na Comunidade Européia os países adotam como base a CEN, às vezes com adaptações próprias.

No Brasil existem duas associações que atuam como representantes na área da iluminação: a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – que é responsável pela edição das normas regulamentadoras brasileiras (e representante brasileira na ISO), e a ABILUX – Associação Brasileira das Indústrias de Iluminação - que, como diz o nome, congrega os fabricantes de materiais e produtos para iluminação. A ABILUX é apenas uma associação que entre outras atividades facilita e participa da geração de normas técnicas (base IEC) que depois serão publicadas pela ABNT e recomendações de aplicação (base CIE) que provavelmente serão publicadas em convênio com a CIE – Brasil.

Em geral, as normas de iluminação estão ligadas aos produtos executados pelos fabricantes, uma vez que são eles que fornecem as características fotométricas de seus modelos e demais dados de seus equipamentos – necessariamente em conjunto com o laudo de conformidade, elaborado por laboratório idôneo. Usualmente estas informações são a principal base de dados considerada nos projetos luminotécnicos.

COSTA (1998) afirma que grande parte do resultado quantitativo e qualitativo do projeto baseia-se nos dados das empresas, o que torna inconveniente a utilização de um projeto de iluminação com o conceito de material “similar”.

6.1 Regulamentação no Brasil

Nos parágrafos seguintes serão descritos trechos de normas e regulamentações nas partes que concernem ao projeto de iluminação para áreas de galpões e depósitos. As normas de iluminação não serão comentadas integralmente.

6.1.1 Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBRs)

No Brasil existem três normas NBR que relacionam diretamente com o projeto de iluminação:

- ✓ A norma **NBR 5461/1991** – Iluminação (terminologia) – que define termos técnicos empregados para fenômenos produzidos ou associados às radiações eletromagnéticas, visão de objetos e cenas iluminadas, fotometria e colorimetria, produção e utilização prática da luz, e ótica energética. É uma norma que visa somente esclarecer a terminologia utilizada nas normas subseqüentes.
- ✓ **NBR 5413/1992** - Iluminação de interiores – é uma norma generalista, que estipula níveis mínimos, médios e máximos de iluminância para uma lista bastante abrangente de ambientes, subdivididos em diversas áreas (com diferentes tipos de uso), de acordo com a tarefa a ser executada. Os níveis de iluminância estão expressos em lux.

Para áreas de depósitos e áreas correlatas, os níveis de iluminância adequados segundo esta norma são (ver tabela 6):

- item 5.3.67 indústrias siderúrgicas: determina uma iluminância média de 150 lx para depósitos de matérias-primas e 200 lx para áreas de carregamento e depósito de refugo;
- item 5.3.74 tratamento de carvão: os níveis médios são 200 lx para trituração, peneiramento e lavagem e 300 lx para classificação (correia transportadora);

- item 5.4.39 indústrias de cimentos: é recomendada uma iluminância média de 150 lx para locais de moagem, fornos e ensacamento.

Portanto, dependendo do tipo de ambiente e da tarefa a ser executada, há uma variação do nível de iluminação exigido.

Tabela 6 – Iluminâncias mínimas, médias e máximas de acordo com a tarefa a ser executada.

5.3.35	Indústrias de borrachas	mínimo	médio	máximo
	Processamento de matérias-primas:			
	trituração, vulcanização	100	150	200
	calandragem	150	200	300
5.3.39	Indústrias de cimentos			
	moagem, fornos	100	150	200
	ensacamento	100	150	200
	escalas, painéis, instrumentos	300	500	750
5.3.67	Siderúrgicas			
	depósito de matérias-primas	100	150	200
	áreas de carregamento	150	200	300
5.3.74	Tratamento de carvão			
	trituração, peneiramento, lavagem	150	200	300
	classificação (correia transportadora)	200	300	500

Fonte: ABNT, NBR 5413

Após a execução do projeto, os níveis de iluminação devem ser medidos conforme metodologia descrita na **NBR 5382/1985** - Verificação de Iluminância de Interiores. Para efeito legal a avaliação da iluminação deve ser feita através de medições de iluminância (expressa em lux) com um aparelho chamado luxímetro. São escolhidos alguns pontos, preferencialmente na superfície de trabalho onde é executada a tarefa, os valores são lidos neste aparelho e comparados com os valores mínimos e máximos estabelecidos na norma NBR 5413.

Para iluminação de emergência, a norma regulamentada é a NBR 10898/99, que trata sobre os procedimentos adequados a serem adotados em caso de falta de energia, e não será detalhada neste trabalho por ser uma iluminação transitória.

A norma de Iluminação de interiores (NBR 5413, 1992) é antiga e será revisada com base nas considerações da CIE¹. A norma de medição de níveis de iluminação também deve ser revisada em função dos novos conceitos onde o nível de iluminação é medido na superfície da tarefa visual e não mais uniformemente em toda uma área, uma vez que não tem sentido iluminar, por exemplo, um corredor de passagem da mesma forma que uma superfície de trabalho.

6.1.2 Ministério do trabalho

O Ministério do Trabalho aborda os assuntos relativos à saúde e segurança no trabalho de acordo com a lei 5.452 de 1º de maio de 1943 (conhecida como CLT - Consolidação das Leis do Trabalho) e a portaria 3.214/78, definida pelo texto das 29 Normas Regulamentadoras (NRs).

No capítulo V da CLT, relativo à Segurança e Medicina do Trabalho, seção VII, artigo 175, está determinado que: “em todos os locais de trabalho deverá haver iluminação adequada, natural ou artificial, apropriada à natureza da atividade”; e continua no parágrafo 1º dizendo que: “a iluminação deverá ser uniformemente distribuída, geral e difusa, a fim de evitar ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos” sem, no entanto, considerar o tipo de tarefa a ser realizada no ambiente.

Este parágrafo pode vir a ser interpretado de forma inadequada resultando, por exemplo, em uma iluminação de 1.000 lx para um escritório de desenhistas, em um ambiente onde haja somente um desenhista e as demais pessoas executem outras tarefas, incomodando-as, uma vez que não necessitam de tamanha iluminação.

No parágrafo 2º do mesmo artigo está posto: “o Ministério do Trabalho estabelecerá os níveis mínimos de iluminação a serem observados”.

Como complemento do que diz a CLT, a Norma Regulamentadora nº 17 “Ergonomia” item 17.5.3 - Portaria de nº 3751 de 23 de novembro de 1990 - determina que sejam obedecidos os níveis mínimos mencionados na NBR 5413. A mesma norma regulamentadora estabelece que a medição da iluminância deva ser feita no campo de trabalho onde se realiza a tarefa visual, utilizando-se para tanto de

---

¹ ROIZENBLATT, I. Considerações sobre a norma de iluminação de interiores [mensagem pessoal]. 25 de maio de 2007.

um luxímetro com fotocélula corrigido para a sensibilidade do olho humano e em função do ângulo de incidência. Também estabelece que quando não puder ser definido o campo de trabalho, este será um plano horizontal a 0,75m do piso.

Valores superiores ao mínimo de iluminação estabelecida em norma podem ser considerados, desde que sejam evitadas iluminâncias excessivas, que também são prejudiciais à visão.

6.1.3 Indústria da mineração e o DNPM

Quanto a normas específicas para a indústria da mineração no Brasil, existem a NR-22 - Segurança e saúde ocupacional na mineração (atualizada pela portaria nº 63 de 2 de dezembro de 2003) do Ministério do Trabalho e a NRM-11 (Normas Reguladoras de Mineração), editada pelo DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) portaria nº 237, de 18 de outubro de 2001.

O texto do item 22.27 da NR-22 é idêntico ao texto da NRM -11.

A NRM-11 trata especificamente do assunto iluminação e em seu item inicial 11.1. determina que “os locais de trabalho, circulação e transporte de pessoas devem dispor de sistemas de iluminação natural ou artificial, adequados às atividades desenvolvidas”.

Para o caso de minas subterrâneas a mesma norma cita os níveis mínimos de iluminação exigidos. No entanto, para instalações na superfície, apenas menciona que: “as instalações de superfície que dependam de iluminação artificial, cuja falha possa colocar em risco acentuado a segurança das pessoas, devem ser providas de iluminação de emergência”, não mencionando níveis mínimos para estas instalações sob condições normais de trabalho. No item 11.4 esclarece que “a iluminação dos depósitos de explosivos e acessórios, quando necessária, somente pode ser externa”. Estes depósitos não serão tratados neste trabalho; somente serão abordados os depósitos específicos para armazenagem de minério já extraído e que aguarda a remoção para sua utilização final ou seu processamento.

A NRM-11 ainda cita no item 11.8: “no caso de trabalhos em minérios com alto índice de refletância deverão ser tomadas medidas especiais de proteção da visão”, mas sem especificar equipamentos ou recomendar alguma prática específica.

6.1.4 Código de Defesa do Consumidor

O Código de Defesa do Consumidor – Lei 8.078 de 11 de setembro de 1990 – trata indiretamente das questões relativas ao projeto de iluminação, não quanto a recomendações técnicas, mas ao estabelecer deveres ao projetista. No artigo 8, ele menciona que “produtos e serviços colocados no mercado de consumo não devem acarretar riscos à saúde ou segurança dos consumidores, exceto os considerados normais e previsíveis em decorrência de sua natureza de fruição, obrigando-se os fornecedores, em qualquer hipótese, a dar as informações necessárias e adequadas ao seu respeito”.

Dessa forma, entende-se que o projetista, consultor ou instalador deva esclarecer de forma inequívoca sobre o sistema de iluminação projetado, advertindo-o sobre o uso incorreto do produto, como por exemplo, a substituição de lâmpadas diferentes das especificadas no sistema.

No artigo 14 o mesmo código relata: “o fornecedor de serviços responde, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos relativos à prestação de serviços, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre sua fruição e riscos”. Ou seja, deve-se empregar materiais de qualidade, cujos dados fornecidos pelo fabricante possam corroborar na sua defesa. No artigo 23 é informado que “a ignorância do fornecedor sobre os vícios de qualidade por inadequação dos produtos e serviços não exime a responsabilidade do fornecimento”. Desta maneira, não se pode alegar desconhecimento de um determinado produto especificado, obrigando o projetista a ter em mãos na hora do desenvolvimento do projeto os laudos laboratoriais, os certificados de conformidade e os certificados de qualidade dos produtos atualizados.

6.1.5 Certificação da qualidade

No Brasil ainda existe a família de normas NBR ISO 9000, conhecida popularmente como ISO 9000. É uma norma de gestão e garantia da qualidade, aplicada a todas as atividades relativas à qualidade de um produto ou serviço. No caso da iluminação, esta qualidade só poderá ser obtida se também for empregado um sistema elétrico compatível com o sistema de iluminação projetado, sob pena de comprometer o sistema luminotécnico como um todo (COSTA, 1998). Para a

especificação correta do sistema elétrico existe a regulamentação da NBR 5410 - Execução de instalações elétricas de baixa tensão.

De toda forma, não há uma recomendação específica para o cálculo de projetos de iluminação no Brasil, seja em recinto fechado ou aberto.

Pode-se dizer que os métodos empregados para o cálculo de iluminação feitos por universidades e escritórios de projeto nacionais são normalmente adequados, pois geralmente seguem as recomendações e bibliografias internacionais, cujos sistemas de iluminação são mais avançados.

Segundo COSTA (1998), as bases teóricas são as mesmas, variando somente quanto ao enfoque aplicativo.

6.2 Normas Internacionais

As normas regulamentadoras internacionais para produtos e sistemas de iluminação seguem o *IEC*, no caso dos países europeus, Brasil e a maioria dos outros países, e os Estados Unidos seguem a *ANSI*.

No caso de normas para aplicação da iluminação existem as recomendações da *IESNA*, que são seguidas pelos americanos e as da *CIE*, seguidas pelos europeus e também pelo Brasil.

As *CEN* seguem a *IEC*, com eventuais modificações em alguns dos países membros. Estas recomendações estão hoje sendo modificadas em virtude das legislações de eficiência energética que estão entrando em vigor ou vão passar a vigorar a partir dos próximos anos na Europa e nos EUA. Como exemplo, podemos citar o estado da Califórnia nos EUA, que sempre está à frente em conservação de energia, devido aos muitos problemas que já enfrenta por uma demanda altíssima de energia, o que acaba afetando as aplicações de iluminação.

As normas NBR citadas, que usamos oficialmente no Brasil, seguem a *IEC* e a *CIE*.

6.2.1 Recomendações e normas americanas

Nos Estados Unidos não existem normas regulamentadoras e sim as recomendações da *IESNA*, que devem ser adotadas nos projetos de iluminação em geral. A *IESNA* é a autoridade técnica em iluminação reconhecida nos EUA. Em

alguns casos, publica recomendações junto com o *ANSI* (*American National Standards Institute* – Instituto Nacional Americano para Normatização), como o documento “ANSI/IESNA RP-7-01 - *Lighting Industrial Facilities ANSI approved* (Iluminação de instalações industriais), o qual trata de critérios quantitativos e qualitativos que a iluminação deve proporcionar em ambientes industriais.

Na 9ª edição do *Handbook* da *IESNA* (2000) também é possível encontrar recomendações qualitativas e quantitativas para uma série de ambientes internos, dentre eles áreas industriais, enfatizando a alta qualidade do ambiente visual. A figura 42 mostra os três componentes que devem ser considerados para um bom projeto de iluminação.

Fonte: IESNA, 2000

Figura 42: Qualidade da iluminação: integração das necessidades humanas, da arquitetura, da economia e do meio-ambiente.

A IESNA não tem mais uma tabela com uma lista de ambientes e tarefas específicas. Na última edição o módulo de cálculo foi revisto, simplificado, e agora considera mais o julgamento e percepção do projetista para definir o nível adequado de iluminância para a área a ser iluminada, já que as condições típicas podem não ser apropriadas para uma aplicação específica. Na figura 43 pode-se ver a nova tabela proposta.

<i>Tarefas visuais comuns.</i> O desempenho visual é importante. Estas tarefas são encontradas em aplicações comerciais, industriais e residenciais. Os níveis de iluminância recomendados diferem em razão das características visuais da tarefa a ser iluminada. Níveis mais altos são recomendados para tarefas visuais com elementos críticos de baixo contraste ou tamanhos pequenos.		
D	Desempenho de tarefas visuais de alto contraste e tamanho grande	300 lx (30fc)
E	Desempenho de tarefas visuais de alto contraste e tamanho pequeno, ou tarefas visuais de baixo contraste e tamanho grande.	500 lx (50 fc)
F	Desempenho de tarefas visuais de baixo contraste e tamanho pequeno	1000 lx (100 fc)

Fonte: IESNA, 2000

Figura 43: Determinação das categorias de iluminância

Para áreas de estocagem é recomendado na seção II (cap.19 - indústria) que sejam estabelecidas as questões mais importantes para esta atividade. No caso, se uma boa reprodução de cor é essencial para a atividade ou não, se há uma integração com a luz do dia e há controle, a questão do ofuscamento, o efeito flicker, o nível de iluminação no plano de trabalho, as características intrínsecas do material armazenado, as luminâncias das superfícies do ambiente e as sombras.

6.2.1 .1 Code of Federal Regulations

A norma 30 CFR do *Code of Federal Regulations* do *Department of Labor Mine Safety and Health Administration* estabelece em seu parágrafo § 56.17001, cujo título é iluminação de superfícies de trabalho (*Illumination of surface working areas*), que “a iluminação deve ser suficiente para proporcionar condições de trabalho seguras em todas as estruturas de superfície, caminhos, calçadas, escadas, locais de carga e descarga, e áreas de trabalho”² (“*Illumination sufficient to provide safe working conditions shall be provided in and on all surface structures, paths, walkways, stairways, switch panels, loading and dumping sites, and work areas*”).

---

² Tradução livre da autora.

6.2.2 Normas adotadas na Europa

O *CENELEC* publica as normas EN que se referem, geralmente, a equipamentos e partes que compõem equipamentos de iluminação.

Para diretrizes gerais de iluminação e níveis ótimos de iluminância os países europeus seguem a norma EN 12464-1 de 2003 (ver tabela 7) baseada na ISO 8995:2002/CIE S008:2001: *joint ISO/CIE standard: Lighting of indoor work places* (Iluminação para áreas de trabalho internas). Esta norma considera que a boa iluminação requer uma atenção equivalente para quantidade e qualidade. A provisão de iluminação suficiente na tarefa é necessária, mas em muitos casos a visibilidade depende da forma como a luz é direcionada, das características de cor da fonte de luz e das superfícies, em conjunto com a quantidade de ofuscamento que o sistema proporciona. São propostos parâmetros para criar condições confortáveis de visibilidade, recomendando valores que representam um equilíbrio entre questões como segurança, saúde e um trabalho eficiente.

Na Europa existe ainda a diretriz CEN EN 12665 - *Light and Lighting - Basic Terms and Criteria for Specifying Lighting Requirements*, que define termos básicos utilizados nas aplicações de iluminação. Também define uma estrutura para especificação de iluminação, fornecendo detalhes dos aspectos que devem ser considerados.

Tabela 7 – Níveis de iluminância para áreas de depósito, segundo a norma EN 12464-1

ILUMINÂNCIA (valores mínimos)	
Tipo de depósito	Iluminância principal (em lx)
Depósito e áreas de estoque	100
Depósito e áreas de estoque, ocupados continuamente	200
Áreas de embalagem e despacho	300
Áreas de estocagem em páletes, sem a presença de pessoas	20
Áreas de estocagem em páletes, com passagem de pessoas	150
Áreas de estocagem em páletes, estações de controle	150

Fonte: EN 12464-1 apud Fordergemeinschaft gutes Licht, 2007

7. ATMOSFERAS EXPLOSIVAS

Galpões para armazenamento de minérios estão muitas vezes sujeitos a formação de atmosferas explosivas, decorrentes do tipo e do estado físico dos minérios ali armazenados que, dependendo da sua composição, podem ser considerados materiais combustíveis, com todos os riscos decorrentes (incluindo faiscamentos elétricos). As instalações elétricas devem seguir a NR-10 – Segurança em instalações e serviços com eletricidade.

São consideradas atmosferas explosivas áreas onde haja o risco de explosão através de gases, vapores inflamáveis, ou ainda áreas nas quais exista a presença de fibras ou poeiras combustíveis, tais como carvão, soja, alumínio e borracha, entre outros. Estes materiais, na forma de nuvem misturada com o oxigênio do ar, ou em camadas depositadas sobre os equipamentos elétricos, podem se inflamar através da energia proveniente de uma centelha, como faísca e arco elétrico, ou até mesmo por meio de uma superfície quente de um equipamento (por exemplo, luminárias) (SILVA, 2006).

Alguns produtos que podem gerar poeiras combustíveis durante o processo são: algodão, alumínio em pó, arroz, borracha, enxofre, cacau, carvão mineral, farinha de trigo, madeira, papel, polietileno, proteína de soja, entre outros (SILVA, 2006).

Existem ainda áreas que não são consideradas explosivas quando em funcionamento normal, mas que podem ser classificadas como potencialmente explosivas devido ao risco de incêndio existir em ocasião de circunstâncias locais adversas ou de mau funcionamento de algum equipamento.

7.1 Áreas Classificadas

Para saber o grau de periculosidade de uma área quanto ao risco de explosão, deve-se elaborar uma “planta de classificação de área”, realizada por uma perícia técnica que fará a análise dos níveis de risco da mesma. No Brasil, a classificação de área é feita de acordo com a norma IEC 60079-10, para áreas com a presença de gás ou vapor, ou de acordo com a norma IEC 61241 para áreas com a presença de poeira combustível.

Há uma polêmica ao redor do mundo para saber quem deve se responsabilizar pela classificação de área. Na prática, o projeto de classificação fica a cargo de um engenheiro elétrico, que trabalha de acordo com as normas de classificação e obtém apoio de um engenheiro químico e de técnicos envolvidos no processo (de produção da indústria), para obtenção das informações sobre o comportamento das substâncias inflamáveis ou poeiras combustíveis (SILVA, 2007)³. Para isto, leva-se em consideração quais materiais inflamáveis poderão estar presentes no recinto (gás, vapor ou poeira combustível), suas características e seu comportamento, conforme segue:

- para gases e vapores, analisa-se principalmente o tipo de gás, os limites de inflamabilidade inferior e superior, o ponto de fulgor, a temperatura de auto-inflamação e a densidade relativa;
- para poeiras combustíveis, analisa-se principalmente a composição, a temperatura de auto-inflamação em forma de nuvem e em forma de camada e o volume de poeira na nuvem (g/m^3). Algumas características importantes de determinadas poeiras estão listadas na tabela 8.

---

³ SILVA, J. **Classificação de áreas explosivas**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <vivien.jaglbauer@poli.usp.br> 10 jun. 2007.

Tabela 8 – Características de algumas poeiras combustíveis

Poeira	Temperatura de auto-ignição		Energia mínima de ignição (nuvens)	Concentração mínima (nuvens)
	Camada (°C)	Nuvem (°C)	(ml)	(g/m ³)
Poeiras Metálicas				
Flocos de alumínio	400 a 900	600 a 700	10 a 100	40 a 60
Alumínio em pó	490 a 700	550 a 800	15 a 160	40 a 140
Antimônio	330	415	1900	420
Cádmio	250	570	4000	-
Cobre	-	900	-	-
Cromo eletrolítico	400	580	40	230
Ferro-Sílica (88% de Si)	-	860	400	425
Chumbo pulverizado	270	710	-	-
Titânio	510	330	25	45
Materiais carbonatados				
Asfalto	550	510	40	35
Carvão betuminoso	180	610	30	50
Carvão vegetal	180	530	20	140
Carvão Antracítico	-	730	100	65
Carvão tipo Pittsburgh	170	610	60	55
Grafite	580	Não ignitor	-	-
Linhita	200	450	30	30

Fonte: ATX, 2000

Também é feito um levantamento e análise dos equipamentos e dos processos que serão desenvolvidos no local, e a avaliação das instalações e dos equipamentos elétricos. De posse destas informações, o especialista analisa o comportamento dos materiais para definir os níveis de risco que poderão estar presentes numa dada atmosfera.

