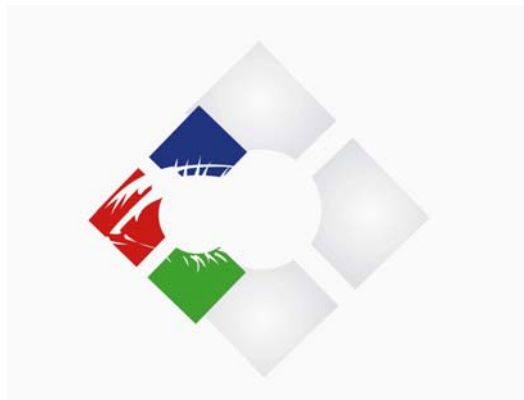




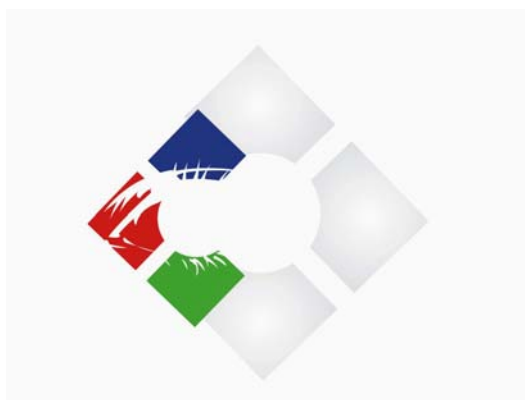
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação
Programa de Pós Graduação em Desenho Industrial

DANIELA NEVES DO NASCIMENTO



**“AVALIAÇÃO DO USO DE IMAGENS HDR NO ESTUDO DE
ILUMINAÇÃO”**

BAURU/SP
2008



“AVALIAÇÃO DO USO DE IMAGENS HDR NO ESTUDO DE ILUMINAÇÃO”

Dissertação apresentada no Programa de Pós-graduação em Desenho Industrial, na linha de pesquisa em “Ergonomia”, da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – campus Bauru, como exigência para a obtenção do título de Mestre em Desenho Industrial. Sob orientação do Prof. Dr. João Roberto Gomes de Faria.

Autora: Daniela Neves do Nascimento

BAURU/2008

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Sérgio Sacarazzato

Membro da banca examinadora
USP – Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Luiz Gonzaga Campos Porto

Membro da banca examinadora
Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”

Prof. Dr. João Roberto Gomes de Faria

Orientador e Presidente da banca examinadora
Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meu avô Eduardo Panão (*in memoriam*) que foi um grande homem e me mostrou o valor do conhecimento e da família. Se estivesse vivo seria uma das pessoas que estaria mais feliz com esta conquista. Sinto sua falta e gostaria muito que estivesse presente comigo. Esta vitória também é sua.

AGRADECIMENTO

Este trabalho só foi possível por que pude contar com a amizade, o apoio e a ajuda de muitas pessoas. A estas, expresso meus mais profundos agradecimentos.

Primeiramente agradeço a Deus, o grande Arquiteto do Universo e Autor de nossa existência. Ele nunca me abandonou e sem Ele nada é possível.

Ao Prof. Dr. João Roberto Gomes de Faria, orientador, amigo e mentor de todos os passos e etapas que resultaram neste trabalho, para o qual confiou seu nome. Por seu profissionalismo, competência, paciência e por ter me dado à chance de ser sua orientanda. Foi uma honra tê-lo a meu lado. Professor Muito Obrigado.

Agradeço, com muito carinho aos meus pais, meu norte e porto seguro, por nunca terem desistido de lutar pela minha completa educação, ensinando-me princípios de moral e retidão, guiando-me sempre pelo caminho do bem, da honestidade e da justiça. Aos meus queridos irmãos Tiago e Henrique, pela força, apoio incondicional, carinho e amizade sempre. Amo vocês.

A todos os Familiares, em especial aos meus tios corujas Nivaldo, Percival e Roberto, pelo apoio, força e incentivo. Aos meus avós Toninho, Tita e Ana, por estarem sempre presentes em minha vida e serem o meu exemplo e angorá.

Aos meus queridos alunos Daiane Dalbem e Thiago Pereira que se disponibilizaram para fazer as revisões dos equívocos gramaticais e ortográficos por mim cometidos e os estudos em 3D. As grandes amigas Rogéria Lázari por ter me ajudado com as imagens e tabelas, a Lívia por ter traduzido toda a bibliografia desta pesquisa e a professora Jussara por ter me ajudado nos cálculos. Muito obrigada!

Agradeço aos colegas do mestrado por todas as explicações, conversas, trocas de referências, congressos, bares e debates, em especial aos amigos: Cláudia Cirineu, Eunice Valente, Franciane Falcão, Jarryer Martino (As Panteras e Charles) e Rodrigo Spinosa (amigo e companheiro de trabalho) pelos momentos inesquecíveis que dividimos durante todas as atividades do mestrado. Mesmo distantes nunca me esquecerei de vocês.

A todos docentes e funcionários Helder Gelonezi e Silvio Decimone do Programa de Pós-graduação em Desenho Industrial da FAAC/Unesp, pela colaboração e especial atenção na realização e finalização desta pesquisa. Vocês tornaram mais fácil e prazeroso esse Mestrado. Obrigada!

Enfim, a todos aqueles que não foram citados, mas que direta ou indiretamente colaboraram para a realização desta pesquisa, quero deixar meus afetuosos agradecimentos.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

O conforto visual no ambiente de trabalho também é alvo de estudo da ergonomia, e com o auxílio da análise de imagens digitais – HDR (High Dynamic Range) é possível ter um estudo mais rápido e barato contribuindo assim para o bem estar dos trabalhadores, já que uma boa iluminação tornará o ambiente de trabalho mais produtivo e prazeroso. Tem-se por objetivo especificamente, estudar formas de caracterizar o ambiente em relação à possibilidade da ocorrência de ofuscamento a partir de imagens HDR e viabilizar o uso de câmeras fotográficas digitais de uso amador, com lentes padrão, no desenvolvimento de uma sistemática e da correspondente instrumentação para avaliar índices de ofuscamento empregando imagens HDR compostas a partir de fotos obtidas com tais câmeras.

Palavras chaves: Imagens HDR, Iluminação e Ergonomia.

ABSTRACT

The visual comfort in the work environment also is white of study of the ergonomics, and with the aid of the analysis of digital images - HDR (High Dynamic Range) is possible to have a cheap study faster e thus contributing it welfare of the workers, since a good illumination will become the environment of more productive and pleasant work. It is had specifically for objective, to study forms to characterize the environment in relation à possibility da ofuscamento occurrence to leave of images HDR and to make possible the use of digital cameras of amateur use, with lenses standard, no development of a systematics and da corresponding instrumentation to evaluate ofuscamento indices being used composed images HDR to leave of photos gotten with such cameras.

Keywords: Images HDR, Illumination and Ergonomics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.1 – Câmera digital Cyber Shot Sony W5 e a direita Luminancímetro Konica Minolta.....	09
Figura 3.1.1.3 – Influência da cor da luz quente e fria em vitrines e em frutas.....	13
Figura 3.2.1 – Iluminância.....	14
Figura 3.2.2 – Luminância.....	14
Figura 3.3.1 – Campo de visão binocular. A - visão foveal, B - área vista por ambos os olhos, C - área vista pelo olho esquerdo, D - área vista pelo olho direito.....	15
Figura 3.3.2 – Representação do campo visual, campo de percepção nítida, campo médio de visão não nítida e campo periférico. (movimentos são percebidos até ângulo de 70° e 60°).....	16
Figura 3.3.3 – Representação do campo visual, campo de percepção nítida (menos de 1° grau), campo médio (visão não nítida - ângulo de 1° a 40°) e campo periférico. (movimentos são percebidos até ângulo de 70°).....	16
Figura 3.5.1.1 – Gráfico de Acuidade visual x Nível de iluminamento.....	22
Figura 3.8.1 – Sistemas de iluminação típicos em áreas de trabalho.....	28
Figura 3.8.2 – As luminárias devem ficar posicionadas 30° acima da linha de visão e atrás do trabalhador, para evitar ofuscamentos e reflexos.....	28
Figura 4.1.1 – A faixa de luminância no ambiente natural e parâmetros visuais associados.....	39
Figura 4.2.1 – Imagem Falsa Cor e Imagem Sintética gerada pelo programa RADIANCE.....	41
Figura 4.3.3 – Seqüência de fotos com exposições diferentes.....	45
Figura 4.3.4 – Imagem HDR e os planos de informação armazenados no formato RGBE.	46

Figura 4.5.1 – Imagem de falsa cor representando escala de luminâncias criadas a partir das imagens HDR.....	50
Figura 5.3.1 – Representação do cálculo do ângulo sólido em relação à abertura.....	59
Figura 5.3.2 – Ângulos utilizados no cálculo do ângulo sólido (B) e ângulo de correção do cosseno (P).....	59
Figura 5.3.4 – Componentes do Índice do componente P.....	60
Figura 5.4.1 – Exemplos de distribuição de luminâncias (esq.) e de mapeamento de luminâncias maiores que um valor estipulado (dir.), gerados pelo RADIANCE.....	63
Figura 6.1.1.1 – Tripé e Luminancímetro.....	68
Figura 6.1.1.2 – Desenho esquemático posto de trabalho.....	68
Fig. 6.1.1.3 – Luminancímetro.....	69
Fig. 6.1.1.4 – Subdivisão da Fotografia.....	70
Figura 6.1.2.1 – Tripé com a Câmera Fotográfica Cyber Shot.....	70
Figura 6.2.1.1 – Planta Baixa da Sala de Atendimento – Unesp/Bauru.....	73
Figura 6.2.1.2 – Fonte de luz frontal em relação ao computador.....	74
Figura 6.2.1.3 – Fonte de luz lateral em relação ao computador.....	74
Figura 6.2.2.1 – Monitor de frente com a fonte pontual.....	75
Figura 6.2.2.2 – Monitor ao lado da fonte pontual.....	75
Figura 6.2.3.1 – Layout do mobiliário e Lâmpadas do laboratório Unesp/Bauru.....	76
Figura 6.2.3.2 – Posição do Monitor no Laboratório.....	76
Figura 6.2.3.3 – Análise das lâmpadas 01 e 03.....	77
Figura 6.2.3.4 – Análise das lâmpadas 06 e 07.....	77
Figura 6.2.3.5 – Análise da lâmpada 09.....	77
Figura 7.1.1 – Imagem HDR e Falsa Cor Fonte de Luz Focal de frente ao observador.....	80
Figura 7.1.2 – Imagem HDR – Posto de trabalho e Fonte Focal.....	81
Figura 7.1.5 – Imagem Falsa Cor – Fonte de Luz Focal Posto de Trabalho.....	83
Figura 7.1.8 – Imagem Falsa Cor – Fonte de Luz Focal.....	84
Figura 7.2.1 – Imagem HDR – Posto de Trabalho e Fonte Linear.....	85
Figura 7.2.3 – Imagem Falsa Cor Fonte de Luz Artificial (linear) Posto de Trabalho.....	86

