

TÍTULO: ILUMINAÇÃO

AUTOR: ALCIDES HORÁCIO AZEVEDO

Arquiteto. Centro de Higiene e Segurança Industrial - SESI -
Rio de Janeiro - RJ.

INTRODUÇÃO

A pesquisa contínua de melhores condições de trabalho tornou essencial o controle dos fatores circunstanciais que influenciam o desempenho humano.

Particularmente importante dentre estes fatores é o estudo da Luz e Iluminação, de modo a permitir ao trabalhador, de visão rápida, exata e segura, dentro de um conforto visual máximo.

Se considerarmos que os impulsos visuais são os responsáveis diretos por 80% de nossa atividade muscular, aceitaremos melhor o fato de mesmo hoje, nesta era de mecanização e automação, serem poucas as operações industriais não diretamente dependentes da capacidade visual do trabalhador.

O estudo da Iluminação caminha em constante evolução à medida em que é melhor avaliada a ação direta da Luz na execução, no desempenho e também no procedimento humano.

Assim é que, hoje, a análise do desempenho visual extravasa os limites do fator de produtividade (velocidade e exatidão) e passam a ser considerados também seus efeitos fisiológicos e psicológicos no ser humano. É a eficiência do homem, em seu caráter maior, onde o dispêndio de energia e a existência de reservas de recurso humano são também tomados em conta, ao invés do simples julgamento do trabalho útil feito por hora ou cruzeiro.

BENEFÍCIOS DA ILUMINAÇÃO CORRETA

- 1) Aumento da produção como decorrência de uma visão mais rápida, mais precisa, além da maior motivação resultante.
- 2) Aprimoramento da qualidade e redução do número de objetos devolvidos (refugo), considerando-se que a visão mais acurada resulta em maior precisão de movimentos do operário.
- 3) Melhor aproveitamento das áreas disponíveis devido ao arranjo mais eficiente do maquinário.
- 4) Trabalho independente das oscilações da luz diurna e condições atmosféricas.
- 5) Maior facilidade de limpeza e manutenção com a iluminação, destacando a sujeira ou caracterizando o defeito.
- 6) Aproveitamento por prazo maior de experiência do operário idoso e de visão deficiente.
- 7) Maior facilidade de inspeção e controle de qualidade.
- 8) Menor grau de fadiga e melhoria do moral dos trabalhadores, com menor flutuação da mão de obra.
- 9) Redução do número de acidentes e melhoria das condições gerais de segurança.

VISIBILIDADE

As condições de visibilidade dos objetos devem ser das melhores possíveis a fim de proporcionar ao observador a realização da tarefa visual com segurança, precisão, rapidez e eficiência, sem provocar-lhe um estado de tensão psicológica excessiva ou demasiado dispêndio de energia.

A visibilidade está na dependência direta dos fatores intrínsecos ao observador (fisiológicos, psicológicos e patológicos) e dos fatores extrínsecos ao mesmo (condições próprias aos objetos visados). O condicionamento físico, psicológico e patológico do indivíduo, foge ao nosso estudo, em virtude do que restringimo-nos apenas aos fatores extrínsecos.

FATORES DA VISÃO

As investigações têm demonstrado que a visibilidade depende de quatro variáveis básicas, associadas ao objeto visual.

- 1 - As dimensões do objeto
- 2 - A luminância do objeto
- 3 - O contraste do objeto com seu fundo
- 4 - O tempo disponível para ver o objeto

Estes quatro fatores interdependentes são, pois, os determinantes das condições de visibilidade e seus valores, em relação ao Limiar de Visão, caracterizam condições de visibilidade correta, precária ou nula.

1 - DIMENSÕES DO OBJETO

Quando menciona-se "Dimensões do Objeto" fica subentendido o seu Tamanho Visual expresso em termos do Ângulo Visual correspondente cujo vértice está no olho do observador e os lados abrangem as extremidades do objeto. Este tamanho visual, depende da dimensão linear do objeto e de sua distância ao observador. Assim, quanto mais afastados os objetos, menor o seu tamanho aparente.

Acuidade Visual é a medida da sensibilidade do olho em termos de limite de tamanho, ou seja a capacidade ocular de discriminar detalhes.

2 - LUMINÂNCIA DO OBJETO

A sensação visual é produzida pelo fluxo luminoso proveniente de fontes de luz (corpos luminosos) ou de fontes secundárias (corpos iluminados).