7.2 Temperatura de inflamação de uma área

É a menor temperatura em que um material inflamável (gás, vapor ou poeira combustível) entra em combustão, tendo como energia de ignição apenas o calor.

Tomando-se como exemplo uma indústria de hidrocarbonetos, com a presença de metano industrial, metanol, butano, propano, hexano, pentano, benzeno, xileno e sulfureto de carbono, entre outros materiais inflamáveis que estejam em forma de vapor na atmosfera, deve-se considerar a menor temperatura de auto-inflamação, pois será a mais perigosa (ver tabela 9). Neste caso, a menor temperatura é a do sulfureto de carbono, 90°C. Logo, pode-se afirmar que nesta área qualquer temperatura acima de 90 °C poderá causar a ignição da atmosfera explosiva

(dependendo ainda da concentração de oxigênio e outros componentes). Portanto, todos os equipamentos elétricos a serem instalados no recinto deverão ter temperatura de operação menor que 90°C e por essa razão serão classificados como classe T6 (até 85 °C), de acordo com a tabela IEC (ver tabela 10).

Tabela 9 – Materiais constantes em indústria de hidrocarbonetos

Material	Temperatura de auto-inflamação
Metano industrial	535
Metanol	385
Butano	287
Propano	450
Hexano	223
Pentano	260
Benzeno	498
Xileno	460
Sulfureto de carbono	90

Fonte: SILVA, 2006

Tabela 10 – Comparação da classificação das temperaturas de área entre IEC e NEC

Temperatura em °C	Classificação	
	IEC	NEC
85	T6	T6
100	T5	T5
120	T4	T4A
135	T4	T4
160	T3	T3C
165	T3	T3B
180	T3	T3A
200	T3	T3
215	T2	T2D
230	T2	T2C
260	T2	T2B
280	T2	T2A
300	T2	T2
450	T1	T1

Fonte: EGS/Appleton, 2000

Todos os galpões de armazenamento de material particulado com características explosivas deveriam ter as suas áreas classificadas.

7.3 Zonas de classificação

O conceito de zona é utilizado pelas normas brasileiras NBR IEC 60079-10 e NBR 5363 (e também pela NBR 9518 – Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas – requisitos gerais), traduzido da norma internacional IEC 600.79-10 (*Classification of hazardous areas*), para determinar o nível de risco presente em uma atmosfera explosiva.

A maioria dos países europeus, assim como o Brasil, adota a norma IEC. No caso de inexistência de uma norma NBR IEC, adota-se a norma IEC disponível. Não existe nenhuma norma nacional que trate de poeira com outros parâmetros ou adaptações. No Brasil, a norma IEC é adotada diretamente. Também não existem ainda laboratórios para testes de equipamentos específicos para poeira em território nacional.

O INMETRO tem somente uma portaria (nº 83 de 03 de abril de 2006), que trata da certificação de equipamentos para atmosferas explosivas de gás ou vapor.

Tendo sido a área classificada, os riscos presentes encontram-se determinados e são divididos em zonas de risco, classificadas como zona 20, 21 ou 22, de acordo com sua periculosidade. A figura 44 define as zonas para poeiras combustíveis.

Fonte: SILVA, 2006

Figura 44 – Definição de zonas com presença de poeira combustível

Áreas com a probabilidade de presença ou que contenham gás ou vapor no ambiente são classificadas como zona 0, 1 ou 2. Uma área com classificação “zona

0” é uma área na qual a mistura explosiva de gás ou vapor está continuamente presente durante longos períodos. A área “zona 1” é determinada quando a mistura explosiva de gás ou vapor poderá estar presente durante a operação normal. E, por fim, a “zona 2” é determinada quando a mistura explosiva em forma de gás ou vapor é improvável que aconteça durante operação normal da indústria e, caso ocorra, será por alguma anormalidade e por curtos períodos de tempo.

As zonas de final 0 são as mais perigosas, e as de final 2 as que representam menor perigo (figura 45).

Fonte: SILVA, 2006

Figura 45 – Zonas de classificação de áreas de acordo com o risco

Não se tratará neste trabalho de gases e vapores, tendo em vista que esta pesquisa trata de galpões para minérios, portanto no estado sólido. Logo, será detalhada um pouco mais a questão das poeiras combustíveis.

7.4 Definição de poeira

Pode-se definir as poeiras como pequenas partículas contidas na atmosfera, que permanecem em suspensão sob seu próprio peso, ou que podem permanecer no ar por algumas horas (NBR IEC 61241).

Poeiras combustíveis são fibras ou particulados combustíveis que podem se queimar ou incandescer no ar, e poderiam dar forma a misturas explosivas, com o ar, na pressão atmosférica e em temperaturas normais.

Poeiras condutoras são pós, fibras ou pêlos com a resistividade elétrica igual ou menor que 10 $\Omega.m$ (NBR IEC 61241).

O depósito de poeira em certas indústrias mineradoras, de metais e borracha oferece este risco potencial de explosão, por estarem sujeitos a nuvens ou camadas de poeira, que quando misturadas ao ar ambiente, ou quando depositadas sobre equipamentos elétricos, podem provocar um processo de combustão sem chama ou iniciar incêndios de grandes proporções.

Sob confinamento, a combustão adquire condições para originar uma explosão, produzindo gases quentes que geram um rápido aumento de pressão no recinto. Quando isto ocorre, provoca uma reação em cadeia, já que outras explosões podem ocorrer com o levantamento de uma nova nuvem de poeira. A figura 46 ilustra uma explosão em decorrência de poeira combustível.

Fonte: Gexcon A.S, 2007

Figura 46 – Explosão resultante de poeira combustível

Neste caso, a quantidade de energia liberada é extremamente alta e os danos causados por explosões de finos são enormes (RANGEL Jr, 2004). Como exemplo, pode-se citar a explosão do terminal graneleiro em Blaye (figura 47), na França, ocorrido em 1997, que causou a morte de 11 pessoas e destruiu 16 cilindros de concreto – cada um com 6m de diâmetro e 36m de altura e com capacidade para armazenar 37.000 t de milho, cevada e trigo (RANGEL Jr, 2000).

Fonte: RANGEL Jr, 2000

Figura 47 – Explosão no terminal graneleiro de Blaye, França

Outras catástrofes também ocorreram no Brasil, como a explosão em uma célula de um silo em 1992 no Porto de Paranaguá, Curitiba - PR, causando duas mortes e cinco feridos. A provável causa foi a combustão de poeira de cevada (O ESTADO DE SÃO PAULO, 1992).

Em 2002, no mesmo porto houve uma explosão no depósito de armazenamento de grãos da empresa Coimbra, deixando 18 feridos. A provável causa foi apontada como a limpeza deficiente da poeira na esteira transportadora (O ESTADO DE SÃO PAULO, 2001).

7.5 Características das poeiras combustíveis

Segundo a norma NBR IEC 61241-1-1 a poeira combustível pode ser inflamada por instrumento elétrico de diversas maneiras: em superfícies de equipamentos que estão acima da temperatura mínima da ignição da poeira atingida, através da formação de arcos ou faíscas de partes elétricas, tais como interruptores, contatos, comutadores, escovas, ou de alguma outra forma provável; pela descarga de uma carga eletrostática acumulada; pela energia radiada (radiação eletromagnética, por exemplo); por faíscas mecânicas, faíscas de fricção ou aquecimento associado com um instrumento.

A temperatura em que um tipo de poeira se inflama ocorre em função das propriedades dessa poeira (tamanho de grão, forma, estado superficial, composição, misturas ou outros materiais que ajam cinergeticamente) se ela está em forma de nuvem ou camada, da espessura, da geometria, da potência e da duração da fonte de calor. Cada tipo e composição de poeira tem um comportamento diferente.

A formação de atmosfera explosiva por pós combustíveis é completamente diferente dos gases inflamáveis que, quando liberados para atmosfera, difundem-se facilmente, buscando formar uma mistura homogênea. As partículas de pós tendem a assentar-se, resultando em acúmulos na forma de montes ou camadas. Ainda podem permanecer em suspensão por alguns momentos, dependendo de sua massa e de seu diâmetro e, desta forma, voar diversos metros desde o ponto em que são liberadas até outros locais da usina, onde se assentarão. Elas também podem vazar para o interior de equipamentos e migrar, por exemplo, de um funil para uma caixa de eletricidade (RANGEL Jr., 2004). Acumulam-se no piso, nas tubulações, nas superfícies dos equipamentos, e por toda a área onde se encontram.

Pode-se ver na figura 48 um exemplo do acúmulo de pó em uma indústria.

Figura 48 – Exemplo de luminária com acúmulo de pó por falta de limpeza

Embora a temperatura requerida para a ignição de uma camada de poeira seja normalmente alta, se comparada com a temperatura de ignição de uma nuvem de poeira, as camadas de pó ocorrem com mais frequência nas indústrias e acabam recebendo menos atenção da manutenção, tornando-se uma fonte de risco.

Portanto, áreas de estocagem devem merecer uma atenção especial, contar com um rigoroso projeto de instalações elétricas, manutenção frequente dos equipamentos e limpeza eficiente.

7.6 Potencial de inflamabilidade

Para que haja a possibilidade de explosão são necessários quatro componentes (EXRL, 1987):

- alto grau de dispersão do combustível. No caso dos pós basta que as partículas sejam menores do que 1,0 mm;
- concentração crítica, ou seja, toda a mistura ar-combustível deve estar dentro de certa faixa de concentração. Abaixo do limite inferior (mistura pobre) e acima do limite superior (atmosfera saturada) não ocorre ignição. Na presença dos pós combustíveis, porém, o risco de atmosfera explosiva deve ser considerado incondicionalmente, uma vez que tanto a turbulência que agita uma camada de pó (aumentando a concentração) quanto a

precipitação parcial de uma nuvem que estava em suspensão (reduzindo a concentração) podem resultar em situações críticas.

- volume suficiente, o que para a maioria dos pós combustíveis significa que basta uma camada de 1mm de espessura, distribuída uniformemente sobre o piso, para preencher todo o volume de um recinto industrial com uma mistura explosiva, quando houver turbulência;
- fonte de ignição compatível, que deve prover a mínima energia de ignição requerida pela mistura. Isto pode ser provisionado por uma centelha, arco elétrico, superfície quente ou qualquer outra fonte de energia capaz de provocar uma inflamação, como demonstra a figura 49.

Fonte: SILVA, 2006

Figura 49 – Componentes de uma explosão

As partículas de pó apresentam condições tanto para iniciar incêndios, quando acumuladas em camadas, como para iniciar explosões, quando em suspensão.

Alguns *milijoules* são suficientes para iniciar uma explosão primária, que geralmente se desenvolve com velocidade subsônica (deflagração), que dará lugar a um considerável volume de gases quentes que desenvolverão uma onda de pressão, fazendo com que a poeira depositada também entre em suspensão, produzindo uma sequência de explosões secundárias.

O limite de inflamabilidade é a relação volumétrica entre a substância inflamável e o oxigênio, capaz de formar uma mistura explosiva. O limite inferior de

inflamabilidade (também conhecido pela sigla LII) é a mínima concentração acima da qual a mistura explosiva pode inflamar.

Existem dois fatores primordiais a serem considerados para se ter uma instalação segura: a temperatura máxima de superfície, ou seja, a maior temperatura atingida em serviço, sob as mais adversas condições, por qualquer parte de equipamento exposto a uma atmosfera explosiva que seja incapaz, no entanto, de causar a ignição da mesma; e a temperatura de ignição, ou seja, a menor temperatura capaz de causar a ignição de um determinado material.

Portanto, para se poder trabalhar com segurança em um galpão para armazenamento de minérios com a presença de poeira combustível, é necessário eliminar qualquer equipamento elétrico que não seja classificado para a área, atentar para a temperatura de funcionamento dos aparelhos presentes e proteger todos os invólucros adequadamente.

Desta forma, devem ser escolhidos equipamentos definidos como *dust-ignitionproof* (no caso de equipamentos americanos) ou com a marcação EXE no Brasil, conforme as normas de instalação.

7.7 Normas relacionadas a atmosferas explosivas

A ABNT, por meio de sua divisão CB-03-COBEI (Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações), sub-comitê SC-31 (equipamentos e instalações elétricas para atmosferas explosivas), tem como objetivo elaborar o texto da norma brasileira a partir da norma internacional correspondente (*IEC*), que é consolidada após consulta pública, e atualizar as normas para instalações elétricas em ambientes com atmosferas potencialmente explosivas.

Existem atualmente quatro normas em desenvolvimento:

- Equipamentos elétricos para uso em presença de poeiras combustíveis – requisitos gerais (projeto 03:031.06-001);
- Equipamentos elétricos para uso em presença de poeiras combustíveis – proteção do invólucro (projeto 03:031.06-002);
- Equipamentos elétricos para uso em presença de poeiras combustíveis – seleção e instalação (projeto 03:031.06-003);

- Equipamentos elétricos para uso em presença de poeiras combustíveis – classificação de áreas onde poeiras combustíveis estão ou podem estar presentes (projeto 03:031.06-004).

Enquanto estas normas não são publicadas, a NR-10 determina que: “esta NR se aplica às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades, observando as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes, e na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis”.

A figura 50 mostra a divisão de normas que são seguidas ao redor do mundo.

Fonte: EGS/Appleton Electric, 2000

Figura 50 – Normas adotadas ao redor do mundo

7.8 Segurança

Portanto, em áreas classificadas como atmosferas explosivas, é necessário um cuidado maior na escolha dos equipamentos e instalações elétricas, já que o perigo é potencializado por equipamentos e componentes elétricos e eletrônicos, devido ao fato de produzirem arcos, centelhas e muitas vezes operarem em altas temperaturas, gerando riscos para a vida das pessoas, para o meio-ambiente e podendo resultar em grandes danos materiais.

Para se operar uma área destas em segurança deve-se determinar o nível de risco da área, escolher adequadamente os equipamentos, componentes da instalação e equipamentos de medição, seguir as recomendações das normas brasileiras para instalações (NBR 5410) e realizar manutenção periódica para preservar as características iniciais das instalações.

Os perigos da ignição podem ser evitados se a temperatura das superfícies em que a poeira pode ser depositada, ou das que estejam em contato com uma nuvem da poeira, for mantida abaixo da limitação da temperatura especificada (NBR IEC 61241-1-2); alguns componentes centelhantes, ou que geram uma temperatura acima da temperatura mínima da ignição da poeira, sejam contidas em invólucros que impeçam o ingresso de poeira, ou se a energia de circuitos elétricos seja limitada para evitar arcos, faíscas ou temperaturas capazes de inflamar a poeira combustível; e se todas as outras fontes de ignição forem evitadas.

O instrumento elétrico presente na área sempre deve ser operado dentro de sua classificação, instalado e mantido de acordo com os códigos e práticas recomendadas, e atender a todas as exigências da aplicação.

8. ILUMINAÇÃO DE GALPÕES EM ÁREAS INDUSTRIAIS

Galpões e áreas de estocagem são encontrados em inúmeros tipos de indústrias, de pequenas companhias locais até grandes conglomerados multinacionais.

Ambientes industriais abrangem em seu interior uma ampla e diversificada gama de tarefas, que vão desde a fabricação de agulhas e jóias até a fabricação de aviões e a produção de toneladas de minérios. Desta maneira, as necessidades visuais de cada uma das tarefas são absolutamente distintas, variam com o tipo de indústria, e com as diversas fases de produção em mesma indústria. Além da escala das tarefas visuais ser diferente, a variedade de operação envolvendo maquinário, a circulação e o número de pessoas e as considerações econômicas, como custo e qualidade do material a ser instalado para um sistema de iluminação eficiente, devem ser observados no projeto.

As tarefas visuais se diferenciam em geral nos seguintes parâmetros: podem ser pequenas (como a lapidação de uma pedra) ou grandes (como uma pedreira); escuras (mina de carvão) ou claras (mina de sal); opacas, transparentes ou translúcidas; em superfícies especulares ou difusas (ver figura 51); posicionadas em planos horizontais, verticais ou inclinados; envolver superfícies planas ou formas arredondadas. Além disto, a tarefa pode envolver o movimento do objeto, do indivíduo ou de ambos. Independentemente das várias condições da tarefa, a iluminação deve fornecer visibilidade adequada de modo que as matérias-primas possam ser transformadas em produtos.

Fonte: Osram, 2006.

Figura 51 – Tipos de reflexão das superfícies

Perigos físicos estão presentes em muitos processos de manufatura. Eles são representados por obstáculos, cantos vivos, partes de maquinário que avançam sobre áreas de passagem, entre outros. Assim, a iluminação tem enorme importância como mais um fator de segurança para impedir acidentes (IESNA, 2000), já que nestes casos, deve se comportar como um fator de compensação para se diminuir o tempo de percepção visual dos objetos, principalmente em se tratando de máquinas em operação.

Neste capítulo serão abordadas principalmente as questões de iluminação para grandes galpões de estocagem de minérios.

8.1 Critérios a serem considerados

Para uma iluminação adequada de áreas industriais, deve-se aliar a menor quantidade de equipamentos de iluminação, sua eficiência para atingir os níveis de iluminância estabelecidos em norma, e também a questão de resposta humana ao tipo de luz emitida, para uma melhora da produtividade.

No entanto, é preciso ter cuidado ao se projetar os sistemas de iluminação, de modo que provisione não somente a iluminância necessária para as tarefas a serem realizadas, mas para que também indique os perigos da área, além de garantir que não haja ofuscamento, sombras e extremas mudanças dos níveis de iluminância, que poderiam contribuir para acidentes.

As tarefas visuais têm exigências especiais que devem ser consideradas para o fornecimento de uma iluminação apropriada para cada tipo de tarefa, dentre elas, as características da superfície do material, a orientação e o tamanho da área onde se executa o trabalho, para que seja garantida a rapidez e a exatidão nas operações.

Sistemas de iluminação geral e uniformes podem ser efetivos em áreas de estocagem onde não existem estantes fixas e onde os materiais podem ser estocados diretamente no chão ou em páletes (IESNA, 2000), conforme exemplo da figura 52.

Fonte: Schröder, 2007

Figura 52 – Exemplo de iluminação geral uniforme

Uma variedade de tarefas específicas pode ocorrer em um depósito:

- armazenamento aberto, ou seja, material armazenado sem o uso de sistemas tipo cremalheira, como o armazenamento no assoalho e/ou em páletes, que podem ser empilhados uns nos outros;
- armazenamento de materiais perigosos, ou seja, áreas onde há recipientes de materiais com exigências especiais (isto inclui materiais particulados considerados perigosos, como o carvão e a poeira de alumínio, entre outros);
- áreas de envio e recebimento, isto é, áreas onde os materiais são recebidos no armazém para a classificação e colocados em depósitos. Tais áreas também servem como áreas de estágio para a coordenação dos produtos a serem classificados e colocados em caminhões ou em trens para o transporte;
- docas de carregamento e áreas de estágio, que são áreas localizadas geralmente ao lado do carregamento dos navios no porto, que podem estar ao ar livre, mas que freqüentemente são cobertas.

Estas são as situações de depósitos mais comuns encontrados para produtos da indústria da mineração que se utilizam de espaços cobertos.

8.2 – Qualidade da iluminação

A maioria das tarefas visuais críticas encontradas em armazéns ocorre no plano vertical. Conseqüentemente, iluminar as superfícies verticais de bens armazenados é essencial. Entretanto, uma iluminação horizontal adequada para atividades nos corredores formados entre os materiais armazenados deve também ser fornecida.

Uma boa iluminância vertical é necessária para facilitar a leitura de etiquetas, onde for o caso, e uma iluminância horizontal suficiente permite a movimentação segura e a identificação apropriada da posição das pessoas em relação às áreas adjacentes, conforme exemplo da figura 53.

Fonte: Holophane *apud* IESNA 2000

Figura 53 – Galpão com iluminação horizontal e vertical adequada

A iluminação deve ser distribuída uniformemente sobre toda a superfície vertical visível, do piso ao teto e ao longo do comprimento inteiro dos corredores do depósito. Isto requer um cuidado especial quando se usam luminárias menores e mais discretas para lâmpadas de descarga de alta intensidade (em inglês *HID*, ou seja, *high intensity discharge*), pois pode haver uma queda de iluminância inaceitável no espaço entre as luminárias. Estão disponíveis no mercado luminárias que usam lâmpadas de descarga de alta intensidade (*HID*) com curvas de distribuição

projetadas especificamente para a iluminação dos corredores de armazenamento (IESNA, 2000).

Algumas cremalheiras e espaços para armazenamento podem, às vezes, estar parcial ou completamente vazios e a escuridão das áreas vazias pode reduzir a iluminância (devido ao fato das refletâncias mudarem). Esta condição deve ser antecipada e incluída nos parâmetros iniciais do projeto.

Para galpões de carvão as refletâncias (ver tabela 11) não mudam muito, uma vez que pode-se considerar 5% para a refletância do chão e para as paredes, já que o pó suspenso no ar também impregna as paredes e se sobrepõe a cor cinza original.

Tabela 11 – Índice de refletância das superfícies

Material ou cor	Valor	Material ou cor	Valor
Azul claro	30 - 55	Madeira clara	30 - 50
Azul escuro	10 - 25	Madeira escura	10 - 25
Azulejo branco	60 - 75	Mármore claro	60 - 70
Amarelo	65 - 75	Marrom	10 - 25
Branco	70 - 85	Ocre	30 - 50
Cimento claro	35 - 50	Preto	5
Concreto claro	30 - 40	Rocha	60
Concreto escuro	15 - 25	Rosa	45 - 60
Cinza claro	45 - 65	Tijolo claro	20 - 30
Cinza escuro	10 - 20	Tijolo escuro	10 - 15
Cinza médio	25 - 40	Verde claro	30 - 55
Esmalte branco	65 - 75	Verde escuro	10 - 25
Gesso	70 - 80	Vermelho claro	25 - 35
Granito	15 - 25	Vermelho escuro	10 - 20
Laranja	25 - 35	Vidro transparente	5 - 10

Fonte: Philips, 2004; MSPC, 2007.