Figura 7.2.6 – Imagem Falsa Cor Fonte de Luz Artificial (linear).....	87
Figura 7.3.1 – Imagem HDR e Falsa Cor. Fonte de Luz Natural de frente ao observador.....	88
Figura 7.3.2 – Imagem HDR – Posto de Trabalho e Fonte Espacial.....	88
Figura 7.3.4 – Imagem Falsa Cor Fonte de Luz Natural Posto de Trabalho.....	90
Figura 7.3.6 – Imagem Falsa Cor Fonte de Luz Natural.....	91
Figura 7.4.1 – Estudo 3D – layout laboratório Unesp/ Bauru.....	92
Figura 7.4.2 - Modelo de Estudo Trigonométrico das Fontes de Luzes.....	93

LISTA DE TABELAS

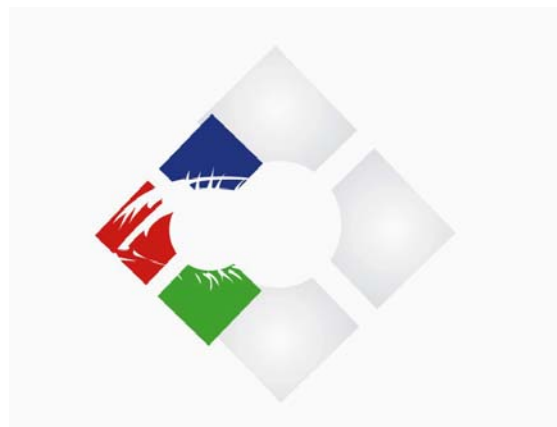
Tabela 3.1.1.1 – Variação da aparência de cor em função do nível de iluminação.....	12
Tabela 3.1.1. 2 – Influência da cor da luz na cor dos objetos.....	12
Tabela 3.5.3.1.1 – Recomendações entre proporções de luminâncias dentro do campo visual.....	24
Tabela 3.8.3 – Níveis de luminâncias recomendadas para algumas tarefas típicas.....	29
Tabela 3.9.1 – Iluminâncias por classe de tarefas visuais.....	31
Tabela 3.9.2 – Fatores determinantes da iluminância.....	32
Tabela 3.9.1.1 – Índices de reflexão média das cores (refletância).....	34
Tabela 4.2.1 – Diferentes tipos de imagens em termos de bits por pixel e número de cores disponíveis.	40
Tabela 5.2.8 – Níveis máximos para índice de ofuscamento por fontes naturais ou artificiais pelas categorias de tarefas.....	58
Tabela 5.3.5 – Componentes do Índice do componente P.....	61
Tabela 5.3.6 – Comparação entre GI e DGI para sensações de desconforto.....	61
Tabela 7.1.3 – Dados da curva da fonte de Luz Focal Posto de Trabalho.....	83
Tabela 7.1.6 – Dados da curva da fonte de Luz Focal.....	84
Tabela 7.2.2 – Dados da Curva da Fonte de Luz Linear Posto de Trabalho.....	86
Tabela 7.2.5 – Dados da Curva da Fonte de Luz Linear.....	87
Tabela 7.3.3 – Dados da Curva da Fonte de Luz Espacial Posto de Trabalho.....	90
Tabela 7.3.6 – Dados da Curva da Fonte de Luz Natural Espacial.....	91

SUMÁRIO

FOLHA DE ROSTO.....	I
BANCA DE AVALIAÇÃO.....	II
DEDICATÓRIA.....	III
AGRADECIMENTOS.....	IV
RESUMO.....	VI
ABSTRACT.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	X
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo Geral.....	4
1.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Justificativa e Fundamentação.....	4
1.4 Descrição dos Capítulos.....	5
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	7
3 ILUMINAÇÃO.....	10
3.1 Fundamentos.....	11
3.1.1 Cor no ambiente x Iluminação.....	11
3.2 Percepção das Distribuição das Luminâncias.....	14
3.3 Processo Visual.....	15
3.4 Ofuscamento.....	17
3.5 Adaptação Visual.....	19
3.5.1 Acuidade Visual.....	21
3.5.2 Brilho.....	22
3.5.3 Contrastes.....	23
3.5.3.1 Contrastes de Luminâncias.....	23
3.6 Conforto Visual.....	24
3.7 Qualidade e Percepção.....	26
3.8 Avaliação das condições de iluminação em postos de trabalho.....	26

3.9	Iluminância – Posto de trabalho.....	30
3.9.1	Uso das Cores no Ambiente de Trabalho.....	32
3.9.2	A Cor e as Normas de Segurança no Posto de Trabalho.....	35
4	IMAGEM HDR.....	37
4.1	Gama Dinâmica.....	38
4.2	Formatos de Armazenamentos da Imagem.....	39
4.3	Imagem HDR.....	41
4.3.1	Algoritmo de Debevec e Malik (1997).....	47
4.3.2	Algoritmo de Mitsunaga e Nayar (1999).....	47
4.4	Programa Make HDR.....	48
4.5	Aplicações das Imagens HDR na previsão do Ofuscamento.....	50
5	OFUSCAMENTO.....	52
5.1	Sistema de Cálculo por Ofuscamento.....	52
5.2	Glare Index – G.....	54
5.3	Cálculo de Ofuscamento por Luz Natural.....	57
5.4	Análise de Ofuscamento a partir de Imagens HDR.....	61
6	SISTEMÁTICA DE OFUSCAMENTO.....	63
6.1	Local.....	64
6.1.1	Procedimentos das Medições.....	68
6.1.2	Medição – Fotografia HDR.....	68
6.2	Tipos de Fontes.....	70
6.2.1	Fonte Natural – Espacial.....	70
6.2.2	Fonte Artificial – Linear e Pontual.....	72
6.2.3	Fonte Natural e Artificial.....	72
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
7.1	Fonte de Luz Artificial Focal.....	77
7.2	Fonte de Luz Artificial Linear.....	82
7.3	Fonte de Luz Natural – Posto de Trabalho.....	85
7.4	Estudo Laboratório – Posto de Trabalho.....	89
7.5	Discussão.....	90

8	REFERÊNCIAS.....	93
8.1	Bibliografia Consultada.....	100
9	ANEXOS.....	105
9.1	Anexo 01 – Estudo Laboratório.....	105
9.1.1	Estudo Laboratório Lâmpada 01.....	106
9.1.2	Estudo Laboratório Lâmpada 03.....	107
9.1.3	Estudo Laboratório Lâmpada 06.....	108
9.1.4	Estudo Laboratório Lâmpada 07.....	109
9.1.5	Estudo Laboratório Lâmpada 09.....	110



1 *Introdução*

A Ergonomia, como outras iniciativas empíricas, surgiu há milênios, desde quando o homem buscou formas de adaptar o ambiente ao seu redor às suas necessidades, transferindo a força de seu trabalho para os animais, adequando instrumentos às suas características anatômicas. Mas de acordo com ABRAHÃO et al. (2002) foi somente na década de 40, em pleno século XX, que a Ergonomia surgiu como uma disciplina científica, abordando o trabalho humano e suas inter-relações no contexto social e tecnológico, buscando mostrar a complexidade da situação de trabalho e a multiplicidade de fatores que a compõe.

Com o aumento vertiginoso da importância da Ergonomia no contexto mundial, seguida pelo crescente número de profissionais envolvidos nesta linha de pesquisa, o Ministério do Trabalho e Previdência Social, no Brasil, elaborou a norma regulamentadora – 17 – (NR17 - Ergonomia), que trata especificamente da Ergonomia visando estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições dos indivíduos de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente. O item 05 da norma trata especificamente das condições ambientais do trabalho, fornecendo parâmetros para adaptação do ambiente.

Tratando-se especificamente de iluminação, a NR-17, “expõe a necessidade de uniformidade, ausência de efeitos indesejáveis de ofuscamento ou contraste e a conformidade com os níveis mínimos de iluminação nos planos de trabalho”. Ainda conforme a regulamentação, a boa iluminação apresenta vantagens, segundo PRADO (1986):

“...essas vantagens são fisiológicas, uma vez que a iluminação facilita a visão, poupa os órgãos visuais, suaviza o trabalho e diminui a fadiga. Vantagens técnicas por possibilitar a execução de tarefas de precisão, melhorar a qualidade de vida e aumentar a aparência dos objetos, realçando seu valor artístico e favorecendo o exame das várias partes do todo; finalmente, fornece vantagens psicológicas por determinar uma impressão de bem estar e inspirar segurança”.

A iluminação é essencial para a composição do ambiente visual e nem sempre o meio impresso é o melhor para a divulgação de estudos da área; a fotografia oferece uma aproximação bastante razoável das condições de iluminação dos ambientes, razão pelo qual é intensivamente explorada em livros de Arquitetura e Design.

O controle das variáveis que asseguram a qualidade de iluminação é feito através da quantificação da distribuição de iluminâncias no plano de trabalho e da determinação de índices de ofuscamento (*glare index*) medindo-se as luminâncias das fontes de iluminação a partir da posição ocupada pelo trabalhador no seu posto de trabalho.

A verificação das iluminâncias é padronizada pela norma brasileira - NR5413 (Iluminação de Interiores) e o instrumento empregado, o luxímetro, é relativamente barato (um modelo básico custava aproximadamente R\$ 150,00 em 2007).

Por outro lado, existem na bibliografia internacional várias propostas de índices de ofuscamento e nenhuma normatização para sua determinação. O instrumento empregado para medições de luminâncias (a variável de entrada para a determinação dos índices de ofuscamento), o luminancímetro, é bastante caro, em geral da ordem de 100 vezes o valor de um luxímetro. Assim, raramente encontram-se análises da distribuição de luminâncias em ambientes de trabalho. Com o aperfeiçoamento de ferramentas digitais surgiram novas possibilidades de análises de iluminação, tais como a simulação gráfica computacional de ambientes projetados, inclusive com a distribuição da luminância em seu interior.

Uma das ferramentas disponíveis, embora ainda em estágio inicial, mas que despertou o interesse para a realização do presente trabalho, foi o tratamento de fotos digitais para o fornecimento de informações sobre a iluminação da cena fotografada: um conjunto de fotos de uma mesma cena obtidas a partir de diferentes exposições, cobrindo toda a gama de luminâncias, e convertidas

através de programas específicos em uma só imagem do tipo HDR (*High-Dynamic Range*), nas quais os atributos de cada *pixel* têm relação direta com a luminância de cada ponto, MICROSOFT (2004) salienta que “... o estudo de iluminação de um *pixel* de uma imagem HDR pode ser determinado por uma ponderação dos valores: vermelho (R), verde(G) e azul (B) do *pixel*”. Até o momento da elaboração dessa dissertação, ainda não havia meio de reprodução comercial para imagens HDR, devido justamente às gamas dinâmicas envolvidas. Para sua visualização, atualmente a distribuição de luminâncias é comprimida num formato suportado pelos monitores, em imagens chamadas mapas de tonalidades (*tonemaps*).