A relação entre o fluxo luminoso (lumens) que incide sobre uma superfície e a área (m²) desta, caracteriza seu iluminamento (lux). Assim, um fluxo luminoso de 1 lumen incidindo em uma superfície de 1 m² corresponde a um iluminamento de 1 lux.

Do fluxo luminoso incidente sobre uma superfície, uma



parte é absorvida e outra refletida. É o fluxo refletido que determina sua visibilidade. Este fluxo refletido depende mais da natureza do objeto que do iluminamento recebido. Esta capacidade de reflexão específica de cada objeto chama-se fator de reflexão ou refletância que é, na prática, expresso sob a forma de percentual.

Exemplo: uma folha de papel, branca e fosca, tem uma refletância de 80%, ou seja, refletirá 80% do fluxo luminoso recebido.

A Luminância de um objeto depende pois do grau de iluminação sobre o mesmo (iluminamento) e da luz refletida em direção ao olho (refletância).

Uma superfície pode estar muito iluminada e ter baixa luminância o que acontecerá quando sua refletância for baixa (superfície preta, por exemplo).

3 - CONTRASTE DO OBJETO COM SEU FUNDO

O contraste entre os detalhes de um objeto e seu fundo imediato tem um aspecto importante em visibilidade. Quando se traçam linhas com tinta (refletância 4%) em um papel branco (refletância 80%) percebe-se a diferença de luminância entre a linha e o papel: o contraste. Geralmente se expressa o contraste em percentagem dadas pela relação entre a diferença de luminância ($80\% - 4\% = 76\%$) e a luminância maior (80%); assim, o contraste do exemplo dado é de $76 \div 80 = 95\%$.

Outra forma de indicar o contraste é a relação entre os fatores de reflexão do papel e da tinta (20:1).

O contraste pode ser proveniente, além da diferença de luminância, de uma diferença de cor. Objeto e fundo da mesma cor e material, tendo portanto a mesma refletância, apresentam contraste nulo.

4 - TEMPO DISPONÍVEL PARA VER O OBJETO

Grande parte das atividades industriais envolve movimento. Considerando-se que o processamento visual não é instantâneo (1/10 de seg.), o tempo de exposição do objeto em mo



vimento à visão é de suma importância.

A velocidade do objeto deve ser lenta e suficiente para que o olho possa ter uma visão momentânea ou seguir seu movimento, sendo suficientemente rápida para obter-se um nível ótimo de produção. Este condicionamento será, como veremos, função dos demais fatores de visibilidade.

Análise Conjunta dos Fatores de Visibilidade

Depreende-se do que vimos anteriormente que as melhores condições de visibilidade são alcançadas quando:

- 1 - os objetos apresentam grandes dimensões angulares;
- 2 - grande luminância resultando de iluminamento correto e boa refletância do objeto;
- 3 - grande contraste com o fundo (cor e refletância) e
- 4 - bastante tempo de exposição do objeto à visão.

Na prática, todos estes fatores agem simultaneamente e as condições de visibilidade dependem da sua resultante.

As condições do trabalho a executar geralmente determinam os valores da dimensão angular, contraste e tempo de exposição, que dificilmente podem ser alteradas. Resta-nos, portanto, sanar as deficiências acaso existentes em um desses fatores através de um sistema de iluminação racional, obtendo-se valores de iluminamento compensadores.

Uma grande intensidade de luminância ocasionará maiores valores da acuidade visual, da sensibilidade diferencial e da velocidade de percepção proporcionando, em conjunto, melhor visibilidade.

QUANTIDADE DE ILUMINAÇÃO

A finalidade básica de um sistema de iluminação é dar condições a uma "performance" ótima no desempenho de determinada tarefa. Está experimentalmente comprovado que à medida em que o iluminamento sobre a tarefa vai crescendo, resulta um aumento da facilidade, rapidez e precisão de execu-

tã-la.

A condição ideal seria poder-se analisar em laboratório cada atividade e determinar-se o nível de iluminação recomendado. Como isto foge à realidade, observam-se padrões aproximados como os seguintes:

- a) 100 lux - para trabalhos visuais mais ou menos interrompidos ou ocasionais, sem discriminação de detalhes (recepção, depósito, embalagem, etc.)
- b) 200 lux - para trabalhos executados em períodos intermitentes ou prolongados, desde que com detalhes moderados (carpintaria, serralheria, etc.)
- c) 500 lux - para tarefas visuais precisas e prolongadas, com detalhes reduzidos (ex.: leitura e estudo prolongados, serviços de bancada e montagem, costura, etc.)
- d) 1000 lux - para tarefas visuais de precisão, longos períodos e detalhes mínimos (acabamentos finos, tipo grafia, desenho, etc.)