A iluminação do plano horizontal deve ser adequada para a segurança e navegação, assim como para a leitura de documentos, mas não da mesma maneira crítica como ocorre com a iluminação das tarefas da superfície vertical. A NBR 5413 estabelece uma iluminância média de 150 lx (indústria siderúrgica), e a recomendação da tabela IESNA (2000) diz que a iluminância deve ser de 500 lx para tarefas visuais com baixo contraste e tamanhos grandes. A norma alemã DIN 5035 (atualizada para DIN EN 12464 em março de 2003) recomenda 300 lx para iluminância vertical.

As refletâncias de superfícies expostas podem afetar significativamente os resultados da iluminação. Quando as características de refletância dos bens armazenados não puderem ser controladas no nível de operação do armazém, elas

devem ser consideradas quando as decisões de embalagem e do tipo de recipiente estiverem sendo feitas. Por exemplo, se o material da embalagem for de cor clara, ele poderá contribuir para a utilização eficiente da luz disponível e ainda aumentar a visibilidade por meio de um contraste maior.

O armazenamento em estantes fixas geralmente resulta em longos e estreitos corredores (ver figura 54), por esta razão a disposição da iluminação e os procedimentos de cálculo devem ser baseados nas dimensões dos espaços dos corredores e não a partir das medidas totais do edifício (comprimento x largura). As luminárias devem estar situadas sobre os corredores (geralmente no meio). Deve-se dedicar atenção especial para localizar as luminárias de modo que seja deixado um afastamento suficiente para se retirar os artigos localizados no topo do local de armazenamento, já que estes artigos são frequentemente içados em direção aos corredores, antes de poderem ser trazidos ao piso (ou à área de transporte).

Fonte: Fordergemeinschaft Gutes Licht, 2007

Figura 54 – Esquema de iluminação de um galpão com vários tipos de armazenamento.

O método padrão de cavidade zonal para a determinação da iluminância não é útil para cálculos de iluminação de armazéns, devido à geometria espacial dos corredores e também porque a determinação da iluminância vertical é uma tarefa chave. Felizmente, alguns programas de computador para cálculo ponto a ponto da iluminância horizontal e vertical estão agora disponíveis (como o *Relux*, por exemplo).

Para assegurar um ambiente produtivo de trabalho, o ofuscamento a partir das fontes de iluminação deve ser minimizado. Isto se torna particularmente importante para fontes de luz concentradas, como as do tipo de descarga de alta intensidade (*HID*), especialmente para operários que estão situados logo abaixo destas

luminárias: ao olharem para o alto das pilhas de material estocado podem encontrar o ofuscamento inabilitante sob tais circunstâncias, da mesma maneira que para os operários que têm a visão direcionada ao longo dos corredores. A proteção apropriada da fonte deve ser considerada.

Na figura 55 pode-se ver uma oficina de maquinário industrial, com vigas aparentes no teto e iluminação fornecida por luminárias de corpo alto para lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID). Na mesma figura estão apontadas algumas das características a serem consideradas nos projetos de iluminação, como ofuscamento direto, refletância das superfícies (paredes, piso e teto), sombreamento, efeito “flicker” e distribuição da luz no plano de trabalho.

Fonte: IESNA 2000

Figura 55 – Ilustração de uma oficina de máquinas industriais

8.3 Principais cuidados

Deve-se atentar para o efeito “flicker” (piscante) e para o efeito estroboscópico, que são notados em lâmpadas de descarga de alta frequência, o que

pode ser irritante e potencialmente perigoso para operários de máquinas em movimento. Para reduzir este problema é possível colocar luminárias alternadas em fases diferentes ou em um sistema elétrico de três fases.

É possível melhorar as luminâncias das superfícies da sala, que na indústria podem parecer escuras em contraposição às luminárias, com aparência excessivamente clara no teto escuro, pintando-se o forro ou o teto de uma cor clara e selecionando-se luminárias que direcionem parte da luz para cima. Isto faz com que o espaço pareça mais claro e as luminárias menos ofuscantes (figura 56), uma vez que o contraste entre a luminária clara e o fundo escuro foi diminuído. Este mesmo processo pode ser aplicado às paredes. A iluminação indireta nestes mesmos recintos pode contribuir para a diminuição das sombras.

Fonte: IESNA, 2000

Figura 56 - O acabamento dos elementos estruturais com elevada refletância aumenta a luminância que cerca as luminárias e reduz o efeito das luminárias como fonte de ofuscamento.

A distribuição no plano de trabalho, ou seja, a iluminância no chão e em outro plano de trabalho não deve variar muito pois, caso isto ocorra, será difícil para os trabalhadores verem detalhes nas áreas mais escuras. Deve-se utilizar a fotometria e o espaçamento indicados pelo fabricante nos cálculos luminotécnicos, também se levando em consideração as obstruções da planta para garantir uma uniformidade razoável.

O ofuscamento direto afeta tanto o conforto como a habilidade visual. Deve-se utilizar luminárias com baixa luminância e evitar que os ocupantes olhem diretamente para as lâmpadas a partir de ângulos normais de visão. Isto pode ser feito

instalando-se as luminárias a 25° da horizontal, mas preferencialmente a 45° (IESNA, 2000). O problema também pode ser minimizado ao colocar uma grelha (*louver*) adicional na frente da lente das luminárias. A figura 57 mostra o ângulo de proteção da fonte de luz em relação às luminárias.

Fonte: IESNA, 2000

Figura 57 – Luminárias requerem proteção adequada para o conforto visual

Sombras podem ser formadas a partir das máquinas e do corpo dos trabalhadores que obstruem a passagem da luz geral. Nestes casos, deve-se considerar uma iluminação adicional para as máquinas.

Os sistemas de iluminação indiretos para armazéns, que não são tão eficientes para gerar a iluminância necessária para a tarefa, podem ser úteis para fornecer uma excelente visibilidade. Eles provaram ser particularmente úteis em áreas onde existem terminais de computador e onde o armazenamento e a venda utilizam o mesmo espaço.

Corredores ou salas estreitas podem ser iluminados por fontes de descarga de alta intensidade (*HID*) com o tipo clássico de luminárias de corpo alto, com espaçamento razoavelmente próximo. O afastamento destas luminárias pode ser maior quando elas tiverem também um componente que jogue a luz para cima (*uplight*) em tetos com elevada refletância. Isto também pode ser feito com luminárias com alturas internas mais baixas ou com luminárias especiais de distribuição assimétrica para os corredores.

A importância que um forro branco tem em uma indústria pode ser vista na ver figura 58. É possível notar a melhora visual na parte direita da foto, onde o forro

já foi pintado de branco em comparação com o lado esquerdo. A iluminância no lado direito da foto é substancialmente maior.

Fonte: IESNA, 2000

Figura 58 – Comparação de refletâncias entre o teto claro e o teto escuro

Em instalações onde a altura de montagem das luminárias é mais elevada, e onde normalmente são utilizados espaçamentos maiores entre os eixos das luminárias, a iluminância determinada em norma deve ser mantida. Para isto podem ser especificadas lâmpadas de descarga de alta intensidade (*HID* – ver figura 59), utilizadas em luminárias apropriadas, que podem ser instaladas em várias alturas da montagem, mas que geralmente são mais eficazes em alturas da montagem com 5 m ou mais (IESNA, 2000).

Fonte: GE, 2006

Figura 59 – Exemplos de lâmpadas de descarga de alta intensidade

Sistemas fluorescentes são freqüentemente utilizados para corredores em áreas de armazenamento. Embora possam ser instalados em diversas alturas, eles são mais efetivos quando montados a uma altura menor ou igual a 6m (IESNA, 2000), como mostra a figura 60. A distribuição pode ser implementada tanto em linhas contínuas e ininterruptas (com refletores, lentes ou grelhas) quanto com unidades montadas individualmente.

É recomendado que se use um branco neutro ou um branco quente como opção de cor para a escolha das lâmpadas. O índice de reprodução de cor deve ser de no mínimo 40% para áreas gerais de armazenamento e de 60% quando houver operários trabalhando (DIN EN 12464-1 *apud* Fordergemeinschaft Gutes Licht, 2007).

Fonte: Philips, 2007

Figura 60 – Exemplo de sistema de iluminação fluorescente

Espaços de armazenamento podem ser usados intermitentemente, desta forma é possível economizar energia interrompendo a iluminação ou operando-as com uma carga reduzida durante os períodos inativos. Existem alguns reatores dimerizáveis para lâmpadas fluorescentes e de descarga (HID) que foram desenvolvidos para este tipo de utilização.

8.4 – Galpões para armazenamento de carvão

Pode-se tomar como exemplo um galpão para armazenamento de carvão em pó de cerca de 4.400 m² (24 x 180m), onde o material fica armazenado em pilhas, com a circulação dos operários em pás-carregadeiras sendo feita nas laterais destas pilhas, a circulação dos caminhões basculantes pela rua de acesso lateral e a circulação de pedestres pela calçada em uma das laterais do depósito, conforme ilustra a figura 61.

Figura 61 – Planta baixa genérica e corte transversal de um galpão para armazenagem de carvão.

A tarefa a ser executada é o carregamento dos caminhões com o material ali armazenado, realizada por meio de tratores com pá frontal (pás-carregadeiras) operados por funcionários (em diferentes turnos) durante 24h, e que obriga o motorista a ter de fazer o carregamento visualmente. O transporte entra na rua lateral do depósito para o carregamento, onde ficam estacionados e abrigados das intempéries durante o processo.

A norma NBR 5413 determina que a iluminância para uma área de depósito de matérias-primas de uma indústria siderúrgica tenha uma iluminância média de 150 lx, sendo a iluminância mínima admitida 100 lx e a máxima 200 lx. Para uma área de carregamento no mesmo tipo de indústria a iluminância média recomendada é 200 lx, sendo a mínima 150 lx e a máxima 300 lx. A recomendação da tabela IESNA (2000) diz que a iluminância deve ser de 500 lx para tarefas visuais com baixo contraste e tamanhos grandes. Caso o carvão seja transportado por meio de correia transportadora, os níveis terão que atender a média de 300 lx, sendo a iluminância mínima admitida de 200 lx e a máxima 500 lx (NBR 5413, 1991).

Deve-se considerar que a visibilidade, ou seja, a habilidade para extrair informações a partir do campo de visão, em um galpão deste tipo é bastante crítica, uma vez que se tem o material particulado suspenso no ar. Outro parâmetro que também influencia na visibilidade é o contraste, que nesta área de trabalho é bastante prejudicado, uma vez que pode-se considerar o acabamento do piso como um cimento desempenado, ou cimento queimado na cor cinza e as paredes com acabamento em blocos de concreto na mesma cor, no entanto, com ambas as superfícies permanentemente sujas e cobertas com uma camada de pó preto, devido à atividade que é realizada dentro do recinto. Deve-se também considerar para o cálculo que a luminância das paredes é praticamente nula, uma vez que uma superfície nestas condições tem um índice de refletância de 5% segundo Philips (2004).

Sem dúvida é uma tarefa de grande porte, tridimensional e com grandes alturas - as pilhas têm em torno de 6m de altura. Esta altura poderá gerar áreas de sombras se as luminárias não forem dispostas adequadamente e em quantidade suficiente.

Nas extremidades do galpão existem aberturas (com 9,0m de largura x 6,0 m de altura, em forma triangular) com 27,0 m². A iluminação natural proveniente dessas aberturas e das portas de entrada do galpão pode ser considerada como iluminação complementar ao cálculo da taxa de iluminância para os períodos diurnos. No entanto, o projeto completo de iluminação deverá ser feito considerando o período noturno para a quantificação de fontes de luz. É interessante que a forma de instalação dos sistemas seja feita em dois ou três circuitos separados para que seja possível ajustar a quantidade de iluminação artificial na presença de iluminação natural, com intuito de economizar energia nos períodos em que a carga total do sistema não é necessária.

A idade do operário também deve ser considerada no cálculo, uma vez que o campo da tarefa deve ser maior, mais claro e ter mais contraste para uma pessoa de mais idade, para que ela possa atingir o mesmo objetivo. A NBR 5413 inclui este parâmetro para cálculo da iluminância, -1 (pessoas com menos de 40 anos), 0 (pessoas entre 40 e 55 anos) e +1 (pessoas com mais de 55 anos).

Como o carvão em pó é um material perigoso que pode vir a causar explosões - se ocorrerem condição de concentração de pó, oxigênio, e a poeira suspensa ou depositada em camadas entrar em contato com uma centelha, ou a temperatura de operação de algum aparelho for maior que a temperatura de auto-ignição do material estocado – nesta área deverão ser utilizados equipamentos a prova de explosão. Para isto, o índice de proteção das luminárias deverá ser adequado (IP 6x).

Os sistemas elétricos em ambientes industriais geralmente utilizam 220 V, tensão da maioria dos equipamentos de iluminação industrial disponíveis no mercado, isto é, lâmpadas, luminárias, reatores e transformadores.

Após a instalação do sistema, a manutenção deverá ser feita a cada seis meses, ou aproximadamente 5.000h (PHILIPS, 2000). A manutenção preventiva consiste na limpeza dos equipamentos instalados, verificação de que todo o sistema de iluminação está funcionando corretamente, troca de lâmpadas que estão perto do final da vida útil (para isto deve-se anotar a data de substituição das lâmpadas e calcular a nova data de troca de acordo com as especificações do fabricante), verificação da fiação e dos quadros elétricos, entre outros.

No cálculo também deverá ser considerado o índice de depreciação, que terá um valor baixo, em torno de 0,66 para a manutenção a cada 5.000h ou 0,57 para a manutenção a cada 7.500h (PHILIPS, 2004). O índice de depreciação é calculado levando-se em consideração o índice de proteção das luminárias e dos equipamentos instalados, o nível de poluição do local e a periodicidade da manutenção e limpeza.

A temperatura de cor da lâmpada deve ser um branco neutro (4000K) ou um branco quente (3000K) para um melhor conforto dos ocupantes (Fordergemeinschaft, 2007). No Brasil, a maioria das lâmpadas de descarga de alta intensidade comercializadas são produzidas com tonalidade de cor de 4000K. Este dado é importante para a sensação psicológica dos funcionários.

A reprodução de cor da fonte de luz também é bastante importante, pois ela vai não somente reproduzir a cor do material, como também a cor da pele das pessoas. Para indústrias, o recomendado é uma taxa de reprodução de cor de no mínimo 40 e idealmente maior do que 60 (Fordergemeinschaft, 2007). A IESNA (2000) no capítulo 10 (*Quality of Visual Environment*) afirma que o ideal é um IRC (índice de reprodução de cor) de 80 para ambientes internos onde existam operários trabalhando durante longos períodos. No entanto, no capítulo 19 (*Industrial Lighting*) admite que um IRC de 65 é adequado para a maioria dos ambientes industriais. Neste caso, as lâmpadas de vapor de sódio não são recomendadas, pois embora sejam as mais eficientes em termos de consumo de energia, têm um IRC de aproximadamente 30. O mais indicado seria a utilização de lâmpadas de vapor metálico, com IRC de aproximadamente 70.

9. LÂMPADAS

Segundo pesquisa realizada pela ABILUX, o mercado de iluminação no Brasil é homogêneo, com o segmento de iluminação industrial concentrando 13% das empresas do setor. A maioria das empresas do ramo têm em média 20 anos de atuação. A figura 62 mostra a divisão das empresas de iluminação de acordo com suas áreas principais de atuação.

Fonte: ABILUX, 2005

Figura 62 - Área de atuação das empresas do setor de iluminação no Brasil

A linha de produtos fabricados pelo setor, embora muito diversificada (entre os diversos setores), é bastante homogênea (no tipo de equipamento). A figura 63 mostra o faturamento no segmento de iluminação industrial de acordo com o tamanho da empresa. Pode-se notar que as médias empresas são bastante presentes na indústria, tendo a maior parcela do faturamento (39%). No entanto, as grandes empresas de equipamentos para iluminação são responsáveis por 38% do faturamento – as quatro maiores são Philips, Osram, Sylvania e General Eletric (OLIVEIRA, 2004) - e são focadas principalmente em lâmpadas e seus equipamentos auxiliares e dedicam menos atenção às luminárias.

Fonte: ABILUX, 2005

Figura 63: Faturamento do segmento de iluminação industrial

Existem alguns fabricantes de lâmpadas menores e muitas lâmpadas importadas da China (ver tabela 12), de qualidade duvidosa, principalmente no caso de lâmpadas fluorescentes compactas.

Tabela 12 - Importação de lâmpadas fluorescentes no Brasil no período de 1998 a 2001.

País de Origem	Ano			
	1998	1999	2000	2001*
1. Alemanha	4.537.738 (12%)	4.021.862 (18%)	4.793.366 (14%)	4.757.616 (9%)
2. China – RPC (Participação no mercado)	7.450.601 (21%)	6.942.593 (31%)	18.214.114 (55%)	36.613.326 (67%)
3. Formosa (Taiwan)	393.692 (1%)	901.540 (4%)	296.056 (1%)	554.576 (1%)
4. Coréia do Sul	762.469 (2%)	774.650 (3%)	1.492.170 (5%)	3.238.648 (6%)
5. EUA (Participação no mercado)	10.667.306 (30%)	5.076.327 (23%)	3.090.002 (9%)	1.288.452 (2%)
6. Hong Kong	1.402.960 (4%)	824.590 (4%)	1.450.335 (4%)	4.582.719 (9%)

Fonte: Secretaria de Comércio Exterior – SECEX

Também é fabricada na China e importada pelo resto do mundo a nova tecnologia para iluminação, os LEDs (diodos emissores de luz) que, no entanto, têm

pouca aplicação como sistema de iluminação para indústrias até o momento, se restringindo-se a poucas luminárias portáteis, como o exemplo da figura 64.

Fonte: Nutsteel, 2001; Centaurea, 2007.

Figura 64 – Luminária portátil com LEDs para uso em áreas classificadas

Quanto a luminárias, há uma infinidade de fabricantes, fornecedores e representantes das mais variadas categorias. Existem algumas empresas focadas na indústria e diversas empresas atendendo a vários segmentos. Embora o uso industrial represente 13% do setor, 39% das empresas brasileiras fabricam equipamentos para atender a este segmento (ABILUX, 2005).

No foco da fabricação de luminárias para áreas classificadas existem algumas empresas direcionadas especificamente para este mercado, dentre elas pode-se citar Nutsteel, Blinda, Alpha e Lumens/Peterco.

9.1 Lâmpadas de descarga

As lâmpadas mais indicadas para espaços amplos e com pés direitos muito altos são as lâmpadas de descarga de alta intensidade, pois são as que têm maior alcance e maior rendimento (IESNA, 2000) – para lâmpadas de vapor de sódio o fluxo luminoso pode chegar a 130.000 lm e o rendimento a 150 lm/W (comparado com 17 lm/W para lâmpadas incandescentes e 4450 lm e 82 lm/W para lâmpada fluorescente tubular T5 54W) (PHILIPS, 2004). Para alturas até cerca de 6m lâmpadas fluorescentes tubulares modelo T8 e T5 (que são as lâmpadas do tipo fluorescente mais eficientes atualmente, lançadas em 1995) também são indicadas. Lâmpadas fluorescentes compactas duplas e triplas têm bom rendimento, em torno de 80 lm/W, e podem ser utilizadas em luminárias menores (como luminárias redondas).

Nas lâmpadas de descarga utilizadas em iluminação, a luz é produzida através da radiação emitida pela descarga elétrica de uma mistura gasosa composta de gás(es) inerte(s) e vapor(es) metálico(s). A mistura gasosa encontra-se confinada em um invólucro translúcido (tubo de descarga) em cujas extremidades estão inseridos eletrodos (hastes metálicas ou filamentos) que formam a interface entre a descarga e o circuito elétrico de alimentação (WAYMOUTH, 1980).

Ao contrário da lâmpada incandescente, na qual o filamento metálico é um condutor elétrico, na lâmpada de descarga o composto metálico, que é o responsável pela emissão de radiação, encontra-se em estado sólido ou líquido na temperatura ambiente e o gás inerte no interior do tubo (conhecido como gás de enchimento ou “*filling gas*”) é o isolante. Portanto, inicialmente é necessário um processo de ignição para o rompimento da rigidez dielétrica da coluna gasosa. O calor gerado pela descarga através do gás inerte nos instantes iniciais, após a partida da lâmpada, vaporiza o composto metálico (GOUVÊA, 2005), gerando a luz.

Após a partida, a lâmpada de descarga apresenta uma impedância dinâmica (derivada da tensão em relação à corrente) negativa, ou seja, à medida que a corrente na lâmpada aumenta, a diferença de potencial entre os seus terminais diminui. Portanto, toda lâmpada de descarga necessita de um elemento com impedância positiva ligado em série para estabilizar a corrente no ponto de operação nominal da lâmpada, ou seja, de um reator.

As lâmpadas de descarga são classificadas pela pressão no interior do tubo (com a lâmpada em operação) em lâmpadas de descarga de baixa pressão e lâmpadas de descarga de alta pressão.

9.1.1 Lâmpadas de descarga de baixa pressão (fluorescentes)

As lâmpadas de descarga de baixa pressão apresentam como características a pressão dos vapores metálicos da ordem de 10^{-4} a 10^{-5} atmosfera; a potência variando entre 0,5 W/cm e 2 W/cm; eletrodos em forma de filamentos; espectro da radiação caracterizado por bandas; tubo de descarga com diâmetro entre 1,6 cm (T5) e aproximadamente 3,8 cm (T12) e comprimento variando entre 36 cm a aproximadamente 2,40m para as lâmpadas que são fabricadas atualmente.

Existem basicamente dois tipos de lâmpadas comerciais: as lâmpadas de descarga de baixa pressão de vapor de mercúrio, conhecidas como lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas de descarga de baixa pressão de vapor de sódio. As lâmpadas de sódio de baixa pressão são monocromáticas e seu índice de reprodução cores é muito reduzido (HENDERSON & MASDEN, 1972). Elas são utilizadas na Europa para iluminação viária de auto estradas. No Brasil não são utilizadas devido a dificuldade na manutenção e descarte da lâmpada.