1.1 - OBJETIVO GERAL

Esta dissertação de mestrado pretende abordar a qualidade da iluminação através da análise das imagens HDR. Mais especificamente, serão estudadas formas de caracterizar o ambiente em relação à possibilidade da ocorrência de ofuscamento a partir de imagens HDR.

1.2 - OBJETIVO ESPECÍFICO

Viabilizar o uso de câmeras fotográficas digitais de uso amador, com lentes padrão, no desenvolvimento de uma sistemática e da correspondente instrumentação para avaliar índices de ofuscamento empregando imagens HDR compostas a partir de fotos obtidas com tais câmeras.

1.3 - JUSTIFICATIVA E FUNDAMENTAÇÃO

A Ergonomia, em uma das suas ramificações, estuda a adequação da iluminação ao ambiente de trabalho. Através dos instrumentos de medição tradicionais como, o luminômetro, é possível medir luminâncias pontuais, entretanto, fazer um exame destas medidas num espaço exige um tempo demorado. O processo está sujeito aos erros devido às incertezas da medida no campo; os dados obtidos podem ser demasiado grosseiros para analisar a distribuição e a variação de iluminação, em especial quando se trabalha com

fontes extensas. Alie-se a isso o elevado custo dos luminancímetros, o que dificulta sua aplicação no dia a dia.

Há necessidade de uma ferramenta que possa capturar os valores das luminâncias dentro do campo de visão, de uma maneira rápida e barata. A fotografia possui atualmente a técnica para este tipo do levantamento de dados. Com o auxílio da análise das imagens digitais é possível ter um estudo do ambiente de trabalho mais rápido e barato, contribuindo para o bem estar dos trabalhadores, pois na sociedade moderna estes passam a maior parte do tempo em ambientes de trabalho. Uma boa iluminação gerará um ambiente mais prazeroso, aumentando a produtividade.

Estudos anteriores comprovam a eficiência do uso de imagens digitais tratadas como meio de análise da qualidade da iluminação. Este tópico será abordado detalhadamente no capítulo 03 desta dissertação.

O que se propõe na presente pesquisa é usar imagens digitais obtidas com câmeras digitais amadoras, com lentes-padrão. Como essas lentes possuem um campo menor que o visual, é necessário desenvolver um procedimento e as ferramentas necessárias para analisar fontes de iluminação na periferia do campo visual (portanto, a princípio fora do campo da lente) para avaliar seu potencial de ofuscamento.

1.4 – DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

No presente primeiro capítulo contextualiza-se o assunto e discorre-se sobre o tema abordado. Descreve-se o problema da pesquisa, os objetivos geral e específicos, a justificativa do estudo, a relevância e originalidade do tema, bem como a metodologia e descrição dos capítulos utilizada nesta pesquisa.

No segundo, expõem-se os materiais e métodos utilizados na pesquisa.

No terceiro capítulo concentram-se a revisão bibliográfica com os fundamentos de iluminação, como a percepção da distribuição de iluminância e os

problemas decorrentes de valores externos e internos que levam ao ofuscamento. Também é abordado o processo e adaptação visual, as relações de luminância e conforto visual analisando o posto de trabalho.

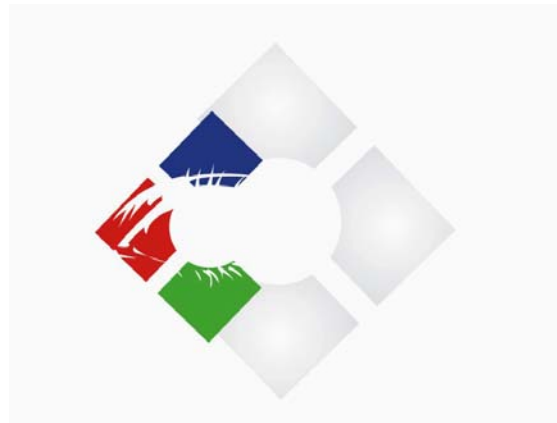
No quarto capítulo aborda-se o estudo das imagens HDR (High Dynamic Range), sua descrição e fundamentação buscando referências bibliográficas e estudos já realizados.

Dissertam-se no quinto capítulo as bases do cálculo de índices de ofuscamento, com ênfase no ofuscamento causado pela iluminação natural e artificial, apresentando, um modelo de cálculo para a elaboração de um mapa de distribuição de luminâncias a partir de uma imagem HDR de um ambiente de trabalho.

No sexto capítulo desenvolve-se uma sistemática para a previsão de ofuscamento, características de imagens obtidas por câmera fotográficas digitais com lentes padrão e as dificuldades para sua utilização como meio de análise de situações envolvendo ofuscamento.

No sétimo disserta sobre as aplicações que apóiam o estudo das imagens HDR, realizando um estudo de caso em um posto de trabalho onde se verificam as luminâncias de um espaço, envolvendo fontes luminosas pontuais, lineares e extensas, comparando com os dados coletados com o luminancímetro. Fazendo a apresentação dos resultados e discussões sobre o tema, finalizando, retomando e avaliando os objetivos desta pesquisa.

O capítulo oitavo apresenta as referências bibliográficas da dissertação.



2 *Materiais e Métodos*

Nesta dissertação é realizada uma pesquisa exploratória seguida de estudos de caso para validar os resultados. É desenvolvida uma sistemática e utilizada instrumentação alternativa visando a substituição do luminômetro por câmeras fotográficas digitais para a realização de levantamentos de distribuição de luminâncias e verificação do potencial de ofuscamento. Esses procedimentos são empregados em estudos de caso e os resultados comparados com a aplicação de métodos convencionais, levantados na revisão bibliográfica.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram seguidas as seguintes etapas:

- Fundamentação teórica através de pesquisa bibliográfica;
- Desenvolvimento da sistemática e respectivo procedimento de levantamento e tratamento de dados envolvendo luminâncias;
- Aplicação da sistemática em estudos de caso, juntamente com a aplicação de procedimentos convencionais;
- Validação da sistemática proposta através da comparação dos resultados obtidos nos estudos de caso.

O instrumental envolvido no trabalho foi composto por:

1. Procedimento convencional:

- Luminômetro Konica Minolta LS-110;
- Equações de índices de ofuscamento levantadas a partir da bibliografia (ver maiores detalhes capítulo 05)

2. Sistemática proposta:

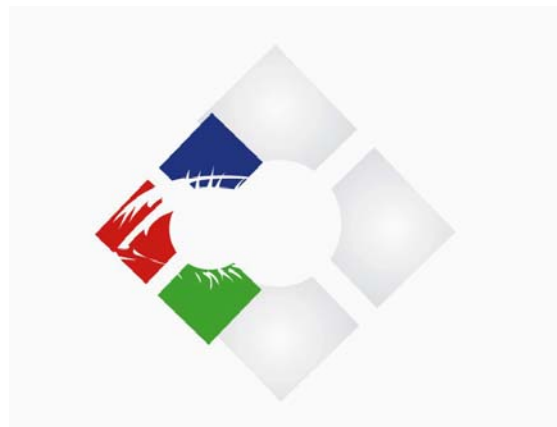
- Câmera digital Sony Cyber Shot W5 montada em tripé;
- Programa computacional mkHDR para composição de imagens de alta gama de luminância a partir das fotos obtidas com a câmera digital;
- Programa computacional desenvolvido para a análise das imagens HDR e verificação do potencial de ofuscamento.

As múltiplas fotografias estáticas são feitas com uma câmera digital Cyber Shot Sony W5 (Figura 2.1.1) para capturar a variação da iluminação dentro das cenas, utilizando um tripé e ajustes manuais. As fotos são sobrepostas e tratadas utilizando o software MakeHDR para a composição de uma imagem HDR.

Para a verificação da fidelidade das imagens HDR na reprodução de luminâncias é empregado um Luminancímetro Konica Minolta LS-110 (Figura 2.1.1).



Figura 2.1.1 - Câmera digital Cyber Shot Sony W5 e a direita Luminancímetro Konica Minolta.



3 *Iluminação*

Sendo um dos requisitos mais importantes do conforto ambiental, a iluminação é um importante elemento estruturador do espaço e do ambiente construído, tendo a capacidade de modificar sua forma, percepção e leitura.

Pode-se afirmar que uma boa iluminação requer uma atenção especial na quantidade e na qualidade de luz disponível, satisfazendo assim as exigências necessárias projectuais realizadas com a luz natural, luz artificial ou através de uma contribuição adequada de ambas.

É por este motivo e importância que este capítulo inicia-se com princípios de iluminação, concentrando-se na percepção da distribuição da luminância e os problemas decorrentes de valores extremos levando à ocorrência de ofuscamentos – incômodo causado por uma fonte de luz excessiva, direta ou indireta sobre os olhos.

3.1 – FUNDAMENTOS

Não se aborda neste capítulo os fundamentos básicos de iluminação, pois se acredita que o leitor já tenha conhecimento de tal conteúdo, analisando somente os itens pertinentes da pesquisa.

3.1.1 – COR NO AMBIENTE X ILUMINAÇÃO

A cor é um dos elementos mais importantes no projeto de iluminação. Mesmo que ela seja tecnicamente correto quanto à quantidade e qualidade de luz no ambiente, pode causar insatisfação dos usuários, do ambiente pelo efeito incorreto das cores.

Estudos e experiências têm demonstrado que a cor tem influência sobre a saúde, o bom humor e o rendimento das tarefas. Segundo Pereira (2000) possibilita a obtenção de: reações psicológicas positivas, interesse visual, aumento de produtividade, melhoria no padrão de qualidade, menor fadiga visual e redução do índice de acidentes.

Diversas experiências e projetos-piloto têm demonstrado que, para uma iluminação de boa qualidade em um ambiente, principalmente o de trabalho, a aparência da cor das fontes de luz deve estar de acordo com o nível de iluminação (Pereira, 2001). A Tabela 3.1.1.1 mostra a aparência de cor em função do nível de iluminação para ambientes iluminados com lâmpadas fluorescentes. Analisando esta tabela nota-se que, quanto maior for o nível de iluminação, maior deve ser a temperatura de cor, proporcionando ao posto de trabalho uma aparência de cor mais fria.

Tabela 3.1.1.1 - Variação da aparência de cor em função do nível de iluminação.

Fonte: Pereira, 2001.

ILUMINÂNCIA (LUX)	QUENTE	INTERMEDIÁRIA	FRIA
≤ 500	AGRADÁVEL	NEUTRA	FRIA
500 - 1.000	↕	↕	↕
1.000 - 2.000	ESTIMULANTE	AGRADÁVEL	NEUTRA
2.000 - 3.000	↕	↕	↕
≥ 3.000	INATURAL	ESTIMULANTE	AGRADÁVEL

Portanto, a cor da superfície a ser percebida é, obviamente, influenciada pelo conteúdo de cores da fonte luminosa. A Tabela 3.1.1.2 e na Figura 3.1.1.3 mostram como uma luz colorida pode realçar ou distorcer a cor dos objetos, sendo importante que as fontes de luz proporcionem uma reprodução das cores correta de acordo com os objetivos específicos do projeto. Por exemplo, museus, galerias de arte, indústrias têxteis, vitrines, açougues, etc.