Tabelas de níveis de iluminação específicos a cada atividade ou tarefa foram desenvolvidas pela Sociedade de Engenharia de Iluminação (I.E.S.), nos Estados Unidos e a Associação Brasileira de Normas Técnicas, no Brasil, além de outras entidades e empresas que se interessam por Iluminação.

Deve ser chamada a atenção para o fato de que os valores tabelados são valores operacionais mínimos; isto é, eles se aplicam às medidas do equipamento de iluminação em uso e não simplesmente às lâmpadas e refletores quando novos e limpos - e, sempre que possível, valores superiores devem ser adotados com grandes benefícios.

QUALIDADE DA ILUMINAÇÃO

A obtenção dos níveis de iluminação requeridos para uma determinada tarefa é essencial mas não o suficiente para que sejam atingidas as condições ótimas de desempenhã-la. Para tanto cumpre analisar também a iluminação no que diz respeito à sua qualidade.

Em outras palavras, que sejam controlados os efeitos do deslumbramento ou ofuscamento, a orientação e difusão da luz sobre a tarefa e arredores, a distribuição da luminância através do campo visual, a cor da luz e as condições gerais do ambiente de trabalho.

DESLUMBRAMENTO E OFUSCAMENTO, segundo Emile Hass, é "o conjunto das desordens ocasionadas ao aparelho visual pelo excesso ou má distribuição do fluxo luminoso que atinge a retina, tomada em um estado de adaptação".

O deslumbramento é ocasionado, em geral, pela presença de uma luminância excessiva, estranha à tarefa visual, dentro do campo visual, produzindo uma situação de desconforto e fadiga nervosa.

O deslumbramento, segundo a orientação do fluxo luminoso que o ocasiona, pode ser direto ou refletido.

O deslumbramento diz-se direto quando é ocasionado pelo fluxo luminoso diretamente sobre o órgão da visão e refletido, quando produzido pela luminância (fluxo refletido) excessiva ou de grande contraste. Esta classificação é simplesmente de efeito teórico, uma vez que um e outro são igualmente prejudiciais a qualquer atividade visual.

O deslumbramento pode ser ainda classificado como simultâneo, sucessivo e por contraste.

Diz-se que o deslumbramento é simultâneo, quando ocasionado ao mesmo tempo em que se forma a imagem do objeto visado.

Deslumbramento sucessivo é o que ocorre quando a visão sucessivamente passa, por áreas de luminância muito diferentes, isto é, passa do claro ao escuro e vice-versa.

O deslumbramento por contraste, verifica-se quando o campo visual é intensamente iluminado por uma fonte luminosa local e próxima, permanecendo no escuro os arredores. A cada instante em que o trabalhador desvia o olhar do campo de trabalho é obrigado a uma adaptação da pupila, o que certamente acarretará fadiga visual.

Prevenção do Deslumbramento

- a) Retirada do campo visual das fontes luminosas, deslocando-as para uma posição superior ou protegendo-as com anteparos.
- b) Redução da luminância excessiva de planos.
- c) Redução do contraste de luminância entre o objeto e o fundo ou a fonte luminosa e o fundo, contra o qual é visto.
- d) Adoção de sistemas de iluminação geral para o ambiente de trabalho, com reforço local e respeitados os níveis de contraste, quando necessário.
- e) Supressão do polimento das superfícies de trabalho, sempre que possível.

Orientação e Difusão da Luz

A iluminação deve ser orientada e difundida de modo a permitir a visão de relevos, sem contudo ocasionar sombras duras e exageradas.

O fluxo luminoso incidente é o responsável pela caracterização das sombras. Se é unidirecional e proveniente de uma fonte reduzida (ex.: um projetor), ocasiona sombras nitidamente definidas (duras) e escuras (espessas).

Quando o fluxo luminoso é pluridirecional e proveniente de uma fonte luminosa ampla, como por exemplo, luminárias com difusor, as sombras tornam-se apenas visíveis e os relevos se achatam. A visão é muito suavizada. Esta situação deve ser adotada preferencialmente para os locais de trabalho.

Quando em casos específicos, como gravação, inspeção têxtil, etc., for interessante a presença da sombra marcada e o relevo destacado, este efeito deverá ser obtido através de iluminação direcional suplementar.