As lâmpadas fluorescentes foram desenvolvidas na década de 1940 e são conhecidas comercialmente como lâmpadas fluorescentes tubulares em função da geometria do seu tubo de descarga, com aplicações em diferentes tipos de ambiente. O tubo de descarga, um vidro transparente, é revestido internamente com uma camada de pó branco, genericamente conhecido como "fósforo". O "fósforo" atua como um conversor de radiação, ou seja, absorve um comprimento de onda específico ($\lambda = 253,7 \text{ nm}$) de radiação ultravioleta, produzida por uma descarga de vapor de mercúrio a baixa pressão, para emitir luz visível (ELENBAAS, 1972).

As lâmpadas fluorescentes disponíveis no mercado utilizam bulbos de vidro transparente, historicamente designados por uma letra T (de tubular) seguida de um número que indica o seu diâmetro máximo em oitavos de polegada. Por exemplo, T12 significa um bulbo tubular com diâmetro de 12/8 polegadas (PHILIPS, 2004).

A figura 65 mostra a estrutura interna de uma lâmpada fluorescente tubular e ilustra o seu princípio de funcionamento.

Fonte: GOUVÊA, 2005

Figura 65 - Estrutura interna e princípio de funcionamento de uma lâmpada fluorescente tubular.

As características colorimétricas (temperatura de cor correlata, reprodução de cores) e a eficácia da lâmpada fluorescente são determinadas pela composição e espessura do pó fluorescente ("fósforo"). Os "fósforos" são compostos que emitem luz por fluorescência quando expostos à radiação ultravioleta. São fabricados a partir de substâncias de elevada pureza, cuja estrutura cristalina é modificada pela adição de ativadores, que determinam a distribuição espectral da radiação emitida. Na década de 1980 foi desenvolvida uma nova família de "fósforos", conhecida comercialmente como "tri fósforos" ou "fósforos tri-estímulo", que é constituída de três compostos, cada um com banda de emissão estreita e centrada nos comprimentos de onda do azul, vermelho e verde, respectivamente. A combinação adequada destes compostos, juntamente com uma camada de halofosfato, possibilitou uma melhora no índice de reprodução de cores e um aumento considerável na eficácia luminosa, ou seja, permitiu a construção de lâmpadas com menor potência para emissão do mesmo fluxo luminoso.

Em 1991 foi introduzida no mercado a primeira lâmpada fluorescente sem eletrodos, acionada por indução através de um gerador HF. As lâmpadas de indução QL têm uma duração que pode chegar até 100.000 h (PHILIPS, 2007).

Em 1995 surgiu o sistema T5, com uma fina ampola fluorescente de apenas 16 mm de diâmetro, que reduziu consideravelmente os custos totais de funcionamento e permitiu uma substancial diminuição em termos de consumo energético e de materiais. Devido ao tamanho reduzido das lâmpadas, os sistemas ópticos e os aparelhos de iluminação passaram a oferecer uma maior liberdade e flexibilidade no *design* (PHILIPS, 2007).

Em 1997 foram lançadas lâmpadas fluorescentes TL, lâmpadas totalmente recicláveis (PHILIPS, 2007).

A tabela 13 mostra a comparação entre algumas lâmpadas fluorescentes tubulares existentes atualmente no mercado.

Tabela 13 - Características de algumas lâmpadas fluorescentes

Lâmpadas Fluorescentes Tubulares TLT, TLD Série 80 e 90 e TL5							
Código Comercial	Potência (W)	Base	Temperatura de cor (K)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Dimensões em mm Ø Comprimento
Fluorescentes TLTRS Pro Série 80							
TLTRS20W-S84-25 Pro	20	G13	4.000	1.350	67	85	33,5 604,0
TLTRS20W-S85-25 Pro	20	G13	5.000	1.300	65	85	33,5 604,0
TLTRS40W-S84-25 Pro	40	G13	4.000	3.250	81	85	33,5 1213,6
TLTRS40W-S85-25 Pro	40	G13	5.000	3.150	78	85	33,5 1213,6
TLTRS-110W-S84 Pro	110	DCE	4.000	9.500	86	85	33,5 2385,2
TLTRS-110W-S85 Pro	110	DCE	5.000	9.500	86	85	33,5 2385,2
Aplicações: Iluminação comercial, industrial, residencial e demais locais que priorizem qualidade de luz e eficiência do sistema (escritórios, oficinas, cozinhas etc.).							
Fluorescentes MASTERLDRS Série 80							
MASTER LDRS 16W-S83-25	16	G13	3.000	1.200	75	85	26,0 604,0
MASTER LDRS 16W-S84-25	16	G13	4.000	1.200	75	85	26,0 604,0
MASTER LDRS 16W-S85-25	16	G13	5.000	1.150	71	85	26,0 604,0
MASTER LDRS 32W-S83-25	32	G13	3.000	2.700	84	85	26,0 1213,6
MASTER LDRS 32W-S84-25	32	G13	4.000	2.700	84	85	26,0 1213,6
MASTER LDRS 32W-S85-25	32	G13	5.000	2.600	81	85	26,0 1213,6
MASTER TLD 18W/830	18	G13	3.000	1.350	75	85	28,0 604,0
MASTER TLD 36W/830	36	G13	3.000	3.350	93	85	28,0 1213,6
MASTER TLD 18W/840	18	G13	4.000	1.350	75	85	28,0 604,0
MASTER TLD 36W/840	36	G13	4.000	3.350	93	85	28,0 1213,6
MASTER TLD 58W/840	58	G13	4.000	5.200	89	85	28,0 1514,2
Aplicações: Iluminação comercial, industrial, residencial e demais locais que priorizem qualidade de luz e eficiência do sistema (escritórios, oficinas, cozinhas etc.).							
Fluorescentes MASTER TLD Série 90							
MASTER TLD 18W/930	18	G13	3.000	940	52	95	28,0 604,0
MASTER TLD 18W/940	18	G13	3.800	1.000	55	95	28,0 604,0
MASTER TLD 18W/965	18	G13	6.500	870	48	95	28,0 604,0
MASTER TLD 36W/930	36	G13	3.000	2.250	62	95	28,0 1213,6
MASTER TLD 36W/940	36	G13	3.800	2.400	67	95	28,0 1213,6
MASTER TLD 36W/965	36	G13	6.500	2.100	58	95	28,0 1213,6
MASTER TLD 58W/965	58	G13	6.500	3.350	58	95	28,0 1514,2
Aplicações: Iluminação comercial, industrial e demais locais que priorizem altíssima qualidade de luz e eficiência do sistema (museus, galerias de arte, lojas, gráficas, indústrias têxteis, indústrias químicas etc.).							
Fluorescentes MASTER TL5							
MASTER TL5-14W-HE/830	14	G5	3.000	1.350	96	85	17,0 563,2
MASTER TL5-14W-HE/840	14	G5	4.000	1.350	96	85	17,0 563,2
MASTER TL5-14W-HE/850	14	G5	5.000	1.350	96	85	17,0 563,2
MASTER TL5-28W-HE/830	28	G5	3.000	2.900	103	85	17,0 1163,2
MASTER TL5-28W-HE/840	28	G5	4.000	2.900	103	85	17,0 1163,2
MASTER TL5-28W-HE/850	28	G5	5.000	2.900	103	85	17,0 1163,2
MASTER TL5-54W-HO/840	54	G5	4.000	4.450	82	85	17,0 1163,2

Fonte: PHILIPS, 2004

As novas tecnologias de lâmpadas a que se tem acesso hoje são bem superiores se comparadas às do passado. Hoje uma lâmpada fluorescente modelo T5 de 28W emite maior quantidade de luz que uma lâmpada fluorescente de 36W emitia há alguns anos atrás, possui uma vida útil mais longa (hoje dura cerca de 7.500h – OSRAM, 2007) e tem um bulbo 55% menor que a anterior, cerca de 16 mm. Além disto, a economia do custo de energia é estimada em 28% pela simples substituição de uma lâmpada T8 por uma modelo T5 (PHILIPS, 2007), que só opera com reatores eletrônicos, afastando o risco de efeitos estroboscópicos indesejáveis. As novas

lâmpadas também têm níveis de mercúrio muito mais baixos se comparadas às lâmpadas com fabricação anterior a 2005, isto para atender a diretiva européia que se tornou lei em junho de 2006, obrigando as empresas a diminuir o nível de materiais perigosos ao meio-ambiente.

Para grandes galpões existem algumas lâmpadas fluorescentes que são recomendadas, como a lâmpada fluorescente tubular T5 de 54W (também conhecida como HO, 1150mm) que emite 5000 lm e tem uma eficiência luminosa de 92 lm/W (PHILIPS, 2007), diminuindo o número de luminárias e o número de equipamentos para manutenção. Esta lâmpada possui um índice de reprodução de cores de 85 (igual a todas as outras lâmpadas fluorescentes fabricadas por indústrias idôneas) e um baixo consumo de energia.

Hoje também é possível simular a passagem de luz do sol por meio da tonalidade de cor das lâmpadas fluorescentes, disponíveis em temperaturas de cor entre 2700K e 8000K (OSRAM, 2006/2007). Tal efeito é obtido instalando-se lâmpadas de forma alternada nas luminárias, e conectando-as com um sistema de automação que vai ligá-las e desligá-las de forma a acompanhar o que acontece no ambiente externo.

No início deste ano (2007) foi lançada uma lâmpada fluorescente que tem uma durabilidade extremamente longa, chegando a 60.000 horas (o que na prática significa uma vida útil de até 14 anos) e que pode ser vista na figura 66. Nesta lâmpada a energia é “injetada” em um campo eletromagnético gerado externamente possibilitando a longa durabilidade da lâmpada.

Fonte: Osram, 2006/2007

Figura 66 – Lâmpada fluorescente de vida longa

9.1.2 Lâmpadas de descarga de alta pressão

As lâmpadas de descarga de alta pressão, também conhecidas como lâmpadas HID (*High Intensity Discharge*), utilizam vapores metálicos, em geral mercúrio e/ou sódio, a pressões da ordem de 1 a 10 atmosferas, e operam com uma densidade de potência de arco da ordem de 20 a 200 W/cm. A radiação emitida pela descarga apresenta uma distribuição espectral contínua, sobre a qual se encontram superpostas as raíais predominantes dos átomos que constituem o vapor metálico. Os eletrodos são bastões irradiadores e o tubo de descarga tem dimensões reduzidas (diâmetro de mm e comprimento de cm) (GOUVÊA, 2005).

Existem três tipos básicos de lâmpadas comerciais: vapor de mercúrio de alta pressão, sódio de alta pressão e as lâmpadas de alta pressão de vapores metálicos.

A variação na temperatura de cor entre lâmpadas de um mesmo modelo é uma característica inerente às lâmpadas *HID*. Ela é influenciada por variações nas condições de operação e não uma indicação de falha da lâmpada ou do sistema. Ao longo da vida útil da lâmpada normalmente ocorre um gradual deslocamento da temperatura de cor inicial da lâmpada para uma temperatura de cor mais quente (GE, 2002).

9.1.2.1 Lâmpada de vapor de mercúrio

A lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão ou *HPM* (*High Pressure Mercury*) é constituída por um tubo de descarga transparente, de dimensões reduzidas, inserido em um bulbo de vidro, que é revestido internamente por uma camada de "fósforo" para correção do índice de reprodução de cor (figura 67).

Fonte: GOUVÊA, 2005

Figura 67 - Estrutura interna e princípio de funcionamento de uma lâmpada de vapor de mercúrio.

O bulbo de vidro transparente, com formato ovóide, contém nitrogênio, que forma uma atmosfera protetora para reduzir a oxidação de partes metálicas, limita a intensidade da radiação ultravioleta que atinge o revestimento de "fósforo" e melhora as características de isolamento térmico.

Nos instantes iniciais da descarga a lâmpada emite uma luz verde clara e a intensidade luminosa aumenta gradativamente até estabilizar-se após 6 a 7 minutos, quando a luz se torna branca com uma tonalidade levemente esverdeada.

A luz emitida por uma lâmpada sem revestimento de fósforo, apresenta um baixo índice de reprodução de cor ($CRI = 20$) devido à ausência de raios vermelhas. O "fósforo" utilizado em lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão tem uma banda de emissão de 620 nm a 700 nm que consegue melhorar significativamente o índice de reprodução ($CRI = 50$) (GOUVÊA, 2005).

A tensão de ignição da lâmpada aumenta com a pressão de vapor de mercúrio, ou seja, com a temperatura do tubo de descarga. Quando se desliga uma lâmpada alimentada por um reator indutivo convencional, a sua reignição só é possível após 3 a 5 minutos, que é o intervalo de tempo necessário para o esfriamento da lâmpada e conseqüente queda de pressão.

A Tabela 14 apresenta as características de alguns modelos comerciais com revestimento de "fósforo" e base com rosca tipo Edison, utilizada nas lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão.

Tabela 14 - Características de alguns modelos de lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão.

Código Comercial	Potência (W)	Base	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Temperatura de cor (K)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Dimensões em mm	
Lâmpada de Vapor de Mercúrio - HPL-N								
HPLN80W	80	E27	3.700	46	4.300	48	71,0	155,0
HPLN125W	125	E27	6.200	50	4.100	46	76,0	174,0
HPLN250W	250	E40	12.700	51	4.100	40	91,0	228,0
HPLN400W	400	E40	22.000	55	3.900	40	121,5	290,0

Fonte: Philips, 2004

A lâmpada de mercúrio apresenta fluxo luminoso elevado e vida útil longa, porém, a sua eficácia luminosa é relativamente baixa. Ela está atualmente sendo substituída por lâmpadas mais eficientes, como lâmpadas de vapor de sódio para o caso de iluminação pública e lâmpadas de vapor metálico para iluminação de galpões industriais.

9.1.2.2 Lâmpada de vapor de sódio

A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão HPS (*High Pressure Sodium*) é constituída por um tubo de descarga cilíndrico e translúcido, com um eletrodo em cada extremidade. O tubo de descarga é sustentado por uma estrutura mecânica, sob vácuo, no interior em um bulbo de vidro borossilicado, com formato ovóide ou cilíndrico (GOUVÊA, 2005). A Figura 68 apresenta a estrutura interna de uma lâmpada HPS com bulbo cilíndrico.

Fonte: GOUVÊA, 2005

Figura 68 - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão

A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão começou a ser produzida em escala industrial na década de 60 (GROOT & VLIET, 1986), após a síntese da alumina policristalina ou p.c.a. (*policrystalline aluminium oxide*). O p.c.a. é um material cerâmico com elevado ponto de fusão, translúcido (coeficiente de transmissão de luz de 90%) e resistente quimicamente ao vapor de sódio sob alta pressão e temperatura elevada.

O bulbo das lâmpadas HPS é em geral transparente ou tem um revestimento de “fósforo” neutro para tornar a superfície difusa, sem alterar a distribuição espectral da luz emitida. A lâmpada de vapor de sódio convencional apresenta, em geral, um baixo índice de reprodução de cor ($IRC < 25$), porém tem elevada eficácia luminosa (120 lm/W para a lâmpada de 400 W) e vida útil longa (24.000 horas). No entanto, existem lâmpadas especiais que apresentam um elevado índice de reprodução de cor ($CRI = 85$), porém, com baixa eficácia luminosa, cerca de 80 lm/W. Alguns exemplos de lâmpadas de vapor de sódio comercializadas atualmente podem ser vistos na tabela 15.

Tabela 15 - Características de alguns modelos de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão.

	Código Comercial	Potência (W)	Base	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Temperatura de cor (K)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Dimensões em mm	
								Ø	Altura
	Lâmpada de Vapor de Sódio - SON Pro								
	SON70W-E Pro	70	E27	5.600	80	1.950	25	71,0	156,0
	SON100W-E Pro	100	E40	9.000	90	1.950	25	76,0	186,0
	SON150W-E Pro	147	E40	14.500	97	1.950	25	91,0	226,0
	SON250W-E Pro	250	E40	27.000	108	1.950	25	91,0	226,0
	SON400W-E Pro	400	E40	48.000	120	1.950	25	122,0	290,0
	Lâmpada de Vapor de Sódio - SON-H								
	SONH220W	220	E40	20.000	91	2.000	25	91,0	226,0
	SONH350W	350	E40	34.000	97	2.000	25	122,0	290,0
	Aplicações: Iluminação pública e demais locais que priorizem a alta eficiência do sistema, uma vez que as lâmpadas de vapor de sódio são as mais eficientes do mercado. Apresentam qualidade de luz regular (IRC<25).								
	Lâmpada de Vapor de Sódio - SON-T Pro								
	SONT100W-RE Pro	100	E40	9.500	95	1.950	25	47,0	211,0
	SONT150W-RE Pro	150	E40	15.000	100	1.950	25	47,0	211,0
	SONT250W-RE Pro	250	E40	28.000	112	1.950	25	47,0	257,0
	SONT400W-RE Pro	392	E40	48.000	120	1.950	25	47,0	283,0
	SONT1000W Pro	1000	E40	130.000	130	1.950	25	66,0	390,0
	Lâmpada de Vapor de Sódio - MASTER SON (T) Plus PIA								
	MASTER SON Plus 100W	100	E40	10.200	100	2.000	23	76,0	186,0
	MASTER SON Plus 150W	150	E40	17.000	107	2.000	23	91,0	226,0
	MASTER SON Plus 250W	250	E40	31.100	120	2.000	23	91,0	226,0
	MASTER SON Plus 400W	400	E40	55.500	135	2.000	23	122,0	290,0
	MASTER SONT 70W-Plus	70	E27	6.600	94	2.000	23	32,0	156,0
	MASTER SONT 100W-Plus	100	E40	10.700	105	2.000	23	47,0	211,0
	MASTER SONT 150W-Plus	150	E40	17.500	110	2.000	23	47,0	211,0
	MASTER SONT 250W-Plus	250	E40	33.200	128	2.000	23	47,0	257,0
	MASTER SONT 400W-Plus	400	E40	56.500	138	2.000	23	47,0	283,0
	MASTER SONT 600W-Plus	600	E40	90.000	150	2.000	23	47,0	283,0
	Aplicações: Iluminação pública e demais locais que priorizem a alta eficiência do sistema, uma vez que as lâmpadas de vapor de sódio são as mais eficientes do mercado. Apresentam qualidade de luz regular (IRC<25).								

Fonte: Philips, 2004

Para a estabilização da lâmpada, a utilização de reatores indutivos é atualmente a melhor solução sob o aspecto técnico-econômico. Nas lâmpadas HPS convencionais, esta função é desempenhada por um dispositivo externo à lâmpada, conhecido por ignitor. Existem dois tipos de ignitores: o ignitor conjugado, utilizado em conjunto com um reator indutivo com derivação, conforme mostrado na figura 69 (a) e o ignitor independente do reator, apresentado na figura 69 (b).

Fonte: GOUVÊA, 2005

Figura 69 – Reator e ignitor para lâmpada de vapor de sódio de alta pressão

A tensão de arco da lâmpada é fortemente dependente da temperatura e aumenta naturalmente ao longo da sua vida útil. Portanto, as lâmpadas HPS necessitam de luminárias com características geométricas especiais, para limitar o aquecimento do tubo de descarga pela reflexão das componentes infravermelhas do espectro geradas pela lâmpada. Caso contrário, podem ocorrer aumentos anormais da tensão de arco e uma redução significativa da vida útil da lâmpada (GOUVÊA, 2005).

Quando se desliga uma lâmpada HPS alimentada por um reator indutivo com ignitor convencional, a sua reignição só é possível após 3 a 7 minutos, intervalo de tempo necessário para o esfriamento da lâmpada.

Pode-se verificar que a eficácia da lâmpada HPS é 50% maior que a lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão. Por outro lado, o investimento inicial para uma instalação com lâmpadas HPS é significativamente superior, mas a economia de energia ao longo da vida útil pode viabilizar a instalação.

As lâmpadas HPS com dispositivo de ignição interno são projetadas para serem intercambiáveis com lâmpadas de vapor de mercúrio, ou seja, utilizando o mesmo reator e dispensando o ignitor (PHILIPS, 2004). O tubo de descarga é monolítico e similar ao da lâmpada HPS convencional. Geralmente adiciona-se argônio ou neônio para reduzir a tensão de ignição e utiliza-se uma concentração de mercúrio mais elevada, para se obter uma tensão de arco próxima à da lâmpada de mercúrio de alta pressão.

As lâmpadas HPS com ignitor incorporado de 110 W, 210 W e 350 W podem ser utilizadas no lugar das lâmpadas de mercúrio de alta pressão de 125 W, 250 W e 400 W, respectivamente. A eficácia da lâmpada HPS com ignitor interno é similar à da HPS convencional, porém sua vida útil é 30% menor (GOUVÊA, 2005).

9.1.2.3 Lâmpadas de vapor metálico

A lâmpada de vapor metálico HPMH (*High pressure metal halide*) é construtivamente semelhante à lâmpada de mercúrio de alta pressão, ou seja, utiliza um tubo de descarga de sílica fundida inserido no interior de um bulbo de quartzo transparente. Os modelos mais comuns são do tipo lapiseira, ilustrado na figura 70.

Fonte: GOUVÊA, 2005

Figura 70 - Lâmpada de vapor metálico

O tubo de descarga contém vapor de mercúrio (que é o gás de ignição) e mais um coquetel de metais (sódio, tálio, índio, disprósium, zinco). A temperatura de vaporização dos metais é em geral superior à máxima temperatura suportável pelo material do tubo de descarga. Já o metal na forma de um haleto vaporiza a uma temperatura significativamente inferior. Geralmente utilizam-se iodetos, pois são quimicamente menos reativos. A adição de metais introduz raios no espectro que melhoram as características de reprodução de cores da lâmpada. Um ciclo regenerativo similar ao das lâmpadas incandescentes halógenas ocorre nas lâmpadas HPMH.

A maioria das lâmpadas com potências entre 70 e 400 W utilizam os mesmos ignitores e reatores das lâmpadas HPS.

As lâmpadas de vapor metálico apresentam uma eficácia luminosa de 65 a 100 lm/W e um índice de reprodução de cores superior a 80. A sua vida útil atualmente chega a 15.000h, no entanto existem diversos modelos com vida útil de apenas 6.000h. São comercialmente disponíveis lâmpadas de 70 W a 2000 W, sendo utilizadas em aplicações onde se exige boa reprodução de cores, como por exemplo, em estúdios cinematográficos, iluminação de vitrines e na iluminação de eventos com transmissão pela televisão.