Tabela 3.1.1. 2 - Influência da cor da luz na cor dos objetos. Fonte: Pereira, 2001.

COR DO OBJETO	AMARELO	VERMELHO	AZUL	VERDE
AMARELO	AMARELO BRILHANTE	LARANJA AVERMELHADO	MARROM CLARO	AMARELO LIMÃO
VERMELHO	LARANJA BRILHANTE	VERMELHO BRILHANTE	VERMELHO AZULADO	VERMELHO AMARELADO
AZUL	PÚRPURA CLARA	PÚRPURA ESCURA	AZUL BRILHANTE	AZUL VERDOSO
VERDE	VERDE AMARELADO	VERDE OLIVA	VERDE VERDOSO	VERDE BRILHANTE

Luz Quente



Luz Fria



Figura 3.1.1.3 – Influência da cor da luz quente e fria em vitrines e em frutas.

Fonte: Imagens - site <http://www.sxc.hu/>

Enfim, a busca por informações decorre da necessidade de se compreender como é percebido e sentido e o uso da luz colorida pelo ser humano; estudos revelam que o desconforto e o mal-estar em alguns ambientes de trabalho são caracterizados pelo mau uso das cores. Por conta disso, segundo Senzi (2004), a cor da luz também interfere na produtividade: a luz fria, mais parecida com a luz do dia, aumenta o rendimento; a luz amarelada, como a do final da tarde, faz a produtividade cair entre 40% e 60%. Do ponto de vista sensorial, a cor permite obter o desenvolvimento da criação dos espaços: enquanto as cores escuras reduzem os espaços, as cores claras ampliam.

Os projetistas de iluminação devem garantir em seus projetos do ambiente a iluminação adequada ao desenvolvimento das tarefas visuais, evitando excessos e garantindo o mínimo de luz para a realização da tarefa, tanto durante o dia como durante a noite. Deve-se estudar a possibilidade de utilizar a iluminação natural como aliada na redução do consumo de energia elétrica nas edificações, bem como o uso de tecnologias eficientes que permitam a integração da iluminação natural e artificial.

3.2 – PERCEÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS

A Iluminância (E) é o fluxo luminoso que incide sobre uma superfície (Figura 3.2.1), situada a certa distância da fonte, por unidade de área e a unidade de medida para iluminância é lumen/m² ou lux (lx).

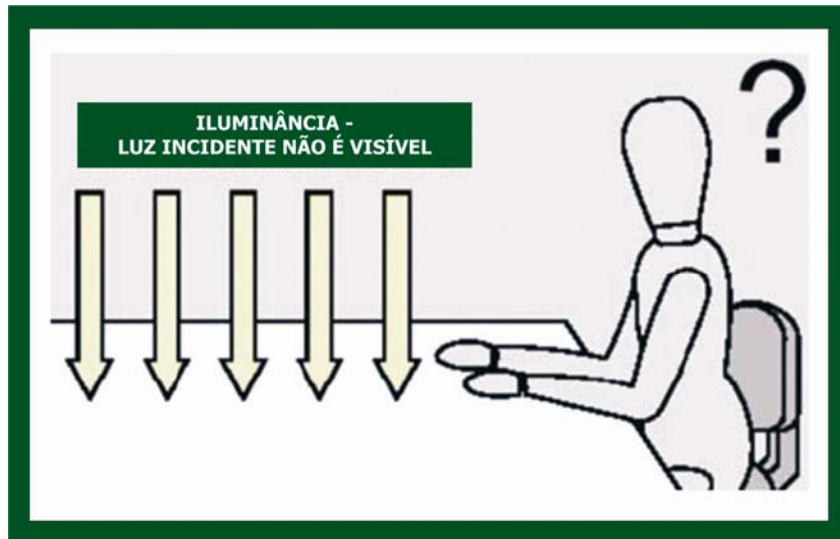


Figura 3.2.1 – Iluminância. Fonte: Osram, 2000.

A luminância (Figura 3.2.2) é medida em candelas por metro quadrado (cd/m²), e representa intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície aparente. A luminância pode ser considerada como a medida física do brilho de uma superfície iluminada ou de uma fonte de luz, sendo através dela que os seres humanos enxergam.

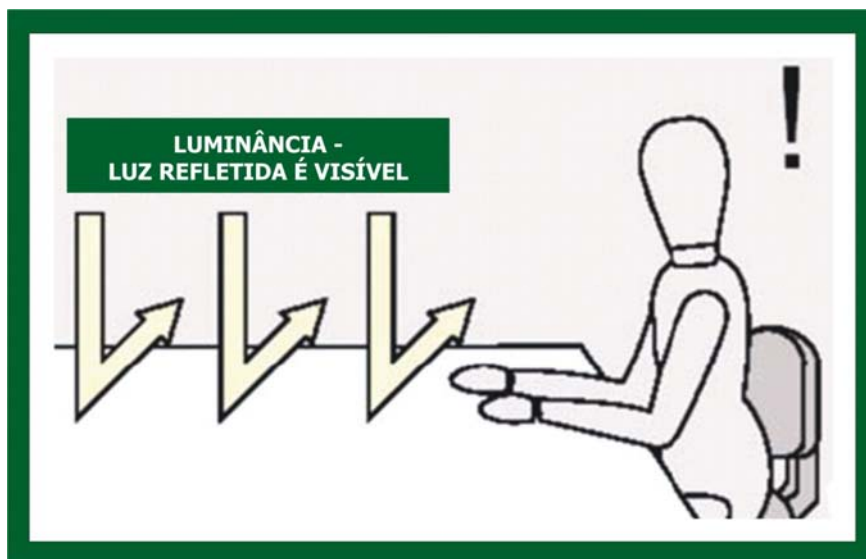


Figura 3.2.2 – Luminância. Fonte: Osram, 2000.

O olho humano detecta luminâncias da ordem de um milionésimo de cd/m^2 até um limite superior de um milhão de cd/m^2 , a partir do qual a retina é danificada. Ofuscamento e impedimento da visão ocorrem a partir de 25.000 cd/m^2 . Assim se explica como os olhos podem ser facilmente danificados pela visão direta da luz solar, que apresenta uma luminância 1.000 vezes maior que o limite máximo.

3.3 – PROCESSO VISUAL

"Visão é a arte de ver coisas invisíveis"
Jonathan Swif (1667-1745)

"Nenhum outro sentido (a não ser a visão) envolve tantas células nervosas, o que mostra bem o quanto precisamos da visão para aprender sobre o nosso ambiente." (Lambert, 1985).

A habilidade do cérebro em perceber as imagens vindas dos dois olhos como uma imagem única é chamada de visão binocular (Figura 3.3.1), onde o campo visual dos dois olhos tem a mesma extensão (aproximadamente 60° na parte superior limitada pela testa, 70° na parte inferior limitada pela face, 60° na parte limitada pelo nariz e 90° na parte limitada pela têmpora). A visão de um olho só é chamada de visão monocular - formada pela sobreposição dos campos monoculares de cada olho.

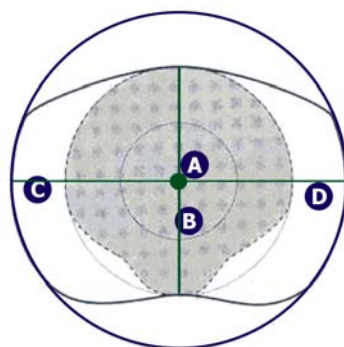


Figura 3.3.1 - Campo de visão binocular. A – visão foveal, B – área vista por ambos os olhos, C – área vista pelo olho esquerdo, D – área vista pelo olho direito. (Adaptado de Kaufman 1966).

O esforço muscular acontece quando está havendo a focalização do objeto próximo ao globo ocular e o esforço muscular desaparece quando é focalizado um objeto distante do globo ocular.

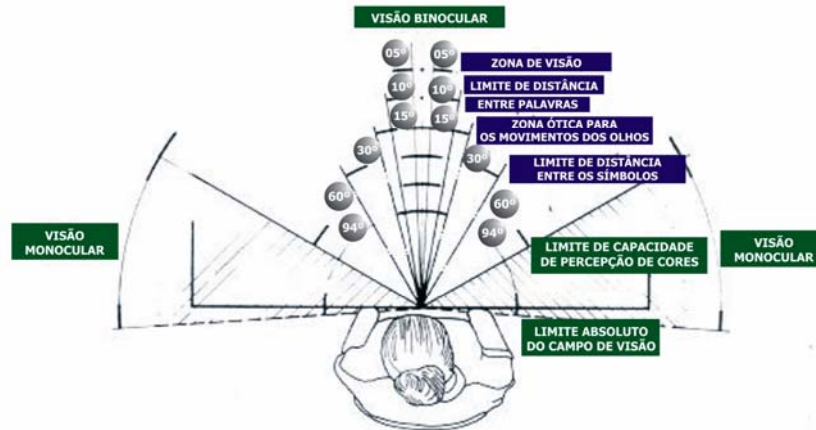


Figura 3.3.2 - Representação do campo visual, campo de percepção nítida, campo médio de visão não nítida e campo periférico. (movimentos são percebidos até ângulo de 70° e 60°).

Fonte: Adaptado (site) - http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_241.htm

Com a cabeça e os olhos parados podemos distinguir de forma nítida os objetos em um ângulo de apenas 1° (Ver figuras 3.3.2 e 3.3.3).

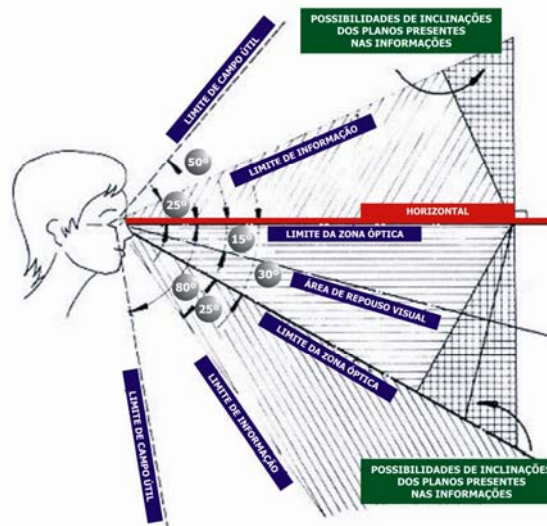


Figura 3.3.3 - Representação do campo visual, campo de percepção nítida (menos de 1°), campo médio (visão não nítida - ângulo de 1° a 40°) e campo periférico. (movimentos são percebidos até ângulo de 70°). Fonte: Adaptado (site) -

http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_241.htm

O conforto visual também é afetado pela posição dos objetos no campo de visão do olho em virtude das diferenças de brilho e contraste dependendo do ângulo de incidência da luz. No centro do campo de visão do observador (1° e 2°) é onde ocorre o melhor foco de visão. Em 30° para qualquer direção o olho ainda pode discriminar bem a diferença entre o objeto e o fundo, sendo chamado de universo próximo, “e no chamado universo distante, que são os cantos extremos até onde o olho alcança, o tamanho e a forma dos objetos podem variar em virtude de uma possível sobreposição dos campos de visão do olho esquerdo e direito” (LOU, 1996).