Distribuição da Luminância no Campo Visual

A sensibilidade da função visual é máxima quando a luminância dos arredores é a mesma do campo visual.

Este conceito foi estabelecido a partir de estudos de acuidade visual e precisão de visão.

No exterior, as diferenças de luminosidade geral-

mente são limitadas, exceto em alguns casos especiais. De um modo geral medições comprovaram que, em condições normais, a maior diferença de luminosidade entre dois pontos situados em um ângulo de uns 10° é de 1:11.

Com a iluminação artificial, esta diferença é muito maior, às vezes de 1:750.

Pelas Normas Brasileiras a diferença de nível de iluminamento entre o campo de trabalho e os arredores não deve ultrapassar 1:10.

De um modo geral as diferenças máximas de luminosidade admissíveis são:

- a) entre a tarefa visual e o campo de trabalho-3:1
- b) entre a tarefa visual e os arredores-10:1
- c) entre a fonte de luz e o fundo-20:1

Máxima diferença de luminância no campo visual-40:1

A distribuição da luminância no campo de visão deve ser feita, em última análise, de forma a evitar o contraste entre áreas claras e escuras, condição indesejável para o olho.

Cor da Luz

O tema luz e cor é grande e complexo. Entretanto não é o mistério que aparenta. Se bem que em algumas situações a composição espectral (cor) da luz é importante, sendo que na maior parte das vezes ela é de caráter secundário, em se tratando de visibilidade e visão. Assim chamada luz branca oscila do branco-amarelado (lâmpadas de filamento de tungstênio) até o branco azulado com as lâmpadas fluorescentes, luz do dia.

Todas são adequadas para uso geral. Para tarefas especializadas envolvendo discriminação de cor, lâmpadas emitindo todas as cores devem ser adotadas.

Uma grande variedade de lâmpadas fluorescentes estão agora disponíveis no mercado.

A cor da luz pode ser utilizada também para destacar o contraste dentro de determinada tarefa. Neste caso



a cor da luz deve ser para complementar a cor da superfície.

A cor da luz é também útil para criar um ambiente quente ou frio. Este aspecto é bastante importante nas operações industriais que envolvem frio ou calor excessivo, proporcionando melhores condições ambientais.

Condições Gerais

Algumas recomendações de caráter geral ainda se fazem necessárias para melhoria do ambiente de trabalho.

O teto, fora da linha normal de visão, deve ser de cor branca, ou seja, ter uma refletância de ordem de 80%. Isto acarretará um menor contraste com as fontes de luz artificiais ou naturais (Lanternim, ched etc.).

As paredes não deverão ter refletância superior a 70%. Portanto, cores claras mas não o branco, deverão ser adotadas. Recomenda-se uma refletância entre 50 a 70% para as tintas a serem adotadas.

O piso, sempre que possível, deverá ter um índice de refletância da ordem dos 25% (ex.: cinza-claro), aumentando a luminosidade do ambiente e diminuindo os riscos de queda.

Para máquinas e equipamentos, recomenda-se uma refletância entre 25 a 40%. A cor cinza, em suas diversas nuances é talvez a cor ideal, por ser uma cor neutra, não criando possíveis distorções e dando margem ao uso de cores de sinalização com boas condições de destaque.

Para ambientes de trabalho com nível de temperatura elevado, sugerem-se cores frias: verde ou azul, com uma refletância de 50 a 60%. Em caso contrário é preferível o emprego de cores quentes: creme ou marfim.

SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

Considerando-se a origem da luz, podemos classificar a iluminação em natural e artificial.

A iluminação natural apresenta sobre a artificial vantagens óbvias sob certos aspectos. É a mais indicada para a discriminação de detalhes finos e a distinção exata de cores. É gratuita. É a luz à qual nossos órgãos visuais se habituaram através de séculos.

Num país tropical, como o nosso, tudo deve ser feito no sentido de aproveitar-se ao máximo a abundância da iluminação natural e esta recomendação é feita principalmente a arquitetos e engenheiros encarregados de projetar e construir novas indústrias.

A iluminação natural, no entanto, além de apresentar os mesmos problemas que a iluminação artificial, tais como, distribuição, níveis adequados, deslumbramento, etc. - tem contra si o fato de ser extremamente variável. De fato, a iluminação natural varia com as condições meteorológicas, as horas do dia, a posição das construções, as proporções dos vãos necessários a iluminar um ambiente profundo, enfim uma série de fatores que escapam ao controle do homem e dificultam sua utilização.