Atualmente existem muitos galpões que utilizam lâmpadas de vapor de sódio. Em diversos deles tem-se substituído as lâmpadas antigas por novas de vapores metálicos, com boa reprodução de cor, vida útil adequada e um menor consumo de energia. A figura 71 mostra uma lâmpada atual de vapor metálico.

Recomenda-se a utilização das lâmpadas de vapor metálico em luminárias fechadas com vidro frontal, embora todas as lâmpadas possuam um bulbo com tecnologia que filtra a radiação emitida pela lâmpada. Não há necessidade de um filtro de UV adicional (OSRAM, 2007).

Fonte: Osram, 2007

Figura 71 – Exemplo de lâmpada de multi-vapores metálicos

A figura 72 mostra um comparativo de consumo entre lâmpadas de descarga de alta intensidade.

Fonte: Philips, 2004

Figura 72 - Comparativo de consumo entre lâmpadas de descarga de alta intensidade. Dados utilizados: carga horária - 12 h/dia; dias úteis - 22 dias/mês; custo de energia - R\$ 0,25 kWh.

As lâmpadas de descarga em geral possuem seu fluxo luminoso inalterado mesmo com variações de temperaturas extremas e, por este motivo, são amplamente utilizadas em ambientes externos (OSRAM, 2007).

É preciso ter cuidado com a vibração dos ambientes em que as lâmpadas serão instaladas, pois as lâmpadas de descarga em alta pressão são sensíveis e pode haver rompimento do tubo de descarga e queima precoce das lâmpadas.

10. LUMINÁRIAS

As luminárias são responsáveis por aproveitarem a capacidade de emissão de luz de uma lâmpada direcionando os raios para o local desejado e controlando de maneira adequada sua distribuição (IESNA, 2000; GE, 2002).

O rendimento de uma luminária é o valor resultante da divisão entre o número total de lúmens emitido pela luminária pelo total de lúmens emitido pelas lâmpadas da mesma luminária (IESNA, 2000).

As luminárias são constituídas por lâmpadas, dispositivos ópticos, soquetes e partes mecânicas, necessárias para sustentá-las e afixá-las no local desejado. O tamanho, material, propriedades térmicas, desempenho fotométrico e tensão da luminária dependem do tipo de lâmpada a ser utilizada.

Os quatro tipos mais comuns de componentes de uma luminária para controle de luz são: refletores, refratores, difusores e grelhas (*louver*)/ protetores.

O refletor (figura 73) é produzido geralmente de um metal revestido ou de um plástico com alta refletância. Sua forma é dada de maneira que redirecione a luz emitida pela lâmpada por reflexão. Refletores de metal são polidos e quimicamente revestidos. Os refletores feitos de plástico normalmente têm acabamento em alumínio anodizado.

Fonte: IESNA, 2000

Figura 73 – Exemplos de refletores: (a) facetado linear, (b) e (c) redondo especular e de alumínio ranhurado, (d) refletor facetado, (e) refletor com rebatimento.

Às vezes, o refletor não precisa ter um direcionamento preciso, basta ter uma alta refletância. Um exemplo disto são os refletores de metal pintados de branco, ligeiramente especulares, utilizados em luminárias para lâmpadas fluorescentes. Refletores difusos têm pouco efeito na distribuição de luz e são incomuns.

O refrator (figura 74) é o componente da luminária responsável por mudar a direção da luz no momento em que ela passa pelos limites de materiais com

diferentes densidades ópticas, por exemplo, do ar para o vidro ou do ar para acrílico. O material utilizado é normalmente o vidro ou acrílico, moldados de forma que a luz é redirecionada ao passar pelo material. Essa refração é dada por meio de prismas, que são extrudados (levantados) da superfície do material ou estão gravados nele.

Fonte: IESNA, 2000

Figura 74 – Exemplos de refratores: (a) lente prismática acoplada a superfície, (b) aletas, (c) refrator em vidro, (d) refrator tipo *Fresnel*, (e) envoltório com lente prismática, (f) lente prismática, (g) refrator prismático, (h) lente refratora com aletas

Pequenos prismas agindo em conjunto podem destruir as imagens parcialmente, escurecer lâmpadas e reduzir a luminância. Em alguns casos, a folha que contém os prismas, utilizada na fabricação dos refratores, é confeccionada de forma a proporcionar um controle adicional da luz. Outra aplicação dos refratores se aproveita da reflexão interna total. Nesse caso, o material refratário é moldado de forma que a luz passe por sua primeira superfície e a maior parte seja refletida na segunda superfície, de volta para o material, e dali para fora da primeira superfície. Algumas luminárias industriais feitas de vidro e acrílico usam esse tipo de controle de luz. Uma lente transparente pode ser utilizada para barrar a radiação ultravioleta (IESNA, 2000).

O difusor (figura 75) é o elemento que controla a luz, redirecionando seus feixes em várias direções. O difusor pode ser de vários materiais, entre eles plástico branco, vidros serigrafados ou jateados.

Fonte: IESNA, 2000

Figura 75 – Exemplos de difusores: (a) e (b) difusores brancos envoltórios (c) difusor gelatinoso cilíndrico (d) difusor injetado em vidro.

As máscaras e os protetores (figura 76) são feitos de materiais opacos ou translúcidos para reduzir ou eliminar a visão direta da lâmpada. Se o arranjo é em uma grade retangular, produzindo pequenas divisões, são chamadas grelhas. Se arranjo é linear, são chamados defletores.

Fonte: IESNA, 2000

Figura 76 – Exemplos de defletores, grelhas e protetores: (a), (b) e (c) grelhas, (d) defletor em forma de cruz, (e) protetor para luminárias industriais, (f) protetores e refletores.

A luminária deve ter o refletor e lentes adequados e corpo deve ser fabricado em material resistente à oxidação e ao meio-ambiente em que será instalada.

O projeto da luminária afeta a temperatura ambiente na qual a lâmpada vai operar. Uma luminária que opera muito fria ou muito quente vai reduzir o fluxo luminoso da lâmpada (por exemplo, fluorescente) e conseqüentemente os níveis de iluminação (GE, 2002).

Os componentes mecânicos da luminária são a caixa, a estrutura geral da luminária e o mecanismo de montagem para afixar a luminária (figura 77).

Fonte: IESNA, 2000

Figura 77 – Exemplos de componentes mecânicos das luminárias: (a) e (b) componentes para lâmpadas fluorescentes, (c) luz direta (*downlight*) para lâmpada fluorescente compacta, (d) montagens e instalações elétricas para uma luminária tipo pendente

Se a luminária utilizar um refrator ou uma lente transparente, a estrutura ou as tampas de fechamento articuladas possuirão normalmente um dispositivo para prender essa lente. O acesso para a limpeza e troca da lâmpada é feito através destas “tampas”. Para aplicações em áreas úmidas ou molhadas é necessário prever um selo adequado para que a água não penetre na luminária. Em ambientes perigosos ou de segurança aumentada a luminária deve ser selada de forma que mantenha afastados vapores inflamáveis ou explosivos do contato com as altas temperaturas da lâmpada ou de arcos elétricos. Para isto as luminárias têm um índice de proteção (IP) de acordo com a sua resistência à entrada de líquidos e poeiras. A tabela 16 mostra a classificação da CIE de acordo com o grau de proteção contra poeira e umidade. Exemplo: IP65 indica que a luminária é hermética contra poeira (6) e resistente a jatos de água (5).

Tabela 16 - Classificação *CIE* para luminárias de acordo com o grau de proteção contra poeira e umidade.

Grau de Proteção IP XY					
Símbolo	1º Algarismo (X)	Descrição	2º Algarismo (Y)	Descrição	Símbolo
	0	Sem proteção.	0	Sem proteção.	
	1	Proteção contra objetos sólidos maiores que 50 mm.	1	Proteção contra gotas de água.	
	2	Proteção contra objetos sólidos maiores que 12 mm.	2	Proteção contra gotas de água, inclinação 15°.	
	3	Proteção contra objetos sólidos maiores que 2,5 mm.	3	Proteção contra água pulverizada até 60°.	
	4	Proteção contra objetos maiores que 1,0 mm.	4	Proteção contra água pulverizada em qualquer direção.	
	5	Proteção contra poeira.	5	Proteção contra jatos de água (Bico: 6,3 mm / Pressão: 30 Kpa).	
	6	Hermética contra poeira.	6	Proteção contra jatos de água (Bico: 12,5 mm / Pressão: 100 Kpa).	

Fonte: Philips, 2004

Muitas luminárias embutidas são ventiladas para que haja dissipação do calor, o que normalmente diminui o desempenho da lâmpada. Em alguns edifícios, as luminárias são utilizadas como parte integrante dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (IESNA, 2000).

Na figura 78 pode-se ver, em corte, um exemplo dos componentes de uma luminária fluorescente.

Fonte: IESNA, 2000

Figura 78 – corpo de alumínio extrudado, estrutura, refletor, lâmpadas fluorescentes e reatores.

Na figura 79 pode-se ver, em corte, um exemplo dos componentes de uma luminária de descarga de alta intensidade.

Fonte: IESNA, 2000

Figura 79 – carcaça, estrutura, refletor, lâmpada HID, soquete, reator eletromagnético e capacitor.

A CIE classifica as luminárias de acordo com a proporção de luz direta direcionada para cima ou para baixo em:

- diretas – as luminárias direcionam de 90 a 100% da luz para baixo;
- semi-diretas - as luminárias direcionam predominantemente para baixo, cerca de 60 a 90% da luz;
- difusa geral – quando a quantidade de luz direcionada para baixo e para cima são equivalentes (de 40 a 60% da luz para cada direção). Luz direta-indireta é uma categoria especial, fora da CIE, na qual as luminárias emitem pouca luz em ângulos próximos da horizontal;
- semi-indireta - as luminárias direcionam de 60 a 90% da luz para cima;
- indireta - as luminárias direcionam de 90 a 100% da luz para cima.

Para ambientes industriais quatro tipos de luminárias são indicados, segundo a IESNA (2000): luminárias fluorescentes lineares, projetadas para lâmpadas fluorescentes de alto fluxo luminoso (figura 80); luminárias lineares estreitas, projetadas para lâmpadas fluorescentes com a caixa com largura mínima necessária para abrigar os soquetes e reatores (figura 81); luminárias para grandes alturas, com a distribuição da intensidade luminosa variando de um feixe de luz mais estreito para um mais aberto (figura 82); e luminárias para locais com pés direito baixo, com uma distribuição da intensidade luminosa bem aberta (figura 83). Todas elas são luminárias diretas ou semi-diretas, pois nestes ambientes se deseja a máxima

eficiência da luminária e a mínima perda de luz para focos fora da área de trabalho, diferente de ambientes residenciais ou comerciais, onde muitas vezes se deseja um efeito dramático.

Fonte: IESNA, 2000

Figura 80 – Exemplos de luminárias industriais fluorescentes lineares

Fonte: IESNA, 2000

Figura 81 – Exemplos de luminárias industriais estreitas

Fonte: IESNA, 2000

Figura 82 - Exemplos de luminárias industriais para grandes alturas de instalação: (a) refletor aberto metálico, (b) refletor aberto em acrílico, (c) e (d) refletores fechados.

Fonte: IESNA, 2000

Figura 83 - Exemplos de luminárias industriais para P.D. baixos

A manutenção requer a limpeza da luminária e a troca de lâmpadas regularmente. Aberturas e molduras devem ser pivotantes para permitir fácil acesso para troca de lâmpadas e limpeza dos refletores. A presença de sujeira e insetos deve ser considerada quando se especifica determinado tipo de luminária.

10.1 Desempenho das luminárias

O desempenho de uma luminária depende da combinação dos aspectos fotométricos, elétricos e mecânicos.

O desempenho fotométrico descreve a eficiência na qual a luz gerada pela lâmpada é distribuída na área pretendida e é determinado pelas propriedades fotométricas da lâmpada, do projeto, da qualidade dos componentes de controle da luz da luminária e, algumas vezes, também pelos equipamentos auxiliares da

lâmpada. Trata-se da distribuição da intensidade luminosa da luminária. Para gerar um relatório fotométrico (ver figura 84), as medidas elétricas e térmicas são feitas e relatadas frequentemente e incluem a potência de entrada, a tensão de entrada e a temperatura do ar ambiente.

Fonte: IESNA, 2000

Figura 84 – Dados de relatório fotométrico de uma luminária para ambientes internos.

O coeficiente de utilização descreve a eficácia com que a luminária reproduz os lúmens da lâmpada no plano de trabalho horizontal de uma sala retangular. Normalmente os valores dos coeficientes de utilização estão entre 0 e 1. Algumas luminárias internas não foram projetadas ou não tem a intenção de produzir uma luz geral; nestes casos, o coeficiente de utilização não é fornecido (IESNA, 2000).

O desempenho elétrico de uma luminária depende da eficácia com que a luminária gera a luz e o comportamento elétrico de todo o equipamento auxiliar, tal como reatores e ignitores. A eficiência da luminária é determinada pela eficiência da lâmpada e pelo reator, caso este seja necessário, e pela interação entre ambos.

O desempenho mecânico de uma luminária descreve seu comportamento sob estresse. Isto pode incluir extremos de temperatura, presença de água ou pó, choque mecânico e fogo.

O corpo da luminária deve ser produzido a partir de um material que resista bem às agressões do meio em que será instalado. Por exemplo, poliéster resistente a corrosões.

Em geral, o desempenho térmico das luminárias não pode ser isolado em relação à sua utilização. Ele está intimamente ligado ao ambiente. Existem três questões térmicas essenciais: o efeito da luminária na temperatura de operação da

lâmpada, o efeito do calor da lâmpada nos materiais que compõem a luminária, e os efeitos de ventilação.

O ganho de calor do sistema de iluminação pode contribuir tanto com a carga de refrigeração, quanto satisfazer às exigências de aquecimento, dependendo das condições do edifício. Nos edifícios onde não há resfriamento do ar, o calor dos sistemas de iluminação pode superaquecer espaços ocupados.

A iluminação pode contabilizar o uso de 25 a 50% da energia do edifício. O gasto com energia elétrica para refrigerar o edifício, devido ao maior aquecimento imposto pela iluminação, pode somar de 10 a 20% a mais no consumo de energia (IESNA, 2000).

10.2 Luminárias para áreas classificadas

As luminárias comuns são fontes de ignição potencial numa atmosfera explosiva com poeira combustível, seja através do centelhamento dos componentes elétricos ou através de alta temperatura de operação dos seus componentes (lâmpadas, reatores, bornes, entre outros).

Portanto, em galpões com presença de poeira combustível, as luminárias devem estar em conformidade com as requisições para zonas 20, 21 e 22 (de acordo com as normas NBR IEC) e classe II, divisão 1 e 2, grupos E, F e G, conforme NEC (no caso dos Estados Unidos).

A figura 85 mostra um exemplo de luminária para área classificada com a presença de poeira e as características de segurança que seus componentes devem possuir.

Fonte: Cooper Crouse-Hinds, 2005

Figura 85 – Exemplo de luminária indicada para atmosferas explosivas

O grau de proteção IP para estas luminárias deve ser de no mínimo IP 6X, ou seja, a luminária deve ser totalmente protegida contra a penetração de pó. A luminária também deve ter uma proteção “Ex”, que significa que o equipamento foi projetado e construído de tal forma que nenhum de seus componentes elétricos causem centelha ou operem em altas temperaturas, não oferecendo, portanto, risco de explosão quando instalado em atmosferas explosivas (SILVA, 2006).

Na figura 86 há um exemplo de luminária fluorescente admitida em zonas 21 e 22, para lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 18, 36 e 58W, com corpo em poliéster, refletor multiparabólico em policarbonato na cor branca, difusor articulado em policarbonato de alta resistência, junta de vedação (substituível) a prova de tempo em elastômero, com IP 66/67 e dois canais independentes, para que uma das lâmpadas permaneça acesa em caso de queima da outra lâmpada.

Fonte: Nutsteel, 2006

Figura 86 - Luminária fluorescente para zonas 21 e 22 (lâmpada fluorescente tubular T8 58W)

Na figura 87 pode-se ver um exemplo de projetor para lâmpadas de descarga de alta intensidade. Esta luminária pode ser utilizada com diversas lâmpadas mostradas na tabela 17. Como equipamentos auxiliares ao sistema de iluminação, são necessários o reator, o ignitor e o capacitor. Sua proteção é do tipo “Ex d” (a prova de explosão), ou seja, o equipamento é projetado e construído de tal forma que ocorrendo uma explosão no seu interior, a mesma não se propaga para o ambiente externo. O corpo é fabricado em liga de alumínio fundido, com pintura epóxi na cor cinza, a lente é um vidro de alta resistência selado à tampa e o refletor interno é feito em alumínio polido e anodizado. Neste caso, a luminária pode operar em qualquer posição.

Fonte: Nutsteel, 2006

Figura 87 - Projetor para lâmpadas de descarga de alta pressão para zonas 21 e 22

Tabela 17 – Tipos de lâmpadas permitidas para a luminária da figura 86.

Lâmpada		Classe de temperatura (Ta)		
Tipo	Potência (W)	+40°C	+50°C	+55°C
Halógena tubular	2x70W H3 24 V	T4	T4	T4
Vapor de sódio tubular ou ovóide	150	T4	T3	T3
Vapor de sódio tubular ou ovóide	250	T3	T3	T3
Vapor de sódio tubular	400	T3	T3	T3
Vapor de mercúrio ovóide	250	T3	T3	T3
Vapor de mercúrio tubular	400	T3	T3	T3
Vapor metálico tubular ou ovóide	250	T3	T3	T3
Vapor metálico tubular	400	T3	T3	T3
Halógena tubular	500	T2	T2	T2
Halógena tubular	1000	T1	T1	T1

Fonte: Nutsteel, 2006

São esses os principais tipos de luminárias disponíveis no mercado nacional para áreas industriais que contenham atmosferas explosivas decorrentes de poeira.

11. EQUIPAMENTOS AUXILIARES

Para fazer com que sistemas de iluminação para lâmpadas de descarga funcionem, muitas vezes se faz necessário o uso de alguns equipamentos auxiliares, tais como transformadores, reatores e ignitores.

Com a evolução da tecnologia nas últimas décadas, os equipamentos auxiliares estão mais eficientes, consomem menos energia, têm uma maior durabilidade e passaram também a colaborar para que as lâmpadas tenham uma vida útil mais longa.

11.1 Reatores

A maioria das instalações de iluminação com lâmpadas fluorescentes são alimentadas em corrente alternada na frequência usual de rede, no Brasil 60 Hz. Para ignição e estabilização da corrente da lâmpada utiliza-se um dispositivo conhecido popularmente por reator. Existem várias configurações de reatores, desde simples indutores até sofisticados circuitos eletrônicos.

O reator deve realizar basicamente três funções: possibilitar a ignição da lâmpada, estabilizar a corrente da lâmpada no seu valor nominal de operação e atender às especificações da forma de onda normatizadas para a corrente da lâmpada (HENDERSON & MASDEN, 1972). Os tipos de reatores encontrados no mercado são eletromagnéticos e eletrônicos.

Reatores eletromagnéticos (ver figura 88) são constituídos por um núcleo laminado de aço silício (com baixas perdas) e bobinas de fio de cobre esmaltado. São impregnados com resina de poliéster, tendo um grande poder de isolamento e dissipação térmica (PHILIPS, 2004). Operam em frequência de linha (60Hz) e regeneram o arco elétrico da lâmpada aproximadamente 120 vezes por segundo, tempo suficiente para o olho humano perceber a variação de luminosidade do fósforo. Esta sensação visual de que a luminosidade está variando no tempo é conhecida como efeito *flicker* ou efeito estroboscópico. Efeitos estroboscópicos podem ser perigosos em locais onde existem partes de máquinas ou máquinas em movimento, pois podem estar na mesma frequência da lâmpada e não serem vistas pelos trabalhadores, causando acidentes. Para se evitar isto devem ser utilizados reatores eletrônicos.

Fonte: Philips, 2004

Figura 88 – Exemplo de reator eletromagnético para descarga de alta intensidade (a) e para lâmpada fluorescente (b).

Reatores eletrônicos são constituídos por capacitores e indutores para alta frequência, resistores, circuitos integrados e outros componentes eletrônicos. Operam em alta frequência (de 20 kHz a 50 kHz). Essa faixa de operação, quando bem projetada, proporciona maior fluxo luminoso com menor potência, transformando assim os reatores eletrônicos em produtos que economizam energia (30% menor se comparados a reatores eletromagnéticos (OSRAM, 2007)) e operam com maior eficiência (PHILIPS, 2004). Toda lâmpada fluorescente opera com maior eficiência luminosa em frequências superiores a 15kHz. Desta forma, lâmpadas fluorescentes de 1,2m operam com eficiência aproximadamente 10% maior, enquanto fluorescentes de 2,4m melhoram a eficiência em 5% (GE, 2002). Como estes reatores regeneram o arco elétrico mais de 40.000 vezes por segundo, tempo curto demais para que se perceba visualmente esta variação, não existe o problema de efeito estroboscópico.

Em virtude de programas de conservação de energia presentes em muitos países, os reatores eletromagnéticos convencionais foram descontinuados do mercado nos Estados Unidos, Europa e Japão em 2005 (OSRAM, 2007).