3.4 - OFUSCAMENTO

O ofuscamento ocorre quando uma parte do ambiente dentro do campo visual é muito mais clara que o restante, causando grande perturbação no poder de adaptação, por superexposição da retina. O ofuscamento pode produzir fadiga, desconforto e redução da eficiência visual, podendo ocasionar a cegueira momentânea.

Segundo a NBR 5413, o ofuscamento pode ser definido como “defeito de adaptação que se manifesta em caso de excesso de contraste ou excesso de iluminação no espaço ou no tempo”. No primeiro caso, traduz a falta de harmonia entre a sensibilidade de partes da retina submetidas simultaneamente a iluminâncias diferentes; no segundo, resulta do tempo necessário à própria adaptação.

O olho humano ajusta-se a luminância média do campo de visão e sob grandes contrastes; as áreas menos luminosas não são visíveis (subexposição) e as áreas excessivamente brilhantes causam desconforto (superexposição). Mesmo sem contraste o ofuscamento ocorre sempre que a luminância média do campo de visão estiver em excesso de cerca de 25.000 cd/m² (SZOKOLAY, 1981); embora seja considerado como um fenômeno subjetivo, o ofuscamento é classificado como de perturbador e desabilitante (HOPKINSON, 1995).

O ofuscamento de desconforto torna-se irritante, mas necessariamente não prejudica o desempenho visual. Frequentemente é atribuído à tendência da vista de fixar-se sobre os pontos mais brilhantes do campo de visão e deste modo aparenta fototropismo - atração que as plantas têm pela luz. Segundo Pereira (2001), o grau de desconforto depende da luminância da fonte, do tamanho da fonte, do ângulo entre a fonte e a linha de vista do observador, da luminância de fundo e do nível de adaptação da vista do observador.

De acordo com Tavares (2000), o ofuscamento de impotência prejudica o desempenho da tarefa visual e pode ter três causas diferentes: a difusão da luz nas lentes do olho produzindo uma “venda” de luminância na retina, tempo insuficiente para a vista se adaptar à nova iluminância excessivamente diferente e *fantasmas* - nesse fenômeno os processos fotoquímicos essenciais à nossa visão sofrem temporariamente distúrbios, devido ao olho tornar-se super carregado com a luz.

Segundo Lesna (2000) o ofuscamento, pode ocorrer devido a dois fenômenos distintos:

Contraste: caso a proporção entre as luminâncias de objetos do campo visual seja maior que 10:1.

Saturação: o olho é saturado com luz em excesso; esta saturação ocorre normalmente quando a luminância da cena excede 25.000 cd/m².

Segundo o mesmo autor o ofuscamento pode ser subdividido em três categorias:

1. Relativo: provocado por excesso de contraste nas superfícies do campo visual; não impede o desenvolvimento da tarefa visual.

2. Absoluto: acontece quando a claridade de uma fonte luminosa é tão alta, que a adaptação não é possível (claridade do sol); impede o desenvolvimento da tarefa visual.

3. De adaptação: acontece quando a adaptação para a claridade de uma superfície ainda não foi atingida, ex: saída de um quarto escuro para a luz do dia ou saída de uma sala escura do cinema para a luz do dia.

De acordo com Chauvel *et al.* (1982) levando em conta a disfunção no sistema ocular, as seguintes particularidades são importantes: no ofuscamento relativo, a perturbação do potencial de visão é tão mais forte quanto mais próxima estiver à fonte luminosa da linha de visão, e tão maior quanto à luminância e a reflexão em superfícies vizinhas; uma fonte de ofuscamento que está acima da linha de visão perturba menos que uma que esteja colocada lateralmente ou abaixo da linha de visão.

O risco de ofuscamento é essencialmente maior quando o nível geral de luminosidade no campo visual é baixo, pois ele ocorre mais rapidamente e é mais forte quanto maior a sensibilidade da retina. Exemplo é o ofuscamento relativo de uma janela, diminuído por uma maior luminosidade no ambiente; assim também um farol aceso de dia não ofusca.

3.5 - ADAPTAÇÃO VISUAL

A adaptação visual é o processo de regulação fotoquímica e nervosa da retina. Por esse processo podemos ver bem entre diferenças de intensidade luminosas de até 1.000:1. Segundo Pereira (2001), a adaptação pode ocorrer em três etapas:

1ª. Resposta neural rápida quando há mudança de iluminação. É seguida de dilatação ou contração da pupila para regular a quantidade de luz admitida e, lentamente, a produção ou remoção de substâncias químicas na retina.

2ª. Resposta do olho média com a dilatação ou contração da pupila para regular a quantidade de luz admitida no interior do olho.

3ª. Resposta retinal lenta com a produção ou remoção de substâncias fotoquímicas para aumentar ou diminuir a sensibilidade à luz.

A adaptação à claridade é mais rápida, pois é mais fácil remover as substâncias fotoquímicas dos cones que produzi-las nos bastonetes. Nesta há uma redução da sensibilidade em toda a retina, podendo vir a gerar ofuscamento. A adaptação ao escuro dá-se de forma mais lenta: em 30 minutos são alcançados 80% da sensibilidade total (BEGEMANN, 1997); quando existem partes claras e escuras ocorrem adaptações locais.

Quanto à habilidade de adaptação parcial do olho pode-se concluir que a luminosidade das superfícies deve ter diferenças relativas, para que os desvios de sensibilidade não prejudiquem a visão. A intensidade de iluminação não deve apresentar rápidas oscilações, pois a capacidade de adaptação só ocorre lentamente. Uma superfície clara diminui a sensibilidade da retina, reduzindo o potencial de visão da fóvea central. Pode-se chamar esta perturbação de ofuscamento relativo (NISSOLA, 2005).

Existem duas considerações de projeto importantes que são uma consequência da habilidade de adaptação do olho (PEREIRA, 2001):

Margem de adaptação: ao adaptar-se a luminância média da cena, a margem de visibilidade para ambos os lados é grande, mas não infinita. Diferenças muito grandes podem gerar perda de visibilidade e ocorrência de ofuscamento.

Velocidade de adaptação: como já foi mencionado, a velocidade de adaptação é bastante lenta comparada aos movimentos humanos normais. Caso haja um aumento muito rápido nos níveis de luz pode ocorrer ofuscamento; se for um decréscimo muito rápido pode haver perda de visibilidade.

A habilidade da adaptação visual do olho humano deve ser bem explorada pelos projetistas ou profissionais. Ele amolda-se a diferentes níveis de iluminação, conseqüentemente tem necessidade de sombra e se adapta facilmente a mudanças de luminosidade externa e interna quando o nível de luz artificial é 1:100 ou maior que o nível de luz natural do ambiente externo. Conforme recomendado pela IESNA (1990), o olho humano ajusta-se às

mudanças dos níveis de iluminação e também às mudanças das características da luz.

“Quando uma mudança ocorre de um ambiente externo para um ambiente interno com luz natural (e não artificial), o olho se adapta numa proporção de 1:200 entre as diferenças de luz interna e externa. Via de regra, uma vez que o olho estiver adaptado a baixos níveis de iluminação, esta proporção pode ser estendida até 1:1000” (IESNA, 2000).

3.5.1 - ACUIDADE VISUAL

As pessoas geralmente pedem para acender as lâmpadas quando acham que a natural não é suficiente, quando estão realizando uma tarefa minuciosa ou sentem dificuldade para ler e executar tarefas. Porém, à medida que aumenta a iluminação na sala, mais a íris se contrai e reduz o tamanho da pupila, o que afeta a capacidade de visão do olho, de percepção dos pequenos detalhes. Há então uma queda na acuidade visual (ou a capacidade de distinguir pequenos detalhes, o grau de nitidez visual), que varia com a duração da exposição à luz, o que mostra a figura 3.5.1.1.

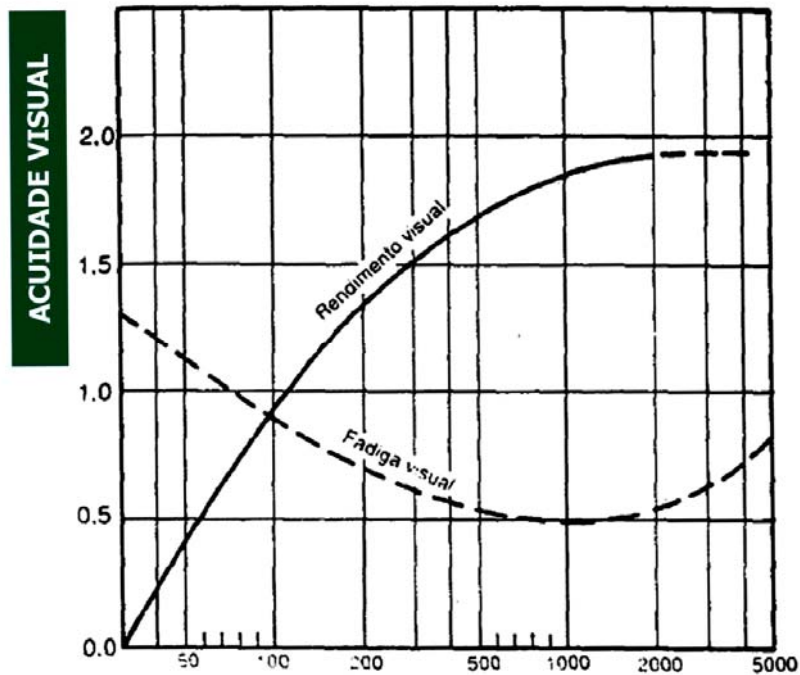


Figura 3.5.1.1 - Gráfico de Acuidade visual x Iluminância. Fonte: Iida 2005.

Em ambientes escuros, onde os cones estão menos ativos, o olho não consegue perceber os pequenos detalhes dos objetos em virtude da diminuição do contraste. A acuidade depende praticamente do aumento da luminosidade.

3.5.2 – BRILHO

A grandeza de maior importância no processo visual é o brilho, que é definido como a relação entre as luminâncias do foco de atenção (objeto) e do entorno. Conforme Hopkinson et. al (1975):

(...) os olhos possuem uma sensibilidade intrínseca adaptável, de modo que uma certa quantidade de fluxo, que estimula a retina em determinadas circunstâncias, produzirá uma sensação de brilho diferente da originada pela mesma quantidade de fluxo, noutras circunstâncias. É por isso que um determinado brilho, visto com fundo escuro, parecerá mais brilhante aos olhos do que

o mesmo brilho, visto com fundo claro, devido ao mecanismo de sensibilidade de adaptação.