A iluminação artificial geral merece, portanto, um estudo acurado.

Segundo a distribuição do fluxo luminoso, a iluminação artificial pode ser direta, semi-direta, difusa geral ou mista, semi-indireta e indireta.

O sistema direto é o de maior rendimento. É o mais barato e de manutenção mais fácil, uma vez que as superfícies refletoras estão voltadas para baixo, evitando grande parte do acúmulo de pó e sujeira. Pode, no entanto, provocar sombras acentuadas e ofuscamento perturbador, quando não for bem planejado. As paredes e tetos funcionam pouco como superfícies refletoras neste sistema.

É o sistema mais convencionalmente encontrado nas indústrias.

O sistema difuso geral é melhor que o direto, quanto à difusão e sombras. Reduz o ofuscamento. É de manutenção mais ou menos fácil e de rendimento um pouco inferior.



O sistema indireto, onde quase todo o fluxo é dirigido para cima, praticamente elimina as sombras e o ofuscamento. Neste sistema as paredes e tetos tem importância decisiva e seu estado e manutenção em boas condições, são essenciais ao bom funcionamento. É um sistema caro e de baixo rendimento. Usado na indústria somente em casos especiais.

Os demais, são sistemas intermediários, dificilmente encontrados na prática.

Resumindo, a iluminação artificial geral deve ser projetada de forma a distribuir-se uniformemente em todo o ambiente de trabalho, evitando-se contrastes de luminância e fornecendo o iluminamento necessário a cada tarefa visual.

Por motivos econômicos ou por necessidade de uma iluminação direcional para criar determinado efeito, complementa-se a iluminação geral com uma iluminação suplementar.

Vale destacar que a diferença de níveis de iluminamento não deverá ultrapassar a relação 10:1.

Fontes de iluminação artificial

Na prática da iluminação de indústrias, encontramos três tipos de fontes luminosas: as lâmpadas incandescentes, as fluorescentes e as lâmpadas a vapor de mercúrio.

Lâmpadas incandescentes - são usadas em todos os tipos de projeto, sejam com alturas baixas, médias ou elevadas. Usadas sozinhas ou em combinação com as lâmpadas a vapor de mercúrio. São de baixo custo de instalação e têm boa reprodução de cores. Apresentam, no entanto, rendimento luminoso relativamente baixo e substituição freqüente de lâmpadas.

Lâmpadas fluorescentes também adotadas em todas as situações do projeto. Com pés-direito baixos, médios ou elevados. Adotados também na iluminação suplementar. Possuem ótimo rendimento e durabilidade excelente. Boa reprodução de cores; o inconveniente maior é a limitação de "wattagem" (de terminando a necessidade de grande número de aparelhos para obter-se a iluminação adequada).

Lâmpadas a vapor de mercúrio usualmente adotadas em locais de pé direito médio ou alto. Usada comumente com bons resultados em combinação com as lâmpadas incandescentes. Apresentam grande luminosidade, grande durabilidade e grande rendimento lumínico. São deficientes no que diz respeito à distinção cromática. É de alto custo de instalação.

Manutenção

Pode-se estimar a depreciação de um sistema de iluminação ao longo do tempo, em até 50%, conforme as condições gerais. Se, no entanto, forem adotadas medidas e práticas de manutenção, esta depreciação pode ser reduzida para cerca de 25%.

Entende-se, por manutenção, o seguinte processamento:

- a) medições periódicas do nível de iluminamento.
- b) Estabelecimento de um sistema periódico de limpeza, processando-se a lavagem dos aparelhos e lâmpadas, sempre que o iluminamento atingir 2/3 do valor inicial ou determinando-se prazos razoáveis para esta lavagem, se não se dispuser de um luxímetro (3 em 3 meses por ex.).
- c) Uso de equipamento próprio para redução do custo de manutenção (armações móveis, etc.).
- d) Limpeza ou pintura de paredes e tetos, quando indicado.
- e) Plano de substituição de lâmpadas. Às vezes é economicamente mais interessante a substituição em grupo, do que substituir as lâmpadas uma por uma. A substituição por grupo consiste em trocar todas as lâmpadas de uma instalação, de uma só vez, numa época em que as mesmas já funcionaram cerca de 80% das horas de vida normal.
- f) Estoque de elementos de reposição (lâmpadas, starts, etc.).

ESTUDO DE ILUMINAÇÃO - MEDIÇÕES

Um estudo de Iluminação consiste, basicamente,