Os reatores também são classificados por tipo de partida (ver figura 89) e funcionamento em (PHILIPS, 2004):

- reator eletromagnético de partida convencional: fornece por alguns segundos uma tensão nos filamentos da lâmpada para pré-aquecê-lo e, em seguida, com a utilização de um iniciador (*starter*), proporciona o acendimento da lâmpada fluorescente;
- reator eletromagnético de partida rápida: os filamentos são aquecidos constantemente pelo reator, o que facilita o acendimento da lâmpada em um curto espaço de tempo. Para este tipo de partida não é utilizado o *starter*, mas

o uso de uma luminária (chapa metálica) aterrada é necessário para o perfeito funcionamento das lâmpadas;

- reator eletrônico de partida rápida: o acendimento é controlado eletronicamente pelo sistema de pré-aquecimento dos filamentos da lâmpada. O reator gera uma pequena tensão em cada filamento e, em seguida, uma tensão de circuito aberto entre os extremos da lâmpada. Esta partida possibilita a emissão de elétrons por efeito termo-iônico. O tempo entre a energização do reator e o acendimento da lâmpada ocorre em torno de 1s a 2,5 s;
- reator eletrônico de partida instantânea: não há pré-aquecimento dos filamentos. O reator gera diretamente a tensão de circuito aberto para o acendimento da lâmpada;
- reator eletrônico de partida programada: consiste na combinação das duas partidas anteriores, onde o reator controla além dos valores de tensão, o tempo de pré-aquecimento da lâmpada, fornecendo em seguida a tensão de circuito aberto e posterior acendimento.

Fonte: Philips, 2004

Figura 89 – Tipos de partida dos reatores

Outra questão a ser considerada na especificação de um reator é o fator de potência que ele apresenta. O fator de potência (F.P.) indica o grau de defasagem entre a tensão e a corrente proporcionada pelo reator no circuito. Este valor é fornecido pelo fabricante do reator e revela com qual eficiência uma instalação está utilizando a energia elétrica. Consiste na relação entre a energia consumida (kW) e a energia fornecida pela Concessionária (kVA). Quando o reator de alto fator de potência é utilizado, a corrente elétrica em cada conjunto (lâmpada/reator) diminui quando comparada com o sistema de baixo fator de potência. Isto não implica na

redução de energia, pois a quantidade de lâmpadas é a mesma, mas a economia será facilmente reconhecida na compra dos materiais elétricos necessários a instalação (cabos, disjuntores, fusíveis, eletrodutos, perfilados, entre outros) (PHILIPS, 2004). De acordo com a portaria do DNAEE-1569/93, o fator de potência é considerado alto quando for maior que 0,92, indutivo ou capacitivo.

A variação do fluxo luminoso entre 3 e 100% já é possível para lâmpadas fluorescentes tubulares graças a reatores eletrônicos *dimerizáveis*. Eles têm alto fator de potência, são leves e compactos e possuem elevada durabilidade (cerca de 50.000 h (OSRAM, 2007)). Existem reatores *dimerizáveis* que também incluem o protocolo DALI (Interface de iluminação endereçável digital), possibilitando a automação de todo o sistema de iluminação por meio de um servidor central.

A correta aplicação dos reatores garante um melhor desempenho para os projetos elétrico e luminotécnico, contribuindo diretamente para a manutenção do fluxo luminoso e a vida útil da lâmpada (PHILIPS, 2004). A IESNA recomenda um circuito específico para os reatores (2000).

Em ambientes muito quentes, a temperatura excessiva de operação pode causar a deterioração do isolamento do reator, resultando em uma vida útil menor e ativando possivelmente o dispositivo de proteção do mesmo. Como regra geral, um incremento de 10°C acima dos 90°C (sendo 90°C a temperatura de operação) resulta em uma redução de 50% na vida útil do equipamento. Para operação em baixas temperaturas, lâmpadas fluorescentes e HID requerem tensões mais altas de circuito-aberto para acender (GE, 2002).

Para instalações onde existem lâmpadas de descarga de alta intensidade (vapor de mercúrio, vapor de sódio e vapor metálico), um dos principais cuidados que se deve ter é com a distância entre o reator e a lâmpada. Para isto, deve-se utilizar a recomendação do fabricante para cada equipamento. A tabela 18 mostra um exemplo com as distâncias de instalação adotadas por um fabricante brasileiro.

Tabela 18 – Distâncias máximas recomendadas para a instalação de reatores para lâmpadas HID.

Vapor de Mercúrio	Vapor de Sódio	Vapor Metálico
Até 40 m	Até 6 m	Até 6 m (*)

(*) para as lâmpadas MASTER HPI Plus e HPI-T Plus (Philips) de 250W e 400W podemos instalar com uma distância de até 40 metros.

Fonte: Philips, 2004

11.2 *Starters* (iniciadores)

O *starter* é o equipamento auxiliar externo ao reator convencional (magnético), destinado a fornecer as condições adequadas de ignição para uma correta partida de lâmpada fluorescente. Ele é utilizado em conjunto com reatores eletromagnéticos de partida convencional e indicado para locais úmidos e com baixas temperaturas, ou sem condições de aterramento. Sua vida útil é de cerca de 6000 ciclos/acendimentos (PHILIPS, 2004).

Fonte: Philips, 2004

Figura 90 – Exemplo de *starter*

11.3 Ignitores

O ignitor é o equipamento destinado a fornecer um pulso de tensão elétrica adequada para a ionização dos gases dentro do tubo de arco da lâmpada de vapor de sódio e de vapor metálico, e também por desconectá-las do circuito em caso de queima (PHILIPS, 2004).

Fonte: Philips, 2004

Figura 91 – Exemplo de ignitor

12. EQUIPAMENTOS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Em épocas onde a eficiência energética é um dos principais agentes para o desenvolvimento sustentável, a economia de energia por meio da utilização de tecnologias mais eficientes, novos materiais, equipamentos e o uso de recursos naturais com alternativas ecológicas se faz absolutamente necessário. O intuito é que com a economia obtida com a redução do consumo de energia viabiliza o investimento em novos materiais, equipamentos e serviços necessários para uma reforma dos sistemas antigos de iluminação, considerando ainda os ganhos ambientais.

Os equipamentos de iluminação mais recentes podem ser controlados remotamente e programados para acender ou apagar automaticamente de acordo com a necessidade de luz de cada ambiente ou da presença de pessoas. A quantidade de iluminação artificial varia de acordo com o aumento ou diminuição de iluminação natural que penetra nos edifícios. Em determinados períodos do dia e, de acordo com as épocas do ano, dependendo do projeto e da área que se quer iluminar, a iluminação artificial pode vir a ser totalmente desligada.

Isto pode ser feito manualmente pelos trabalhadores, por meio de interruptores instalados no próprio galpão ou remotamente, por meio de sistemas eletrônicos e de um servidor central automatizado, que irá medir periodicamente a quantidade de iluminação do ambiente por meio de sensores de luz instalados e irá ligar ou desligar os circuitos automaticamente. Os sistemas automáticos são bastante práticos se for considerado que normalmente galpões de mineração ou mesmo outros galpões industriais fazem parte de imensas usinas de produção com inúmeros prédio e instalações, tendo distâncias consideráveis a serem percorridas entre eles.

A automação pode ser feita por sistemas de gerenciamento da iluminação como, por exemplo, o protocolo DALI (interface de iluminação endereçável digital, figura 92). O sistema tem a opção de ser interligado com sensores de luz, de presença ou ambos (OSRAM, 2007).

É possível utilizar lâmpadas fluorescentes tubulares, com reatores eletrônicos *dimerizáveis* integrados a um sistema automático de controle dos níveis de iluminância e nos corredores e áreas de circulação menos utilizadas, como escadarias

e *halls* de entrada com a colocação de sensores de presença. Considerando a atuação do sistema de controle dos níveis de iluminação, é possível se obter uma economia média de aproximadamente 50% em comparação com um sistema utilizando lâmpadas convencionais sem controle (APS, 2007).

Fonte: Osram, 2007

Figura 92 – Exemplo de instalação com protocolo DALI

12.1 Sensores

O sensor de presença é um dispositivo eletrônico capaz de detectar a movimentação de pessoas, animais e veículos por infravermelho, acionando a iluminação e desligando-a após determinado tempo programado, em geral 5 ou 10 minutos. Ele pode ser utilizado com qualquer tipo de lâmpada, fluorescente ou incandescente (SENSOR LIGHT, 2006), e substituem com inúmeras vantagens os

interruptores comuns e minuterias. É preciso atentar, no entanto, no ajuste de tempo para as lâmpadas fluorescentes, que segundo a empresa Osram deve ser de no mínimo 15 minutos acesa, para se evitar a queima precoce da lâmpada. Podem ser utilizados vários sensores ligando a mesma carga, desde que a potência total não ultrapasse o valor igual à potência máxima de um sensor.

A regulação da fotocélula é simplificada com as opções de estar ligada, quando o sensor funciona somente no período noturno e desligada, quando o sensor funcionará dia e noite, independente do nível de luz no ambiente. Deve-se considerar no projeto o alcance e a altura máximas para instalação do equipamento, dados que diferem entre os diversos modelos e que são fornecidos pelos fabricantes.

Sensores de luz possuem uma fotocélula programável que aciona a iluminação ao escurecer e permite a programação do tempo de desligamento da carga entre 1 e 12 horas, além de também permitir a regulação do nível de luz (SENSOR LIGHT, 2006). Estes sensores são normalmente montados no teto e o valor de luminosidade medido pelo sensor leva em consideração a luz natural/ artificial (ver figura 93).

Fonte: Osram, 2007

Figura 93 – Exemplo de instalação com sensor de luz

Estes dispositivos acionam a lâmpadas de acordo com a intensidade luminosa do ambiente, ou seja, ligam na ausência de luz e desligam na presença de luz (ver figura 94). Basicamente, são constituídos por um sensor (fototransístor), pelo circuito eletrônico de comando e por um relé interno (MARGIRIUS, 2007).

Fonte: Transvoltec, 2005

Figura 94 – Exemplo de relé fotoeletrônico

12.2 Controladores de intensidade

Controladores de luminosidade, também conhecidos como *dimmers*, são dispositivos capazes de controlar o nível de intensidade da iluminação conforme a necessidade. São compatíveis com lâmpadas incandescentes, halógenas e dicróicas. Hoje também já é possível controlar a luminosidade de lâmpadas fluorescentes por meio de reatores dimerizáveis. Não é possível dimerizar lâmpadas de multivapores metálicos (HQI), pois se reduzindo a tensão na lâmpada, ocorrem variações no funcionamento do tubo de descarga, provocando alterações na tonalidade da luz e reprodução das cores (OSRAM, 2007). É possível dimerizar lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (NAV), mas somente até no máximo 50% da tensão nominal de operação. Isto só pode ser realizado após a lâmpada estar em operação a 100% da tensão nominal.

13. ESTUDO DE CASO

A avaliação foi realizada em uma indústria de cimento no interior do estado de São Paulo. Analisou-se o depósito de carvão mineral em pó que é lá estocado para a alimentação dos fornos de cimento.

O ambiente é dotado de duas amplas aberturas, uma em cada lado do galpão, que servem para o carregamento e descarregamento do carvão. Estas aberturas, que não podem ser fechadas, uma vez que não possuem portões, medem cada uma 20m de largura por 4m de altura e também servem como fonte de iluminação natural que, durante um dia com céu claro, suprem em parte os níveis de iluminação desejáveis mínimos no depósito nas áreas mais próximas à elas. Por estas mesmas aberturas é provável que a poeira do carvão seja arrastada para fora do galpão em dias com ventos mais fortes.

A área de estocagem do carvão possui aproximadamente 3.200 m² (40 x 80m) e pé direito de aproximadamente 10m. O galpão é constituído por uma área interna livre, sem a presença de divisórias intermediárias. Existe um jirau localizado nas duas laterais a aproximadamente 3,50m de altura a partir do piso interno. Os fechamentos laterais são em blocos de concreto na cor cinza, o acabamento do piso é feito em cimento queimado, também originalmente cinza - atualmente permanece coberto pelo pó preto do carvão que se espalha e acaba por cobrir todo o piso e grande parte das paredes.

A cobertura é feita em estrutura espacial metálica, com cobertura em telhas metálicas onduladas também na cor cinza. Não existe qualquer tipo de forro no ambiente. As figuras 95 e 96 mostram a planta baixa e o corte longitudinal da área estudada, uma vez que não foi permitido que se tirassem fotografias do local.

O pátio visa a estocagem de carvão para abastecimento dos fornos. A atividade carregamento e descarregamento do material é realizada por funcionários operando pás-carregadeiras e caminhões.

Em períodos de pico na produção da indústria o trabalho no galpão é ininterrupto.

Figura 95 – Planta baixa do galpão de carvão em pó. Os caminhões descarregam e carregam o carvão por meio das portas situadas nas duas extremidades.

Figura 96 – Corte transversal do galpão de carvão

O armazenamento do carvão em pó tem forma de uma massa espalhada e não é organizado em pilhas. A altura do mineral chega a até 3,0m segundo informações da empresa. Quando foi feita a medição, a altura da massa era de aproximadamente 1,80m, com áreas irregulares ainda mais baixas.

Cabe citar que a retirada do carvão do depósito para o uso nos fornos é feita de forma desorganizada, podendo haver misturas de material mais novo com material

mais antigo. Isto é bastante provável principalmente na parte central do galpão, uma vez que não existe circulação lateral delimitada. Sabe-se que a medida que o carvão envelhece, a sua estocagem fica mais perigosa, pelo fato de se tratar de material hidrofóbico, que tende a perder a umidade, podendo vir a iniciar uma queima a partir do meio da pilha. A recomendação geral é que o material armazenado permaneça no local por um prazo máximo de 60 a 90 dias.

Foi feito o levantamento visual do local, onde o acabamento dos blocos de concreto que compunham as paredes aparentava ser de cor cinza, sujos com o pó proveniente do carvão estocado, que segundo a tabela constante no programa *Relux 2006* (baseada na tabela CIE) possui uma refletância de aproximadamente 5%. O piso também tinha uma tonalidade cinza escura e a superfície de trabalho, ou seja, a pilha de carvão, possui uma refletância de 5% conforme a mesma tabela.

As refletâncias das superfícies do ambiente são mostradas na tabela 19.

Tabela 19 - Refletâncias das superfícies acabadas

Superfície	Material	Cor original	Cor no local	Refletância (segundo tabela <i>Relux 2006</i>)
Paredes	blocos de concreto	cinza escuro	preta	8%
Piso	cimento queimado	cinza escuro	preta	8%
Superfície de Trabalho/área de estoque	carvão em pó	preta	preta	5%
Teto	telhas de fibrocimento	cor cinza médio	cinza escuro	10%

Em picos de produção na indústria também se trabalha no período noturno. A função dos empregados consiste no carregamento e descarregamento do material dos caminhões com a ajuda de pás-carregadeiras e carrinhos de mão.

13.1 Sistema de iluminação presente

As luminárias pendentes utilizadas atualmente são do tipo “chapéu chinês”, conforme mostra a figura 97, afixadas na estrutura do telhado por meio de cordoalhas de aço presas nas vigas. O formato da luminária é adequado para não acumular muita poeira em cima da mesma, contudo não tinha vidro de segurança ou qualquer outro

tipo de proteção (como uma lente) ou enclausuramento, conforme recomendam a norma e os fabricantes (PHILIPS, 2007; OSRAM, 2007). A lâmpada ficava diretamente exposta à poeira presente no ar.

Figura 97 – Luminária existente, muito antiga, do tipo “chapéu chinês”

14. MATERIAIS E MÉTODOS DE TRABALHO EM CAMPO

Após extensa revisão bibliográfica iniciaram-se os trabalhos em campo.

O empreendimento selecionado utilizava o carvão depositado no galpão para alimentação do forno de cimento.

Foi feita inicialmente uma avaliação visual da área, considerando-se o nível de organização e limpeza do local, a disposição e o tipo das tarefas, o tipo de maquinário utilizado, o sistema de iluminação utilizado, a quantidade de luminárias, o ângulo de visão em relação à fonte de luz, a distribuição visual da iluminação, a quantidade de poeira no ar e o ofuscamento.

Obteve-se a informação da empresa quanto ao tamanho aproximado do galpão, se havia sido feita a classificação da área, a frequência e o tipo de manutenção, o período de funcionamento do local, a produtividade dos funcionários e se havia alguma preocupação relacionada à saúde e segurança dos funcionários.

A medição dos níveis de iluminância foi feita com dois luxímetros, um para medição da área interna e outro para medição da área externa, em três períodos diferentes do dia. As medições foram executadas em dias ensolarados, portanto com iluminação natural intensa. A primeira medição foi feita por volta das 10:00h, a segunda às 16:00h e a terceira às 20:00h, quando o sol já havia se posto e não havia mais iluminação natural.

14.1 Equipamento utilizado

Utilizou-se um luxímetro analógico da marca *SEKONIC Handy Lumi*, modelo 246 para a área interna e um luxímetro digital da marca Minipa modelo MLM-1010, fabricado no Brasil, para a medição da área externa.

Fonte: Minipa, 2006.

Figura 98: Luxímetro Digital Portátil modelo MLM-1010

O luxímetro modelo MLM-1010 (figura 98) é um instrumento digital portátil com classe de exatidão básica de 4%. Isto representa, basicamente, a maior diferença que pode ser esperada entre o valor indicado no mostrador do aparelho (leitura) em relação ao valor verdadeiro convencional correspondente (quando fornecido por uma fonte incandescente sob temperatura de cor correlata de 2856 K ou seja, o iluminante A padrão CIE⁴). Por exemplo, se a leitura feita no aparelho sob uma fonte de luz incandescente referida indicar 999 lx, o valor “verdadeiro” será um número entre 999 ± 40 lx, ou seja, entre 959 e 1039 lx.

Este aparelho também apresenta um desvio de + 0,5% relativo ao fundo de escala. Isto quer dizer que ele apresenta mais um percentual de erro devido à escala (chamado erro de fundo de escala). Se utilizarmos o exemplo acima, será preciso somar mais 0,5% aos 999 lx, isto é mais 2 lx ao intervalo de 959 e 1039 lx, resultando em um valor “verdadeiro” final entre 957 e 1041 lx.

Apresentar resposta espectral fotópica *CIE* (padrão internacional para a resposta média a cor aos olhos humanos) ou correção neste sentido é condição fundamental para o aparelho. Caso a fonte de luz não seja incandescente, isto é, se a lâmpada for fluorescente ou de vapor metálico, por exemplo, é necessário que se solicite ao fabricante do aparelho o fator de correção correspondente (BURINI JR, 2007)⁵.

---

⁴ Ver item 3.3.12, p.15, da ABNT NBR 5461, 1991

⁵ BURINI JR., E.C. **Considerações sobre luxímetros**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <vivien.jaglbauer@poli.usp.br> em 20 jun. 2007.

O aparelho conta com um sensor tipo fotodiodo de silício e valor corrigido pela regra do cosseno. Ele realiza medidas da iluminação ambiente na faixa de 1 a 50000 lx, divididas em faixas de até 2000 lx, até 20.000 lx (leitura x10) e até 50.000 lx (leitura x100), com exatidão: $\pm (4\%+0.5\%$ de fundo de escala) e de $\pm (5\% + 10$ dígitos) acima de 10.000 lx, ou seja, o desvio básico afeta a “casa” das dezenas, neste caso uma leitura de 10.000 lx englobaria um intervalo entre 9.901 e 10.099 lx e daí se aplicaria o erro de 5%, resultando em um intervalo entre 9.405 e 10.603 lx.

Sua resolução é de 1 lx, 10 lx, e 100 lx com reprodutibilidade de $\pm 2\%$; assim, o "grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, efetuadas sob condições variadas de medição" irá variar 2% para cima ou para baixo.

A temperatura ambiente para operação deve ser entre 0°C e 40°C com umidade relativa do ar menor que 70%. Não é recomendado o uso deste aparelho em atmosferas explosivas. Por esta razão, utilizou-se este aparelho somente na área externa.

Fonte: Sekonic, 2000

Figura 99 – Luxímetro SEKONIC *Handy Lumi* modelo 246

O outro luxímetro utilizado foi o da marca SEKONIC *Handy Lumi* modelo 246 (figura 99). Ele é um instrumento analógico com três escalas de medida: a mais baixa, de 0 a 1000 lx com a leitura sendo feita na escala vermelha, a intermediária de 0-5.000 lx, com a leitura sendo feita na escala preta e a mais alta, de 0-50.000 lx, para a qual deve-se utilizar o cartão multiplicador 10x. A precisão é de $\pm 10\%$ determinada com um padrão de lâmpada incandescente 2854°K, sem incluir a resolução para o medidor – o valor indicado necessita de uma excursão mínima do ponteiro de $\frac{1}{2}$ (escala) para esta exatidão poder ser utilizada. Isto se deve ao fato de o sistema de indicação ser analógico, cujo movimento está associado a uma força (magnética) que varia em relação à posição angular do ponteiro marcador e apenas a partir de 50% da escala é possível garantir a exatidão declarada pelo fabricante.

Por exemplo, na escala de 0 a 1.000 lx só é possível garantir a exatidão de leitura a partir de 500 lx e a isso deve ser associado desvio de $\pm 10\%$ da leitura. Por exemplo, se o indicador apontar 500 lx, o valor “real” estará entre 450 e 550 lx. Já se o valor lido for 300 lx não há garantia nenhuma que o aparelho esteja fazendo a leitura apenas com um desvio de 10% (mais o fundo de escala).

A correção da fonte de luz para a visibilidade do olho humano não é considerada na faixa de 0-1000 lx, mas é utilizada na faixa de 0-5000 lx. Caso a medição seja feita na faixa de 0 – 1.000 lx, deve-se utilizar os seguintes fatores de correção:

- lâmpada de mercúrio – 1,1
- lâmpada fluorescente – 1,0
- lâmpada incandescente – 1,0
- luz do dia – 0,8

A medição deve ser efetuada com temperatura ambiente entre 5 e 35°C e umidade relativa do ar entre 45 - 85%. O aparelho não necessita de bateria para o funcionamento. A medição deve ser feita com o luxímetro paralelo à superfície de trabalho.

Os luxímetros constavam ter sido calibrados em março de 2006.

14.2 Medição

O aparelho luxímetro utilizado na área interna era o luxímetro analógico, colocado a uma altura de 0,75m do piso, em cima de uma prancha de madeira que havia no local, paralela a área de trabalho e, a partir daí, foi feita a leitura do equipamento (na escala preta, conforme manual do fabricante).

A medição foi feita segundo mostra a figura 100. Procurou-se evitar que se formassem sombras sobre a fotocélula.