Assim, um objeto pode ser visualizado sob condições de iluminâncias mínimas desde que ele brilhe mais que o entorno. Apesar de o olho humano suportar altas variações de luminâncias, a visão de uma cena por períodos prolongados pode se tornar incômoda quando ela apresenta simultaneamente áreas com brilhos muito distintos, provocando o ofuscamento. O grau de desconforto pode variar bastante, dependendo da relação entre as luminâncias envolvidas, do tempo de exposição e do tamanho da fonte de luminosidade.

3.5.3 - CONTRASTES

O contraste pode ser definido como uma oposição acentuada entre duas ou mais coisas, sendo que uma se sobressai perante as demais. Em se tratando de processo visual, o contraste refere-se às diferenças relativas de luminâncias que permitem diferenciar um detalhe de seu entorno imediato.

3.5.3.1 - CONTRASTES DE LUMINÂNCIA

A importância e o significado do contraste começam no nível básico da visão através da presença ou ausência da luz. “Contraste pode ser definido como a diferença entre a luminância de um objeto e o entorno imediato deste objeto”. (PEREIRA, 2001).

O contraste varia com o ângulo de incidência da luz e o ângulo de observação. Quando as luminâncias dos ângulos forem semelhantes, o contraste será reduzido e o reflexo da luz incidente pode reduzir a visibilidade de elementos contidos no objeto central de visão (fóvea). Dependendo sempre das características de reflexão dos elementos envolvidos, da iluminância incidente e da refletância da superfície. No entanto pode haver uma fonte secundária como a abertura de uma janela ou a abóbada celeste que poderá provocar contraste.

As diferenças entre luminâncias nas diversas partes do campo visual devem obedecer aos seguintes valores da tabela 3.5.3.1.1

Tabela 3.5.3.1.1 - Recomendações entre proporções de luminâncias dentro do campo visual.
Fonte: Adaptado de IESNA, 2000.

ATIVIDADE	RELAÇÃO DE LUMINÂNCIA
TAREFA VISUAL E SUPERFÍCIE DE TRABALHO	3:1
TAREFA VISUAL E ESPAÇO CIRCUNDANTE	10:1
ENTRE FONTE DE LUZ E FUNDO	20:1
MÁXIMA DIFERENÇA NO CAMPO VISUAL	40:1

Um objeto pode parecer mais ou menos brilhante dependendo do brilho do seu entorno. A sensibilidade ao contraste melhora com o aumento da luminância, que por sua vez é função da iluminação, até certo limite (havendo a possibilidade de ocorrer ofuscamento). Na iluminação de sinalização de emergência do tipo SAÍDA deve haver um alto contraste entre o sinal e o ambiente cheio de fumaça, para permitir que ele seja visível.

3.6 - CONFORTO VISUAL

As necessidades de iluminação nos ambientes estão relacionadas a uma recepção visual adequada, que é conseguida se houver luz em quantidade e qualidade suficientes. Além da necessidade de boa iluminação para a execução de tarefas, existem necessidades biológicas inerentes ao ser humano, que afetam o processo de percepção visual.

Os estudos relacionados sobre o conforto visual (FACCIN, 1996; KOWALTOWSKY, 1999) demonstram a necessidade de uma iluminação adequada para a orientação espacial, a manutenção da segurança física, a delimitação do território pessoal e o reconhecimento das atividades que dependem da percepção da ordem no campo visual.

A superfície iluminada não é o único parâmetro relevante para o conforto visual. Uma compreensão maior em relação à percepção visual é necessária, incluindo algumas noções básicas, como (BEGEMANN *et al.*, 1997) distribuição espacial da luz natural, nível de iluminação, forma das sombras, distribuição de cores, ofuscamento e interferência visual.

Para a adequação das condições da qualidade luminosa são importantes as quantidades de luz natural e artificial suplementar e o uso de cores nas superfícies dos ambientes internos para controlar altos níveis de contraste, além do controle de superfícies no entorno da edificação, que interferem na reflexão da radiação solar. Devem ser ainda considerados os elementos de proteção nas aberturas que se fazem necessários em relação ao ofuscamento.

O excesso de iluminação também pode causar ofuscamento. Isso pode ocorrer devido a diversos fatores, que serão estudadas posteriormente neste trabalho, entre eles as grandes diferenças nos níveis de iluminação interna e externa, entre a luz vinda da janela e a iluminação interna, gerando o contraste em demasia, formado por um somatório de luz natural e artificial. Entretanto, a luz artificial também pode gerar ofuscamento, quando a fonte é muito pontual e com intensidade muito elevada na orientação do observador.

Níveis inadequados de iluminação para determinada tarefa visual podem provocar problemas físicos – como dor de cabeça e deficiência visual – para uma análise e avaliação da qualidade luminosa de um ambiente, sendo necessários: níveis de iluminação recomendados para a tarefa visual; níveis de iluminação observados; uniformidade e níveis de contraste; distâncias entre o usuário e o objeto, que afetam a visibilidade; uso das cores nas superfícies; elementos externos e internos de proteção da insolação direta, tais como brises e cortinas; iluminação artificial suplementar.

3.7 - QUALIDADE E PERCEPÇÃO

A vida do homem está intimamente relacionada à luz. As experiências armazenadas na memória, em sua maioria, são recordadas através de imagens. Cores e formas são percebidas e guardadas no cérebro. A luz também exerce influência sobre o estado de espírito. Lugares pouco iluminados causam sensação de angústia e tristeza, enquanto que ambientes coloridos e bem iluminados provocam sensações de alegria e prazer.

Avaliar a qualidade de um ambiente iluminado consiste em mensurar seus efeitos nas pessoas, levando em consideração todos os resultados relevantes para o local e para os indivíduos que o utilizam. Atendendo às necessidades do homem, o sistema de iluminação possibilita um controle sobre a percepção dos usuários do espaço, evitando um esforço visual desnecessário ou a interferência de estímulos que possam provocar distração. O conforto visual é obtido quando as pessoas são capazes de perceber da melhor forma possível às informações que, instintiva ou conscientemente, querem receber.

Os objetivos da iluminação e conceitos desejados devem ser estabelecidos desde o estudo preliminar, fazendo com que a iluminação natural e artificial sejam elementos integrantes da elaboração do projeto.

3.8 - AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO EM POSTOS DE TRABALHO.

Hoje, no mundo todo está presente à preocupação com a qualidade do ambiente de trabalho, sendo de crescente interesse a área da antropometria e a ergonomia, o que tem levado a diversos estudos do relacionamento do homem com o ambiente construído, como demonstrou Álvares (1995), Grandjean (1998), Wisner (1994) e outros.

Couto (1995) afirma que na análise ergonômica não se pode ficar apenas no posto de trabalho, é necessário também verificar as características do ambiente, quanto ao conforto térmico, acústico e iluminação, a análise do

método de trabalho, a análise do sistema de trabalho e análise cognitiva no trabalho.

No desenvolvimento de qualquer tarefa o ser humano precisa de uma iluminação adequada para a realização do trabalho de forma eficiente e também para garantir seu conforto. Nesse sentido:

“a percepção visual está diretamente relacionada com a iluminação e as dificuldades da tarefa. Assim, dois fatores merecem ser destacados: a intensidade da iluminação e a luminância, pois a inadequação desses provoca queda no rendimento do trabalho e fadiga visual”. (Couto, 1995)

Conforme Lida (2005), existem basicamente três tipos de sistemas de iluminação que podem ser utilizados dependendo das características do trabalho conforme Figura 3.8.1: a *iluminação geral*: se obtém pela colocação regular de luminárias em toda a área, garantindo-se, assim, uma iluminância sobre o plano horizontal; *iluminação localizada*: concentra maior iluminância sobre a tarefa, enquanto o ambiente geral recebe menos luz e *iluminação combinada*: a iluminação geral é complementada com focos de luz localizados sobre a tarefa, com intensidade de 3 a 10 vezes superior ao do ambiente geral.

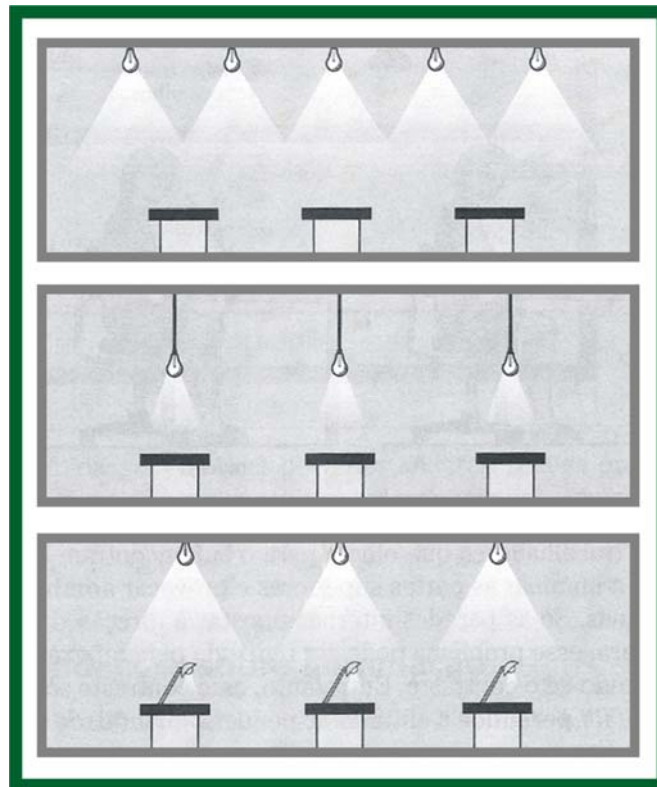


Figura 3.8.1 – Sistemas de iluminação típicos em áreas de trabalho. Fonte: lida, 2005.

As luminárias devem ser posicionadas de modo a evitar a incidência da luz direta ou refletida sobre os olhos para não provocar ofuscamentos, recomendando situá-las num ângulo de 30° acima da linha de visão horizontal. A Figura 3.8.2 mostra o posicionamento das luminárias com respeito à visão do trabalhador.



Figura 3.8.2 – As luminárias devem ficar posicionadas 30° acima da linha de visão e atrás do trabalhador, para evitar ofuscamentos e reflexos. Fonte: lida, 2005.

Na tabela 3.8.3, dependendo do tipo de tarefa podem-se observar valores básicos de iluminação interna em um ambiente de trabalho, que pode ser utilizada numa verificação preliminar durante a realização das medições do nível de iluminação.

Tabela 3.8.3 – Iluminâncias recomendadas para algumas tarefas típicas. Fonte: lida (2005)

TIPO	ILUMINÂNCIA (LUX)	EXEMPLO DE APLICAÇÕES
Iluminação Geral de Ambientes Externos. Iluminação Geral para locais de pouco uso.	5 - 50	Iluminação Externa para locais públicos: estradas e pátios.
	20 - 50	Iluminação mínima de corredores e almoxarifados, zonas de estacionamento.
	100 - 150	Escadas, corredores, banheiros, zonas de circulação depósitos e almoxarifados.
	200 - 300	Iluminação mínima de serviços. Fábricas com maquinaria pesada. Iluminação geral de escritórios, hospitais e restaurantes.
Iluminação Geral em locais de trabalho	400 - 600	Trabalhos manuais pouco exigentes. Oficinas em geral. Montagem de automóveis e indústria confecções. Leitura ocasional e arquivo. Sala de primeiro socorros.
	1000* - 1500*	Trabalhos manuais preciosos. Montagem de peças pequenas, instrumentos de precisão e componentes eletrônicos. Trabalhos com revisão e desenhos detalhos.
Iluminação localizada	1500 - 2000	Trabalhos minuciosos e muito detalhados. Manipulação de peças pequenas e complicadas. Trabalhos de relojoaria.
Tarefas especiais	3000 - 1000	Tarefas especiais de curta duração e de baixo contrastem como em operações cirúrgicas.

* Pode ser combinado com a iluminação local

lida (2005) faz ainda algumas recomendações de planejamento que devem ser observadas na iluminação de um ambiente de trabalho: sempre que possível, utilizar luz natural, evitando a incidência direta da luz solar sobre as superfícies envidraçadas; as janelas devem ficar na altura das mesas; as janelas que têm formato mais alto na vertical são eficientes para uma penetração mais profunda da luz; a distância da janela ao posto de trabalho não deve ser superior ao dobro da altura da janela, aproveitando-se assim a luz natural.

Salienta também que, para a redução do ofuscamento, recomenda-se usar vários focos de luz, protegendo-os com luminárias ou anteparos, aumentar o nível de iluminação natural, dispor as fontes de luz o mais longe da linha de visão e evitar superfícies refletoras, substituindo-se pelas superfícies difusoras; para postos de trabalho que requerem uma maior precisão, complementar a iluminação com um foco de luz que pode ter o brilho de 3 a 10 vezes o do ambiente geral; a utilização de cores claras nas paredes, tetos e outras superfícies, para reduzir a absorção da luz e o maior controle no uso de

lâmpadas fluorescentes, que podem causar o efeito estroboscópico, quando na frequência de 60 hertz.

A NR-17, item 17.5.3, recomenda que em todos os locais de trabalho deva haver iluminação adequada, natural ou artificial, geral ou suplementar, apropriada à natureza da atividade, com as seguintes observações, em seus subitens: a iluminação geral deve ser uniformemente distribuída e difusa; a iluminação geral ou suplementar deve ser projetada e instalada de forma a evitar ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos; os níveis mínimos de luminâncias nos locais de trabalho são os valores de iluminâncias estabelecidos na NBR-5413. A medição das iluminâncias nos locais de trabalho deve ser feita no campo de trabalho, onde se realiza a tarefa visual, utilizando-se luxímetro com fotocélula corrigida para a sensibilidade do olho humano e em função do ângulo de incidência e quando não puder ser definido o campo de trabalho para a medição das iluminâncias, este será um plano horizontal a setenta e cinco centímetros do piso.

De acordo com Albuquerque (1998), o estudo ergonômico dos ambientes de trabalho informatizados vem sendo de fundamental importância, visando proporcionar condições de trabalho adaptadas ao nosso corpo, ritmo e movimentos. Nestes locais de estudo e trabalho é imprescindíveis fazer estudos de conforto ambiental.

3.9 – ILUMINÂNCIA – POSTO DE TRABALHO

Para dimensionar o sistema de iluminação adequado torna-se importante avaliar as necessidades desta tarefa para compreender suas características.

O principal objetivo da iluminação de ambientes de trabalho é permitir que a atividade visual se faça de forma confortável, sem dificuldades e com segurança, além de garantir o menor consumo possível aliado à maior eficiência do sistema.

O nível de iluminância (Tabela 3.9.1) é baseado em tabelas elaboradas mediante dados práticos, em função do local e das diferentes tarefas visuais que neles se desenvolvem.

“Considerado o mais importante na especificação do sistema de iluminação, o nível de iluminância corresponde à iluminância que deve ser mediada no plano de trabalho, isto é no local onde são desenvolvidas as atividades. Quando este não for definido, considera-se um plano horizontal a 0,75m do piso, recomendando-se que a iluminância, em qualquer ponto do plano de trabalho, não seja inferior a 70% da iluminância média determinada”. (ABNT, 1992).

Tabela 3.9.1 - Iluminâncias por classe de tarefas visuais. Fonte: ABNT – NBR-5413(1992).

CLASSE	ILUMINÂNCIA (LUX)	ATIVIDADE
Iluminação Geral para áreas usadas intermitentemente ou com tarefas visuais simples	20-30-50	Áreas públicas com arredores escuros
	50-75-100	Orientação simples para permanência curta
	100-150-200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200-300-500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinária, auditórios
Iluminação Geral para área de trabalho	500-750-1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinária, escritórios
	1000-3000-5000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas
Iluminação Adicional para tarefas visuais difíceis	2000-3000-5000	Tarefas exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000-7500-10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000-15000-20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgias

Conforme ABNT (1992), na determinação dos níveis de iluminância, devem-se considerar a idade do usuário, velocidade do desempenho visual e refletância da tarefa em relação ao fundo. Tais características devem ser analisadas pelo projetista e atribuir os pesos constantes na tabela 3.9.2. Será utilizada a menor iluminância apresentada na tabela 3.9.1, quando a soma dos valores da tabela 2.10.2 for igual a -2 ou -3. Usar a iluminância média, quando a soma for igual a -1, 0 ou 1. Utilizar a maior iluminância, quando o valor da soma for igual a 2 ou 3. Por exemplo: um homem com 53 anos que trabalha em uma área de montagem de uma empresa, onde se requer velocidade e precisão tem necessidade de uma iluminância média de 1000 lux no posto de trabalho.

Tabela 3.9.2 - Fatores determinantes da iluminância. Fonte: ABNT – NBR-5413 (1992).

CARACTERÍSTICAS DA TAREFA E DO OBSERVADOR	PESO -1	PESO 0	PESO +1
IDADE	INFERIOR A 40 ANOS	40 A 55 ANOS	SUPERIOR A 55 ANOS
VELOCIDADE E PRECISÃO	SEM IMPORTÂNCIA	IMPORTANTE	CRÍTICA
REFLECTÂNCIA DO FUNDO DA TAREFA	SUPERIOR A 70%	30% A 70%	INFERIOR A 30%

A iluminância recomendada para o desenvolvimento de tarefas visuais e de execução de atividades nos ambientes de trabalho deve permitir que a atividade visual se faça de forma confortável, sem dificuldades e com segurança, além de garantir o menor consumo possível aliado à maior eficiência do sistema, sempre se levando em consideração o bem-estar dos usuários.

3.9.1 - USO DAS CORES EM AMBIENTES DE TRABALHO

“A cor, com suas ilimitadas possibilidades estéticas e psicológicas não tem por objetivo a criação de ambientes exibicionistas, mas sim tornar a vida mais agradável ” (Goldmann)

Um ambiente de trabalho que apresente uma utilização adequada das cores proporcionará aos seus usuários uma atmosfera agradável, segura e com menos propensão de danos à saúde. Este ambiente agradável diminuirá os riscos de fadiga visual evitando assim falhas na execução das tarefas, logo, resultará em um aumento de produtividade.

Ao escolher a cor dos ambientes de trabalho, deve-se dar preferência a tons suaves, pois embora as cores vivas sejam mais interessantes, elas se tornam cansativas para aqueles que têm que passar uma jornada de trabalho de 8 horas ou mais neste ambiente. Isto não quer dizer que o uso de cores vivas deve ser descartado, muito pelo contrário, existem certos ambientes em que elas proporcionarão um efeito psicológico muito mais eficaz, tais como, halls de entrada, salas de espera, salas de lazer, etc.

No meio industrial, quer sob composições harmônicas ambientais, quer caracterizando os produtos, as cores assumem importância capital.

“um planejamento adequado do uso de cores no ambiente de trabalho, aplicando-se cores claras em grande superfícies, com contrastes adequados para identificar os diversos objetos, associado a um planejamento adequado de iluminação, tem resultado em economia de até 30% no consumo de energia e aumentos de produtividade que chegam a 80 ou 90%” (IIDA, 2005).

De acordo com Pereira (2001), o fator climático é um dos determinantes na hora do planejamento cromáticos dos ambientes de trabalho. Em locais de clima quente, deve-se dar preferência aos tons azuis e verdes claro, que estão associados à frescura das águas, da relva e das folhagens, evitando-se sempre o uso do amarelo, que lembra o fogo e o sol. Embora a utilização das cores frias traga uma sensação de frescor e tranquilidade, elas poderão tornar o ambiente monótono e ao mesmo tempo depressivo. Quando o clima é mais frio deve-se optar por cores que dêem a sensação de calor, como o amarelo, laranja e o vermelho.

Além dos aspectos psicológicos e decorativos que as cores possuem, o que realmente interessa para iluminação do ambiente de trabalho são as suas propriedades de reflexão da luz. A utilização de cores com altos índices de reflexão poderá melhorar significativamente o rendimento do sistema de iluminação, podendo-se aumentar a iluminância geral do ambiente sem que seja necessário aumentar o fluxo luminoso das fontes de luz. Na Tabela 3.9.1.1 são apresentados os índices de reflexão média de algumas cores.

Tabela 3.9.1.1 - Índices de reflexão média das cores. Fonte: ABNT – NBR-57 (1992).

COR	REFLETANCIA [%]
BRANCO TEÓRICO	100
BRANCO DE CAL	80
AMARELO	70
AMARELO LIMÃO	65
VERDE LIMÃO	60
AMARELO OURO	60
ROSA	60
LARANJA	50
AZUL CLARO	50
AZUL CELESTE	30
CINZA NEUTRO	30
VERDE OLIVA	25
VERMELHO	20
AZUL TURQUESA	15
PÚRPURA	10
VIOLETA	05
PRETO	03
PRETO TEÓRICO	00

O planejamento cromático de um determinado local de trabalho depende de vários fatores: atividade a ser desenvolvida no local, dimensões do espaço, tipo de iluminação a ser utilizado, perfil do usuário (sexo, idade e cultura), etc. Neste planejamento o teto, as paredes e o piso deverão receber um tratamento diferenciado.

Cores de tetos e forros. Na escolha da cor do teto deve-se optar por cores mais claras. Quanto mais estas se aproximem do branco, melhores serão as condições de iluminação do ambiente. A luz difusa refletida pelo teto proporcionará uma melhor uniformidade dos níveis de iluminação do ambiente,

reduzindo os problemas de sombras excessivas e de ofuscamentos produzidos por reflexões dirigidas.