Fonte: CECACE, 2006

Figura 100 – Medição da iluminância

O aparelho luxímetro digital foi colocado no piso da área externa e foi feita a leitura praticamente ao mesmo tempo em que a leitura do luxímetro da área interna.

A tabela 20 mostra os resultados das medições efetuadas; os pontos onde foi feita cada medição podem ser vistos na figura 101.

No dia da medição a pilha de carvão estava baixa, por isso foi possível medir a uma altura adequada na área de tarefa referente aos pontos 1 e 2.

Tabela 20 – Medições efetuadas na parte interna e externa do galpão de carvão

Horário	Medição na área interna 1	Medição na área interna 2	Medição na área externa
10:00	2160 lx	100 lx	20.000 lx
16:00	1750 lx	80 lx	8.500 lx
20:00	120 lx	60 lx	50 lx

Figura 101 – Planta com localização dos pontos de medição

A luminância não foi medida pois seria desprezível, uma vez que as paredes cobertas de poeira negra não refletem praticamente nenhuma luz.

Em simulação feita com o programa para computador *Relux 2006*⁶ (que utiliza o método ponto a ponto) para os três períodos, considerando a iluminação artificial existente, iluminação natural às 12:00h na cidade de São Paulo para um dia típico, e curva fotométrica similar às das luminárias existentes, foram encontrados valores similares, conforme mostra a planta da figura 102.

Figura 102 – Planta com níveis de iluminância calculados com programa *Relux 2006*.

⁶ Programa gratuito para cálculo da iluminância disponível em www.relux.ch.

15. RESULTADOS

A iluminação presente no depósito é bem distribuída e relativamente uniforme. A disposição é simétrica e uniforme, embora com variações na temperatura de cor e índice de reprodução de cores. A quantidade de luminárias, 32 no total, não é adequada, uma vez que os níveis de iluminamento variaram de 60 a 100lx no ponto de medição mais central do galpão. Portanto, os níveis de iluminação não atendiam às normas, uma vez que a NBR 5413 recomenda um nível de iluminamento mínimo de 150 lux para este tipo de área (áreas de carregamento na indústria de cimento/siderúrgica). A área interna nos três horários de medição tinha níveis menores do que 150 lx.

Existia a presença de poeira no ar, mas esta não prejudicava severamente a visibilidade. Os trabalhadores não usavam óculos de proteção que evitassem que as partículas de poeira se depositassem em seus olhos – o que causava certo mal estar; foi informado que a empresa tem normas de saúde e segurança que obriga os trabalhadores a estarem uniformizados com as roupas fornecidas pela empresa, calçando botas e usando capacetes. Não foi possível ter acesso a estas normas internas da empresa.

O ambiente era bastante sujo, com as paredes impregnadas de poeira preta, as áreas de circulação também tinham muita poeira espalhada da massa de carvão. Não havia uma divisão muito clara delimitando onde terminava a área de depósito e onde começava a área de circulação para o pessoal e para as máquinas (pás-carregadeiras).

Os equipamentos de iluminação utilizados eram inadequados, uma vez que se tratavam de luminárias abertas antigas comuns para áreas industriais, com a parte interna da luminária pintada de branco, em que as lâmpadas de descarga de alta intensidade ficavam expostas, podendo partir-se ou explodir, promovendo grandes riscos à área. As luminárias também não possuíam sistema porta-lâmpada antivibratório.

As lâmpadas utilizadas nas luminárias não eram todas do mesmo tipo e tampouco da mesma tonalidade de cor. Havia lâmpadas de vapor de sódio antigas misturadas com lâmpadas de vapor de sódio mais modernas misturadas a lâmpadas com menor número de horas de uso de vapores metálicos, com partes do depósito

iluminado com uma tonalidade de cor mais amarelada e outras áreas com iluminação de tonalidade mais branca.

Informações da manutenção da empresa relatam que as lâmpadas somente são trocadas quando há queima, ou seja, não há manutenção preventiva, somente corretiva. Os equipamentos auxiliares e a rede elétrica somente são vistoriados quando apresentam algum defeito.

Quando ocorre a queima de uma lâmpada a produção não pára, uma vez que a iluminação da área é teoricamente uniforme. Contudo, sem dúvida alguma, a visibilidade, que já não é adequada, fica ainda mais prejudicada, uma vez que além da iluminância diminuída, os contrastes do local são muito baixos (devido à tonalidade de cor do galpão em si) e quase não há refletância das paredes e do piso.

A iluminação natural era bastante ofuscante no período da manhã e da tarde (em lados alternados do galpão), chegando a iluminar diretamente parte do monte de carvão.

Não se obteve informações quanto ao percentual que é destinado à manutenção dos sistemas de iluminação e nem quanto à previsão de renovação completa dos mesmos.

15.1 Resposta da empresa

Alega-se que está se fazendo aos poucos a troca das luminárias por equipamentos a prova de explosão com lâmpadas mais modernas. Neste caso estão sendo utilizadas lâmpadas de vapor metálico. O primeiro ambiente a receber estes equipamentos foi o prédio do moinho. No entanto, não houve nenhum cálculo luminotécnico para estabelecer os níveis adequados de iluminação, bem como definir o tipo, a quantidade e o espaçamento das luminárias, feito de forma aleatória e muitas vezes instaladas em alturas inadequadas, causando ofuscamento.

A empresa já dispõe de painéis e “botoeiras” de segurança aumentada nesta mesma área.

16. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Pelos resultados obtidos seria recomendável que o sistema de iluminação do depósito de carvão fosse renovado para atender às questões mínimas de segurança. Primeiramente seria preciso que a área fosse classificada para se poder especificar equipamentos condizentes com o nível de risco do ambiente. Certamente equipamentos elétricos para ambientes com potencial explosivo devem substituir os antigos equipamentos existentes.

Luminárias mais modernas, com refletores de alumínio e vidros protetores, poderiam melhorar a eficiência luminosa e a segurança dos trabalhadores. Novas lâmpadas de vapor metálico com boa reprodução de cor e equipamentos auxiliares (reatores e ignitores) mais eficientes e modernos consumiriam menos energia e contribuiriam para a estabilidade do sistema, além de trazer mais conforto aos trabalhadores. Segundo o que pregam alguns autores (IESNA, 2000; BELD & BOMMEL, 2001), o nível de iluminamento poderia ser elevado para cerca de 300 lx, por exemplo, para um aumento da produtividade. Atualmente a empresa não mede a produtividade por funcionário nesta atividade.

Se for considerado o novo sistema proposto, como mostrado na tabela 21, a potência total instalada será de aproximadamente 23 kW e o fluxo luminoso seria 4,3 vezes maior.

Tabela 21 – Comparação do consumo de energia entre o sistema de iluminação atual e o novo sistema proposto (dados de consumo das lâmpadas e reatores fornecidos pelo catálogo técnico OSRAM, 2006/2007).

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EXISTENTE				
Equipamento	Consumo (W)	Qtde. de luminárias	Consumo total (W)	Fluxo luminoso (lm)
Lâmpada de vapor de sódio c/ reator eletromagnético	$250 + 35 = 285$	32	9.120	~ 640.000 (20.000 cada)

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PROPOSTO				
Equipamento	Consumo (W)	Qtde. de luminárias	Consumo total (W)	Fluxo luminoso (lm)
Lâmpada de vapores metálicos com reator eletrônico	$245 + 13 = 158$	99	15.642	2.524.500 (25.500 cada)
Lâmpada fluorescente 2x58W com reator eletrônico	$(2 \times 58) + 56 = 172$	48	8.256	249.600 (5.200 cada)
Total geral			23.898	2.774.100

Poderiam ser incluídas algumas luminárias fluorescentes embaixo dos jiraus, de modo a melhorar a visibilidade da área de circulação nas laterais do depósito, uma vez que hoje é uma área de sombra.

A figura 103 mostra as curvas de luminância, obtidas através de simulação com programa computacional *Relux*, caso fosse adotado o novo projeto.

Figura 103 – Planta com níveis de iluminância calculados com programa *Relux 2006* para nova iluminação proposta.

O sistema de iluminação proposto considera uma distribuição com 99 luminárias pendentes IP65 com refletor em alumínio e vidro protetor para lâmpada de vapor metálico de 250W, e 48 luminárias para área classificada (Z22) IP 66 para lâmpada fluorescente tubular 2x58W com refletor em alumínio e vidro de segurança. O número de luminárias triplicou para atingir os valores de iluminância média necessários para atender a norma, chegando a ultrapassar em 50 lx em algumas áreas. No entanto, se o número de luminárias fosse diminuído para atingir níveis médios de 200 lx somente, as áreas entre as linhas onde estão posicionadas as luminárias teriam níveis mais baixos do que o requisitado.

A figura 104, obtida a partir do programa computacional *Relux*, mostra uma simulação de como ficaria a nova iluminação do galpão.

(a)

(b)

Figura 104 - (a) Vista em perspectiva e (b) vista frontal da nova proposta de iluminação.

Uma manutenção preventiva a cada seis meses seria conveniente, com a limpeza das luminárias e demais equipamentos que ficam cobertos com camadas de poeira, vistoria de todo o sistema elétrico e caixas de eletricidade, assim como a anotação da vida útil dos equipamentos instalados para serem substituídos quando a emissão luminosa estiver abaixo da especificação, evitando queimas e prejuízos na produção.

A limpeza ainda poderia ser feita em intervalos menores de tempo para deixar as áreas de circulação mais visíveis e contribuir para a organização visual do ambiente de trabalho.

Um beiral maior sobre as áreas de carregamento melhoraria as condições da iluminação natural e traria mais conforto aos trabalhadores no verão e períodos de sol intenso.

Um sistema de abatimento de pó como, por exemplo, vaporização de água, seria interessante para diminuir a quantidade de poeira suspensa no ambiente.

17. CONCLUSÃO

Este trabalho procurou mostrar a forte influência que a iluminação exerce sobre a saúde e segurança das pessoas e na higiene ocupacional em ambientes industriais.

Verificou-se na literatura que uma iluminação de qualidade proporciona conforto físico, melhora a disposição geral dos trabalhadores, o estado de alerta, colabora para o controle do relógio biológico e protege contra doenças de córnea e dores de cabeça.

Também foi constatado na literatura que, com um sistema bem projetado, a produtividade das empresas pode aumentar 10% ou mais, se considerada uma projeção conservadora. Isto se deve ao fato de que uma iluminação eficiente permite maior acurácia no exercício das tarefas, proporciona a diminuição de erros e aumenta a segurança, fazendo com que as pessoas percebam os obstáculos do trajeto com mais rapidez. Aumenta ainda o conforto, o que reduz o cansaço e, conseqüentemente, ajuda a reduzir acidentes.

Foi identificado que a atualização dos sistemas já instalados poderá implicar em um baixo investimento para as indústrias se comparado ao custo total de construção dos edifícios, à diminuição de faltas dos funcionários por motivo de saúde e acidentes e à segurança do patrimônio físico da empresa.

Novos equipamentos de iluminação economizam 30% de energia ou mais, no caso de reatores eletrônicos, e 23% no caso de lâmpadas fluorescentes tubulares. O consumo ainda pode ser diminuído significativamente se o sistema for automatizado e integrado com sensores de presença e relés fotoeletrônicos. Em tempos onde muitos países estipulam metas de redução do consumo de energia, a eficiência das lâmpadas, o rendimento das luminárias e reatores e a eficácia da aplicação contribuem para uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos energéticos, minimizando os impactos ambientais e, em última análise, os custos da empresa, restringindo desperdícios e maximizando lucros.

Galpões para estocagem de minérios particulados de material inflamável são considerados atmosferas explosivas. É imperativo que nestes ambientes seja feita a classificação da área e se empreguem materiais e equipamentos adequados, tanto no

caso dos sistemas de iluminação, quanto nas instalações elétricas em geral, visando reduzir faiscamentos que poderiam ter implicações trágicas.

A manutenção preventiva, através de inspeção rotineira é primordial para identificar falhas e evitar riscos desnecessários, impedindo acidentes e mantendo equipamentos e pessoas em segurança, além de preservar o patrimônio físico das empresas, visto que lâmpadas apagadas e luminárias sujas implicam na redução dos níveis de iluminância e nas conseqüências já citadas. Acarreta ainda na possibilidade de acúmulo de pó dentro de luminárias que, no caso de materiais combustíveis, pode ser o inicializador de fogo e até de explosões.

Um projeto de iluminação adequado deve levar em consideração o tipo e tamanho da área a ser iluminada, o trabalho a ser realizado, se é fixo ou se há movimentação de cargas, a refletividade das superfícies, o correto posicionamento das fontes de luz, os contrastes, a iluminância necessária e a contribuição da luminância para o iluminamento geral.

Galpões para estocagem de minérios podem se beneficiar muito de um projeto de iluminação eficiente e a substituição de equipamentos obsoletos por novos, devido à facilidade de reparo e de uso no gerenciamento de riscos ocupacionais ocasionados por uma má iluminação.

No estudo de caso não foi possível mensurar a economia de energia que a substituição de equipamentos antigos por atuais poderia ter proporcionado, pois o sistema encontrado era inadequado, inseguro e ineficiente. No entanto, foram propostas uma série de soluções - tais como a adoção de luminárias para atmosferas explosivas, com lâmpadas de vapor metálico, distribuídas uniformemente de maneira a permitir o nível de iluminância requisitado em todas as áreas do galpão - que tornariam o local mais seguro, higiênico e produtivo.

Concluiu-se que a iluminação, em geral, representa um investimento pequeno em relação ao valor total de um empreendimento deste porte e, mesmo assim, ela é freqüentemente relegada a segundo plano, particularmente no que tange a manutenção e atualização periódicas. Tal prática envolve riscos e a alteração desta atitude implicaria em ganhos de produtividade, aumento da segurança e redução de acidentes, gerando lucros que facilmente compensariam os investimentos realizados.

Ao longo da realização deste trabalho várias dificuldades foram encontradas: encontrou-se poucos trabalhos publicados a respeito de pátios e galpões de estocagem de minérios, existem atualmente poucos pátios de minérios cobertos no Brasil e a maioria das empresas que possui este tipo de edificação não permitiu que fossem feitas visitas e que tampouco fossem tiradas fotografias.

18. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO. **Levantamento do estágio tecnológico do setor de iluminação**. São Paulo: Centro São Paulo Design – CSPD, 2005. 86p.

ALUCCI, M. P. **Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica**. 1993. 225p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

AMERICAN STANDARDS ASSOCIATION. **American standard practice for industrial lighting**. IES, 1952.

APS ENGENHARIA DE ENERGIA. **Prêmio iluminação**. Porto Alegre. Disponível em: < <http://apsengenharia.com.br/premios.htm#2> > Acesso em: 12 abr. 2007.

ARAMAKI, W.K. **Iluminação natural e projeto**. São Paulo: FAU, 1980.

ARKLEY, C. **Dust causing health, safety concerns**. Trinidad Plus. January 29, 2002. Disponível em: <http://www.ehcitizens.org/coal/news_clippings/tplus_20020129_dust_causing_health_safety_concerns.htm> Acesso em: 05 janeiro 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma 5382/1985**: Verificação de iluminâncias de interiores. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma 5413/1992**: Iluminação de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma 5461/1991**: Iluminação (terminologia). Rio de Janeiro, 1991.

ATX. **Practical examples in dust environments**. 2000. Disponível em: <http://www.egsatx.com/english/produits/guide/G36.pdf>. Acesso em: 25 de mar. 2007.

BELD, G.; BOMMEL, W. **Industrial lighting, productivity, health and well-being**. Philips lighting. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ILLUMINAT 2001, JUNE28-30, 2001, CLUJ-NAPOC. INGINERIA ILLUMINATULUI 7-2001. Anais, Romania 28.6.-30.6.2001

BERMAN, S.M. et al. Human electroretinogram responses to video displays, fluorescent lighting, and other high frequency sources. **Optometry and Vision Science**, v. 68, n. 8, p. 645–662, 1991.

BOULOS, Z., et al. Light treatment for sleep disorders: consensus report VII jet lag. **Journal of Biological Rhythms**, v. 10, p. 167-176, 1995

BOTTRILL, G.; CHEYNE, D.; VIJAYARAGHAVAN, G. **Practical electrical equipment and installations in hazardous áreas**. Boston: Elsevier/Newnes, 2005.

BOYCE, P.R., et al. Lighting the graveyard-shift: the influence of a daylight-simulating skylight on the task performance and mood of night shift workers. **Lighting Research and Technology**, v. 29, n. 3, p. 105-134, 1997.

BOYCE, P.R et al. Lighting quality and office work: two field simulation experiments. **Lighting Research & Technology**, v. 38, n. 3, p. 191-223, 2006.

CARDOSO, I.M.V.M. **Avaliação de sistemas de iluminação visando a eficiência energética: o caso da FATEC-SP.** 216 p. 2001. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

CARVALHO, B.A.. **Técnica da orientação dos edifícios: insolação, iluminação, ventilação.** Rio de Janeiro: Livro Técnico, 1970.

CASTELLS PEÑA, L.V. **Impactos da aplicação de lâmpadas fluorescentes compactas em habitações de baixa renda ao sistema de distribuição de energia elétrica.** 2003. 98 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Obras: últimas obras cadastradas.** Disponível em: <http://www.cbca-ibs.org.br/exibe_obras_ultimas.asp> Acesso em: 03 novembro 2006.

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONFORTO AMBIENTAL E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA, 2006. **Manual de como usar o luxímetro.** Disponível em: <http://www.usp.br/fau/ensino/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0213/022_CECACE_2006_Como_usar_o_Luximetro.pdf>. Acesso em: 18 set. 2006.

CENTAUREA OY. **Portable LED lighting of the new millennium.** Finlândia, 2007. Disponível em: <<http://www.centaurea.fi>> Acesso em: 07 mar. 2007.

CIE. **Compte Rendu 6e session**, p. 67, Publications CIE n° 18 (1970), p. 43 et n° 15 (1971), p. 93. Commission Internationale de l'Eclairage. Viena, Áustria, 1971.

CIE. **Guide on interior lighting.** Publication 29.2. Commission Internationale de l'Eclairage . Viena, Áustria, 1986.

CLARO, A. **Rompimento de antigas tendências poupa energia ao valorizar clima tropical.** 2004. Disponível em: < <http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/04.shtml>>. Acesso em: 20 maio 2005.

CLEMENTS-CROOME, D. et al. **An assessment of the influence of the indoor environment on the productivity of occupants in offices.** Design, constructions and operations of healthy buildings. [S.l.]: ASHRAE, 1998.

COLQUHOUN, W.P., et al. **Shift work, problems and solutions.** Peter Lang. Frankfurt, 1996

COSTA, G.J.C. **Iluminação econômica: cálculo e avaliação.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 1998.

CZEISLER, C.A. et al. Stability, precision and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. **Science**, v.284, p. 2177-2281, 1999

DAURAT, A. et al. Bright light affects alertness and performance rhythms during a 24-hour constant routine. **Physiology and Behavior**, v. 53, n. 5, p. 929-936, 1993.

DIVIZIA, C. **Fotografia A.E.G. High tension factory.** Disponível em: < http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbi.cgi/A._E._G._High_Tension_Fac.html/cid_1165843392_P8260222.html> . Acesso em: 10 maio 2007.

DOCAS DO CEARÁ. **Instalações de armazenagem.** Disponível em: < http://www.docasdoceara.com.br/infraestrutura_armazenagem.asp> Acesso em: 10 out. 2006.

EGS/Appleton Electric. **IEC NEC Classification comparator**. Estados Unidos, 2000. 18p.

Cooper Crouse-Hinds. **NEC Code Digest. Article 500-516 of the National Electrical Code® with product recommendations for use in hazardous (classified) areas**. Estados Unidos, 2005. 114p.

ELENBAAS, W. **Light sources**. New York: Crane Rusch & Company, 1972.

EMMANUEL, M. **Contemporary architects**. New York: St. Martin's Press, 1980.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **New building design guidance and target finder**. 1998. Disponível em: <www.energystar.gov/ia/business/building_design/NBD&TF_final.pdf>. Acesso em: 20 maio 2005

ESTON, S.M. **Iluminação de minas subterrâneas: uma análise da situação brasileira**. 2 v. 1992. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

ESTON, S. M. **PMI-5895 – Higiene e segurança na mineração**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. Escola Politécnica da USP, 2006. Notas de aula.

Explosion Richtlinien (EXRL) **8G-Chemie** (Diretrizes para prevenção de explosões da indústria química alemã). julho 1987.

FLETCHER, B. **A history of architecture**. 18th ed. New York: Charles Scribner's Sons, 1975.

FRAMPTON, K.; FUTAGAWA, Y. **Modern architecture 1851-1945**. New York: Rizzoli International Publications, 1983.

FÖRDERGEMEINSCHAFT GUTES LICHT. **Tabela Iluminância**. Disponível em: <<http://www.licht.de/en/proportal/lighting-applications/funktionsseite/lichtanwendung-darstellung/industry-and-manufacturing>> Acesso em 12 de mar de 2007.

FÖRDERGEMEINSCHAFT GUTES LICHT. **Industrielle verlichting**. <http://www.licht.de/de/profiportal/lichtanwendungen/funktionsseite/lichtanwendung-darstellung/industrie-und-produktion/>> Acesso em 23 de mar de 2007.

Fordergemeinschaft Gutes Licht. **Warehouses**. Disponível em: < <http://www.licht.de/en/proportal/lighting-applications/funktionsseite/lichtanwendung-darstellung/industry-and-manufacturing/warehouse/>>. Acesso em 16 abr. 2007.

FORTUIN, G.J. **Visual power and visibility**. .S.l.: Philips, 1951. (Philips Research Report 6).

GENERAL ELECTRIC ILUMINAÇÃO. **Glossário**. Disponível em: <<http://www.gelampadas.com.br/solucoes/glossario.asp>>. Acesso em: 18 jul. 2006.

GENERAL ELECTRIC. **HID lamps**. 2006. Disponível em: < http://www.gelighting.com/na/business_lighting/education_resources/literature_library/product_brochures/product.htm>. Acesso em: maio/2007.

GENERAL ELECTRIC ILUMINAÇÃO. **Lâmpadas de descarga de alta intensidade:** guia de consulta técnica. New York, 2002.

GENERAL ELECTRIC ILUMINAÇÃO. **Lâmpadas fluorescentes lineares:** guia de consulta técnica. New York, 2002.

GEXCON A.S. Disponível em: < <http://www.gexcon.com/index.php?src=dust/dust.html> > Acesso em: 30 jan. 2007.

GOUVÊA, M.R. **Lâmpadas elétricas e luminotécnica.** São Paulo: Escola Politécnica da USP. Departamento de Energia e Automação Elétricas, 2005. Apostila de curso Eletrotécnica Geral. Cap. 13. Disponível em: <[http://www.eleototec.pea.usp.br/files/33_Lampadas ElétricasLuminotecnica_Cap13.pdf](http://www.eleototec.pea.usp.br/files/33_Lampadas_ElétricasLuminotecnica_Cap13.pdf) > Acesso em: jun. 2006.

GROOT, J.; VLIET, J. **The high pressure sodium lamp.** London: MacMillan Educational, 1986.

HENDERSON, S.R.; MASDEN, A. M. **Lamps and lighting.** 2. ed. New York: Crane Rusch & Company, 1972.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Fórmulas matemáticas aplicadas à iluminação.** Disponível em: < <http://std.iec.ch/iev/iev.nsf/NumEN?OpenView&Count=-1&RestrictToCategory=845> >. Acesso em: 12 jan. 2007.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60050 – International Electrotechnical Vocabulary.** Disponível em: <<http://std.iec.ch/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=845-01-18>>. Acesso 18 abr 2007.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **Lighting handbook.** 9th ed. New York: The Society, 2000.

IMAGERY. Foto Fábrica de tabaco Van Nelle. 2007. Disponível em: < <http://www.greatbuildings.com> > Acesso em: 10 mai 2007.

INMETRO. **Unidade de base do sistema internacional para iluminação.** 2003. Disponível em: < <http://www.inmetro.org> >. Acesso em: 25 abr 2006.

IWASHITA, J. **Eficiência energética em sistemas de iluminação de interiores:** análise de luminárias comerciais. 205 p. 2004. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

KAISER, P.K. **The joy of visual perception:** a web book. Toronto: York University Press, 2004. Disponível em: < <http://www.yorku.ca/eye/thejoy.htm> >. Acesso em: 25 abr 2006.

KARMANSKI, A. **Fotografia Fagus works.** Disponível em: <http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbi.cgi/Fagus_Works.html> Acesso em: 10 maio 2007.

KERKHOF, G.A. Licht em presentatie. Proceedings. Symposium Licht en Gesondheit. Amsterdã, 1999.

KULLER, R. et al. Melatonin, cortisol, EEG, ECG and subjective comfort in healthy humans: impact of two fluorescent lamp types at two light intensities. **Lighting Research and Technology**, v. 25, n. 2, p. 71-81, 1993.

KÜLLER, R.; LAIKE, T. The impact of flicker from fluorescent lighting on well-being, performance and physiological arousal. **Ergonomics**, v. 41, n. 4, p. 433-444, Apr. 1998.

KULTERMANN, U. **Architecture in the 20th century**. New York: Van Nostand Reinhold, 1993.

LAM, R., et al. **Canadian consensus guidelines for the treatment of seasonal affective disorder**. 1998.

LANGE, H., **Handbuch für Beleuchtung**, SLG, LiTG, LTG, NSVV, 5. Auflage, Ergänzung 1999.

MARGIRIUS. **Relés fotoelétricos**. Catálogo técnico. Disponível em: <http://www.margirius.com.br/info_iluminacao.aspx>. Acesso em: 10 maio 2007.

MEHRABIAN, A.; Russell, J.A. **An approach to environmental psychology**. Cambridge: MIT Press, 1974

MINIPA. **Luxímetro digital portátil: modelo MLM-1010**. São Paulo, 2006. Manual de instruções.

MINGRONE, A.C. **Iluminação: importância e metodologia de aplicação na arquitetura**. 1985. 2 v. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

MOORE, F. **Concepts and practice of architectural daylighting**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

MOORE, T.A.; CARTER, D.J.; SLATER, A.I. A study of opinion in offices with and without user controlled lighting. **Lighting Research & Technology**, v. 36, n. 2, p. 131-146, 2004.

MOREIRA, V.A. **Iluminação e fotometria: teoria e aplicação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

MSPC. **Iluminação I-10**. Disponível em: <<http://www.mspc.eng.br/tecdiv/ilum110.shtml>>. Acesso em: maio 2007.

NEGRÃO, P. Luz nossa de cada dia. **L+D**, São Paulo, v.3, p. 46-57, 2005.

NERVI, P. L. **New structures**. London: The Architectural Press, 1963.

NUTSTEEL. **Catálogo técnico de luminárias**. Porto Alegre, 2001.

EXPLOÇÃO em Paranaguá mata duas pessoas. **O Estado de São Paulo**, 2006. Disponível em: <<http://www.oestadao.com.br/ext/diariodopassadoso/19920124.htm>>. Acesso em: 18 out. 2006.

EXPLOÇÃO no depósito da empresa Coimbra. **O Estado de São Paulo**, 2006. Disponível em: <<http://www.oestadao.com.br/ext/diariodopassadoso/20020124/000120966.htm>>. Acesso em: 18 out. 2006.

OCHSHORN, J. Steel in 20th-century architecture. In: SENNOTT, R.S. (Ed.). **Encyclopedia of twentieth century architecture**. London: Taylor and Francis, 2003. v. 3. 1784p.

U.S. CONGRESS. Office of Technology Assessment. **Biological rhythms: implications for the worker.** Washington, DC: Government Printing Office, 1991. (OTA-BA-463).

OLIVEIRA, R. Lâmpada incandescente começa a recuperar espaço no mercado. **Gazeta Mercantil**, 22 abr. 2004.

OSRAM DO BRASIL. **Lâmpadas fluorescentes tubulares e circulares.** Disponível em: < [http:// br.osram.info/download/catalogo/fluor.pdf](http://br.osram.info/download/catalogo/fluor.pdf)> Acesso em: 10 out. 2006.

OSRAM DO BRASIL. **Lâmpadas de descarga de alta pressão.** Osasco, 2006. Catálogo Técnico 2006/2007.

OSRAM DO BRASIL. **Iluminação: conceitos e projetos.** Osasco, 2006. Apostila.

OSRAM DO BRASIL. **Manual de instalação do sistema DALI advanced.** Osasco, 2007. 10 p.

OSRAM DO BRASIL. **Perguntas freqüentes.** Osasco. Disponível em < <http://br.osram.info/servicos/descarga/index.html>> Acesso em: 13 maio 2007.

PHILIPS. **Indústrias.** Disponível em: <http://www.lighting.philips.com/de_de/project/industry/renault_factory_bourgenbresse.php?main=de_de&parent=1&id=de_de_project&lang=de>. Acesso em: maio 2007.

PHILIPS. **Guia prático de lâmpadas e reatores.** 2005. Catálogo comercial de maio 2005.

PHILIPS. **Guia de iluminação.** São Paulo, 2004.

PHILIPS. **Um século de inovação na Philips Lighting.** www.lighting.philips.com/pt_pt/about/index.php?main=pt_pt&parent=1&id=pt_pt_about&lang=pt. Acesso em: 15 abr 2007.

PHILIPS. **Guia de aplicação: iluminação industrial.** Disponível em: < http://www.luz.philips.com/portalHomeProject.do?par=1283:2_3_4:358:1252:1283> Acesso em: maio 2007.

PINTO, R. C. **Grandezas fotométricas.** Curso de fotometria on-line Lumiere/IEE. 9 jun. 2004. Disponível em: < http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2004/Artigos%20de%20Periodicos/rinaldo_aula2.pdf> Acesso em: 10 jun. 2007.

POZZI, M. D. F. **Iluminação zenital em ambientes industriais: o caso Dana Albarus RS.** 176 p. 2000. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PREMODISA Construção Pré-fabricada. **Obras.** Disponível em: < [http://www.premodisa.com.br/pre%20 fabricados.htm](http://www.premodisa.com.br/pre%20fabricados.htm)> Acesso em: 10 out. 2006.

RANGEL JR, E. Riscos de explosão nos portos graneleiros. **Portos e Navios**, n.516 , p. 8-10, jan. 2004. Rio de Janeiro, 2004.

RANGEL JR, E. Agente explosivo. **Proteção**, n. 100, p. 70-78, 2000.

RELUX INFORMATIK AG. **Programa computacional de cálculo luminotécnico.** 2006. Disponível em: < <http://www.relux.ch> > Acesso em: 12 jul. 2006.

ROGERS, R.; **INMOS Factory, Newport, Gwent, South Wales. The Architectural Review**, n. 1030, p. 29-39, Dec. 1982.

SCHEER, F.A. et al. Light and diurnal cycle affect human heart rate: possible role for the circadian pacemaker. **Journal of Biological Rhythms**, n. 3, p. 202-212, 1999.

SCHRÉDER S.A. **Dossiê indústrias**. Disponível em: < <http://www.schreder.com/23-6-40-17718/product/reference.aspx>>. Acesso em: maio 2007.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria do Comércio Exterior. Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet – AliceWeb. **Brasil exportador**. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>> Acesso em: 26 abr. 2006.

SEKONIC. **Luxímetro SEKONIC Handy Lumi modelo 246**. S.l., 2000. Manual de utilização do aparelho.

SENSOR LIGHT. **Sensor de presença**. S.l., 2006. Catálogo Técnico.

SILVA, J. **Equipamentos para áreas com atmosferas explosivas e industriais - CGN21**. São Paulo: Nutsteel Indústria Metalúrgica Ltda, 2006.

SORCAR, P. **Energy saving lighting systems**. New York : Van Nostrand Reinhold, 1982.

TRANSVOLTEC. **Relés fotoeletrônicos**. São Paulo, 2005. Catálogo Técnico.

UEYAMA, T. et al. Supra-chiasmatic nucleus: a central autonomic clock. **Nature Neuroscience**, v. 2, n. 12, p. 1051-1053, 1999.

VAN SOMEREN, E.J.W. **Rest activities in ageing, Alzheimer's disease and Parkinson's disease**. Thesis 1997.

VIANNA, N.S.; GONÇALVES, J.C.S. **Iluminação e arquitetura**. São Paulo: Virtus S.C. Ltda, 2001.

VEITCH, J.A. **Lighting for high-quality workplaces**. London: Taylor & Francis, 2006. p. 206-222.

VEITCH, J.A. et al. **Environmental Satisfaction in Open-plan Environments: 5. Workstation and Physical Condition Effects**. Ottawa: National Research Council. Institute for Research in Construction, 2003. Disponível em: < <http://irc.nrcnrc.gc.ca/fulltext/rr154>>. Acesso em: nov. 2004.

VÖLKER, S. **Eignung von methoden zur ermittlung eines notwendigen beleuchtungs niveau**. 1999. Dissertation. Ilmenau, 1999

VÖLKER, S.; RÜSCHENSMIDT, H.; GALL, D. **Beleuchtung und unfallgeschehen am arbeitsplatz**. Zeitschrift für die Berufsgenossenschaften, v.12, p. 704-708, 1995.

WAYMOUTH, J.F.; LEVIN, R.E. **Designers handbook, light sources and applications**. Danvers: Sylvania GTE Products, 1980.

ENERGIA. **WIKIPEDIA: a enciclopédia livre**. 2007. Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia> > . Acesso em: 24 maio 2007.

WILKINS, A.J., et al. Fluorescent lighting, headaches and eyestrain. **Lighting Research and Technology**, v.21, n. 1, p. 11-18, 1989.

WILKINS, A.J.; CLARK, C. Modulation of light from fluorescent lamps **Lighting Research and Technology**, v. 22, n. 2, p. 103–109, 1990.

WOODS, J.E. Cost avoidance and productivity in owning and operating buildings. **Occupational Medicine**, v. 4, p. 753–770, 1989.

GLOSSÁRIO

Altura do centro de luz (A.C.L.)	A distância entre o centro do tubo, do arco ou do filamento de uma lâmpada e um plano de referência – usualmente o fundo da base da lâmpada (GE, 2006).
Ampères (A)	Medida da corrente elétrica. Nas lâmpadas incandescentes, a corrente está relacionada com a tensão e a potência, da seguinte forma: Corrente (A) = Potência (Watts) / Tensão (Volts) (GE, 2006).
Candela (cd)	Unidade internacional (SI) de intensidade luminosa. É a intensidade luminosa de uma fonte monocromática que emite radiação na frequência de 540×10^{12} hertz em uma dada direção e que tem, nesta mesma direção, intensidade radiante de 1/683 watt por esferorradiano. $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm} \cdot \text{sr}^{-1}$ (16th General Conference of Weights and Measures, 1979 apud IEC, 2007).
Coeficiente de utilização	Nos cálculos de iluminação geral, é a fração do fluxo luminoso inicial da lâmpada que alcança o plano de trabalho. Ele é uma função da distribuição da intensidade da luminária, coeficiente de reflexão da superfície do lugar e seu formato (GE, 2006).
Eficiência da luminária	Razão entre os lúmens emitidos pela luminária, divididos pelos lúmens emitidos pela (s) lâmpada (s) em uso (GE, 2006).
Espectro eletromagnético	Sucessão contínua de irradiação magnética e elétrica que pode ser caracterizada pela frequência ou comprimento da onda. A luz visível abrange uma parte pequena do espectro eletromagnético, compreendendo a região entre 380 nanômetros (violeta) e 770 nanômetros (vermelho) do comprimento de onda (GE, 2006).
Fator de potência (FP)	Avaliação da diferença de fase entre a tensão e a corrente em circuitos de corrente alternada. Os fatores de potência podem ser calculados de 0 até 1, com 1 sendo o valor ideal. Um fator de potência alto significa que o aparelho ou sistema elétrico está utilizando eficientemente a energia. Lâmpadas incandescentes possuem fatores de potência perto de 1, pois são cargas “resistivas” simples (PHILIPS, 2004). O fator de potência é importante dado para a escolha dos reatores.

Fluxo radiante	Uma fonte luminosa é na verdade uma fonte de radiação eletromagnética, caracterizada pelo fluxo radiante Φ_R , medido em watt (W), que corresponde à energia total por unidade de tempo, irradiada em todos os comprimentos de onda. A sua distribuição espectral $S(\lambda)$ é medida utilizando-se um espectralradiômetro (GOUVÊA, 2005).
Fluxo luminoso	Quantidade derivada do fluxo radiante Φ_e pela avaliação da radiação de acordo com seu efeito no observador fotométrico padrão CIE (IEC, 2007).
Sal de Fósforo	Composto químico inorgânico, processado em pó e depositado sobre a superfície interna de vidro dos bulbos de lâmpadas fluorescentes e de algumas lâmpadas de vapor metálico e de mercúrio. O sal de fósforo está projetado para absorver radiação ultravioleta de comprimento de onda curto, transformá-la e emití-la como luz visível (GE, 2006).
Irradiação infravermelha	Energia eletromagnética irradiada na faixa do comprimento de onda de cerca de 770 a 1106 nanômetros. A energia nessa faixa não pode ser vista pelo olho humano, mas pode ser sentida como calor pela pele (GE, 2006).
Irradiação ultravioleta (UV)	Energia irradiante na faixa de 100-380 nanômetros. Para aplicações práticas a banda UV é dividida como: Produzindo ozônio: 180 – 220 nm; Bactericida (germicida): 220 – 300 nm; Eritema (avermelhamento da pele): 280 – 320 nm; Luz “negra”: 320 – 400 nm. A CIE define as bandas UV como UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) e UV-C (100-280nm) (GE, 2006).
Lâmpada	Termo utilizado para se referir ao conjunto completo da fonte de iluminação, incluindo as peças internas, bem como o tubo ou o bulbo externo. “Lâmpada”, também é utilizado para se referir ao tipo de luminária para pequena iluminação, tal como, uma lâmpada de mesa (GE, 2006).
Lâmpada de descarga de alta-intensidade (HID)	Termo geral para as lâmpadas de vapor de mercúrio, vapores metálicos e vapor de sódio de alta-pressão. As lâmpadas HID contém tubos de arcos compactos, que contém sais de metais e gases diversos, em temperaturas e pressões relativamente altas (OSRAM, 2006).
Lâmpada de sódio de alta-pressão (HPS)	As lâmpadas HPS são fontes de luz de descarga de alta intensidade, que produzem luz por uma descarga elétrica diretamente no vapor de sódio em temperaturas e pressões relativamente altas (OSRAM, 2006).

Lâmpada de vapores metálicos	Fonte de luz de descarga de alta intensidade na qual a luz é produzida pela irradiação proveniente do mercúrio, mais os haletos dos metais, tais como Sódio, Scandio, Índio e Disprósio. Alguns tipos de lâmpadas podem também utilizar revestimentos fosforosos (GE, 2006).
Lâmpada fluorescente	Uma lâmpada de alta eficiência que utiliza uma descarga elétrica diretamente de vapor de mercúrio de baixa pressão para produzir energia ultravioleta (UV). A UV excita os materiais fosforosos aplicados como uma fina camada no interior de um tubo de vidro, o qual integra a estrutura da lâmpada. O fósforo transforma a UV para luz invisível (GE, 2006).
Lâmpada Halógena	Nome abreviado para uma lâmpada de tungstênio-halógeno. As lâmpadas halógenas são lâmpadas incandescentes de alta pressão, contendo gases halógenos tais como iodo ou bromo, os quais permitem que os filamentos operem em temperaturas mais altas e com eficiências luminosas maiores. Uma reação química que ocorre à alta temperatura envolvendo o tungstênio e o gás halógeno, recicla as partículas evaporadas do tungstênio de volta para a superfície do filamento (GE, 2006).
Lâmpada incandescente	Lâmpada que proporciona luz quando um filamento é aquecido até a incandescência por uma corrente elétrica. As lâmpadas incandescentes são a forma mais antiga de tecnologia de iluminação elétrica (GE, 2006).
Lâmpada PAR	PAR é uma convenção para um Refletor Aluminizado Parabólico. Uma lâmpada PAR, que pode utilizar um filamento incandescente, um tubo de filamento halógeno ou tubo de arco HID, é uma lâmpada refletora com preciso fecho de luz e maior pressão interna dos gases. Ela é fabricada com vidro resistente ao calor (<i>hard glass</i>) e controla o seu fecho de luz por meio do seu refletor interno e de uma lente com prismas e difusores (GE, 2006).

Lâmpada Refletora	Pode ser uma lâmpada incandescente, fluorescente compacta ou HID com um bulbo com superfície refletora. As versões incandescente e HID são fabricadas de uma peça única de vidro alcalino ou borossilicato. As versões CFL podem ser de peça única ou podem ser projetadas de forma que a lâmpada interna possa ser substituída (GE, 2006).
Lúmen (lm)	A unidade internacional (SI) do fluxo luminoso ou quantidade de luz. Fotometricamente, ele é o fluxo luminoso emitido dentro de um ângulo sólido unitário (um esferorradiano) por uma fonte pontual tendo a intensidade luminosa uniforme de uma candela (INMETRO, 2006).
Lúmens médios	É o rendimento médio de luz de uma lâmpada relacionada com sua vida útil publicada. Para lâmpadas multi-vapor e fluorescentes, os lúmens médios são avaliados a 40% da vida útil publicada da lâmpada. Para lâmpadas de vapor de mercúrio, incandescentes e de vapor de sódio de alta pressão, os lúmens médios são avaliados a 50% da vida útil publicada da lâmpada (GE, 2006).
Luminária	Unidade completa de iluminação consistindo de uma lâmpada (ou lâmpadas), junto com as partes projetadas para distribuir a luz, posicionar, proteger e conectar a lâmpada com a fonte de energia (GE, 2006).
Lux (lx)	Unidade de iluminação do Sistema Internacional, definida como um lúmen uniformemente distribuído por uma área de um metro quadrado (GE, 2006).
Luz	O termo genericamente aplicado para a energia visível de uma fonte. Luz é normalmente medida em lúmens. Quando a luz atinge uma superfície ela é absorvida, refletida ou transmitida em diferentes proporções (GE, 2006).
Quilowatt (Kw)	Unidade de potência que representa mil watts (1.000 watt = 1 quilowatt) (GE, 2006).
Quilowatt-Hora (kWh)	É a unidade padrão de energia elétrica e também a unidade de cobrança típica utilizadas pelas empresas de serviços públicos de eletricidade. Uma lâmpada de 100 watts operada por 10 horas consome 1000 watt-horas (100 x 10) ou 1 quilowatt-hora (GE, 2006).
Refletância	É a fração da radiação incidente refletida por uma superfície. Na prática deve ser tratada como uma propriedade direcional que é função da direção refletida, direção incidente e do comprimento de onda incidente. (WIKIPEDIA, 2007)

Tensão (V)	É a força eletromotiva em um aparelho ou circuito elétrico expressa em volts (GE, 2006).
Vida mediana nominal (horas)	Corresponde ao valor no qual 50% das lâmpadas ensaiadas se mantêm acesas sob condições controladas em laboratório. Esta vida não é necessariamente a vida em serviço, já que flutuações de tensão e outras influências ambientais podem resultar em um encurtamento da vida média. Por exemplo, é esperado que, em média, uma lâmpada Cristal de 60 watts queime após 1000 horas (220V) de acendimento. Assim, 1000 horas é o ponto no tempo onde 50% das amostras de testes queimaram e 50% ainda permanecem acesas (GE, 2006).
Volt	Medida da “pressão elétrica” entre dois pontos. Quanto maior a voltagem, mais corrente será “empurrada” através de um resistor conectado pelas suas extremidades. A especificação de volts de uma lâmpada incandescente é a “pressão elétrica” exigida para alcançar o seu desempenho de projeto. A “voltagem” de um reator (por exemplo 127V) refere-se à voltagem de linha que ele deve ser conectado (GE, 2006).
Watt (W)	Unidade de potência elétrica. As lâmpadas são marcadas em watts para indicar o seu consumo de energia. A energia consumida multiplicada pelo tempo de utilização é igual a energia elétrica utilizada (GE, 2006).