Cores de paredes. O fundo de qualquer ambiente é limitado por suas paredes e sobre este fundo destaca-se tudo que nele existe. É para este fundo que a visão é direcionada quando se afasta de sua atividade, portanto, devem-se evitar diferenças acentuadas entre a cor do plano de trabalho e o fundo, pois isto exigirá do olho um grande esforço de adaptação à nova cor, resultando em uma fadiga visual. A cor das paredes e do plano de trabalho deverá sempre que possível possuir o mesmo tom.

Pisos. Recomenda-se que o piso tenha uma cor mais escura que as utilizadas para as paredes e o teto. No entanto, não deve ser excessivamente escuro para não aumentar excessivamente a relação de brilhos e também para refletir maior quantidade de luz de volta ao teto (reflexão de segunda ordem).

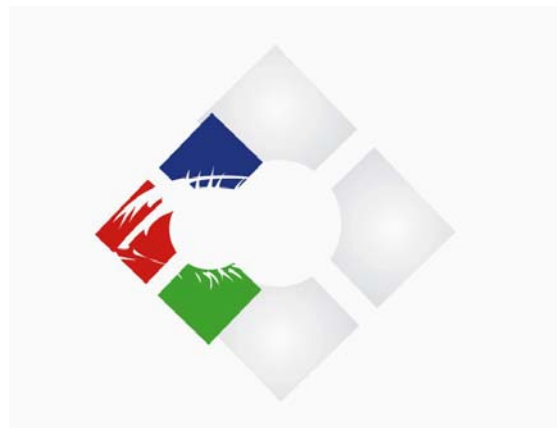
3.9.2 – A COR E AS NORMAS DE SEGURANÇA NO POSTO DE TRABALHO

Referindo-se às normas de segurança, as cores resultam de todo um processo que conduzem o trabalhador a reações automáticas e instantâneas. De acordo com a Portaria 3214/78 do Ministério do Trabalho – NR Cores 26, que trata da Sinalização de Segurança, as cores são usadas para prevenir acidentes, identificar equipamentos de segurança, delimitar áreas, identificar as canalizações empregadas nas indústrias para a condução de líquidos e gases, e advertir contra riscos.

Cabe hoje aos designers, arquitetos e ergonômicos respeitar as normas, criar ambientes e equipamentos com cores adequadas de modo que o conjunto seja harmônico. Uma combinação adequada de cores usada harmoniosamente sobre determinadas partes do equipamento quebra a monotonia e ajuda a obter concentração do trabalhador. Grandjean (1983, p.309) diz que “se usarmos uma única cor para identificar o perigo, pode-se condicionar uma reação de proteção automática em uma pessoa”.

Estas normas estão apoiadas na linguagem psicológica das cores, na carga cultural e no processo educacional que leva o indivíduo a reações automáticas e instantâneas. Juntamente com a Ergonomia, como ciência aplicada, objetivam adaptar o trabalho ao homem e às suas características físicas, promovendo o aperfeiçoamento do ambiente, aumentando a produtividade, segurança e eficiência das atividades realizadas no local de trabalho.

De acordo com pesquisas desenvolvidas neste campo (SILVA, 2001), foi comprovado que ambientes de trabalho onde os sistemas de climatização, iluminação e de som, se controlados, podem contribuir para a eficácia e eficiência das tarefas realizadas nos ambientes de trabalho, bem como promover maior conforto aos trabalhadores e, conseqüentemente, reduzindo a fadiga e acidentes de trabalho.



4 *Imagem HDR*

Quem possui uma câmera fotográfica digital ou analógica sabe que a foto obtida é um pouco diferente do que vemos (visão – olho humano). Enquanto nossos olhos podem ver uma grande gama de tonalidades e cores e detalhes em áreas claras e escuras como já foi mencionado, na fotografia os detalhes são perdidos nas partes claras e escuras, mesmo em câmeras mais sofisticadas.

Essa perda de informação ocorre devido às diferentes formas de captar a imagem da cena: enquanto o olho humano ajusta sua sensibilidade para a iluminação de pequenos trechos da cena para depois compor sua totalidade no cérebro, uma câmera fotográfica faz um único ajuste de sensibilidade para a iluminação da cena toda.

Uma técnica surge então para tentar reproduzir a gama de luminosidades captada pela visão humana: a composição de imagens de alta gama dinâmica ou imagens HDR (*High Dynamic Range*). Para estudos sobre iluminação esse tipo de imagem apresenta um grande potencial, uma vez que os atributos de seus *pixels* têm relação direta com sua luminância.

Neste capítulo ressaltam-se os aspectos da análise de imagens HDR, onde se deterá mais detalhadamente na relação direta de cada *pixel* com a iluminação buscando fornecer alguns parâmetros a serem considerados na pesquisa e no estudo de caso apresentado no capítulo 06.

4.1 – GAMA DINÂMICA

O significado do termo **gama** ou **faixa** ou **escala dinâmica** é a relação entre a maior e a menor luminância representada por uma imagem. A **ordem** dessa faixa representa o logaritmo do valor, (Figura 4.1.1) assim, uma imagem de 24 *bpp*¹ que contenha *pixels* brancos (255,255,255) e pretos (0,0,0) apresenta uma faixa dinâmica de 256:1 por canal, ou uma ordem de aproximadamente $2,4 = \log_{10}(256)$.

¹ *Bit per pixel.*

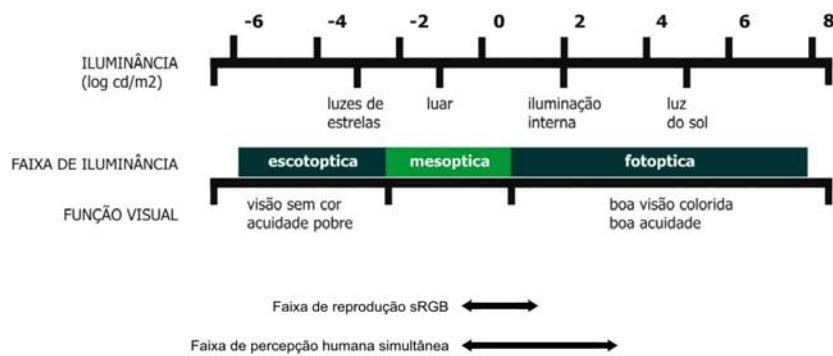


Figura 4.1.1 – A faixa de luminância no ambiente natural e parâmetros visuais associados.

Fonte: Adaptada de Ward (2003).

De acordo com Debevec (1994), há uma associação intrínseca entre as tecnologias dos meios de aquisição e de reprodução de imagens. Assim, os filmes fotográficos foram desenvolvidos para captar a gama de luz que os papéis fotográficos podem reproduzir o mesmo acontecendo com as imagens obtidas por câmeras digitais em relação à resolução de monitores de vídeo e dos meios de impressão fotográfica. No entanto, conforme vários autores (Ferwerda, et al., 1996; Debevec, 1994 e Seetzen, 2004, entre outros), a faixa de variação de luminosidade do mundo real é da ordem de 10 vezes ($10^{10}:1$), de cenas iluminadas pela luz das estrelas a cenas iluminadas pela luz da neve branca, e a faixa de variação dinâmica de uma única cena é da ordem de 4 vezes ($10^4:1$), das partes sombreadas para as mais iluminadas. Conforme Learn (2003), o olho humano é capaz de detectar variações de luminâncias da escala de $10^3:1$ para uma cena em geral e de $10^4:1$ para detalhes da cena. No entanto, os melhores papéis fotográficos e monitores de vídeo conseguem reproduzir faixas absolutas da ordem de dois (até $256:1$).

4.2 – FORMATOS DE ARMAZENAMENTO DA IMAGEM

As imagens digitais são formadas por uma matriz de pontos, cada qual contendo uma quantidade de informações. Cada *pixel* pode ser armazenado com diferentes quantidades de

bits², que resultam em diferentes resoluções de cores. Assim, uma imagem de 1 bit só pode armazenar $2^1 = 2$ valores de pixels: preto (0) ou branco (1). Em outros sistemas de armazenamento, o número de bits ou “profundidade do bit” ou “profundidade da cor” se refere ao número de tons de cada um dos três canais de cores (bits por canal) ou à soma deles (*bits por pixel – bpp*, terminologia mais comum): vermelho, verde e azul (Red-Green-Blue – RGB). Atualmente o sistema de armazenamento de imagens mais comum é o de 24 bpp, o que resulta em 256 tonalidades de cada uma das cores ou $2^{24} = 256^3 = 16777216 \cong 16,8$ milhões de cores. Uma cor com valor (255,0,0) representa o vermelho puro, (0,255,0) o verde puro, (0,0,0) e (255,255,255) o preto e o branco, respectivamente e assim por diante (Tabela 4.2.1).

Tabela 4.2.1 - Diferentes tipos de imagens em termos de bits por pixel e número de cores disponíveis. Fonte: Ward, s.d.

BITS POR PIXEL	NÚMERO DE CORES DISPONÍVEIS
1	2
2	4
4	16
8	256
16	65536
24	16777216
32	16777216 + Transparência
48	281 trilhões

4.3– IMAGEM HDR

Durante o desenvolvimento do programa RADIANCE³, na década de 1980, surgiu o conceito de imagem de larga gama dinâmica ou imagem HDR (*High*

² *Bit* (**B**inary + **dig**IT) é a unidade fundamental de informação digital, tendo por valores possíveis os dígitos binários 0 ou 1. Oito *bits* compõem um *byte*, que pode assumir 256 diferentes valores, decorrentes das permutações dos oito “0” ou “1”.

³ RADIANCE é um programa de análise e visualização de iluminação em projetos no qual é possível gerar imagens de falsas cores e as de isolinhas, representando a distribuição de luminosidade (luminâncias ou iluminâncias).

Dynamic Range), como uma imagem derivada das simulações feitas pelo programa que continha toda a gama de luminâncias da cena correspondente.

As imagens HDR normalmente armazenam cada canal do espectro (vermelho, verde e azul) como números de ponto flutuante, possibilitando que toda faixa de iluminação seja transformada em milhões ou bilhões de representações (conforme tabela 4.2.1). Teoricamente, a faixa dinâmica das imagens é ilimitada, na prática ela depende do formato de armazenamento do arquivo. Na prática, ela depende do formato de armazenamento e varia desde 1,6 (1,0:0,025) a 76 ($10^{38}:10^{-38}$). Um dos formatos de maior capacidade (faixa dinâmica de 76 – de $10^{38}:10^{-38}$) é RGBE (**R**ed-**G**reen-**B**lue-**E**xponent), usado pelo RADIANCE.

Os *pixels* de uma imagem HDR contêm uma quantidade de informação maior que a disponibilizada pelos meios de apresentação atuais, de 24 bpp; assim para sua visualização, a gama dinâmica é comprimida para se adequar ao meio de reprodução, através de um mapa de tonalidades (*tonemapping*) (WARD LARSON *et al.*, 1997; REINHARD *et al.* 2002). Programas como o RADIANCE empregam a imagem original para gerar imagens de falsas cores e de linhas (Figura 4.3.1), representando a distribuição de luminosidade (luminância ou iluminância).

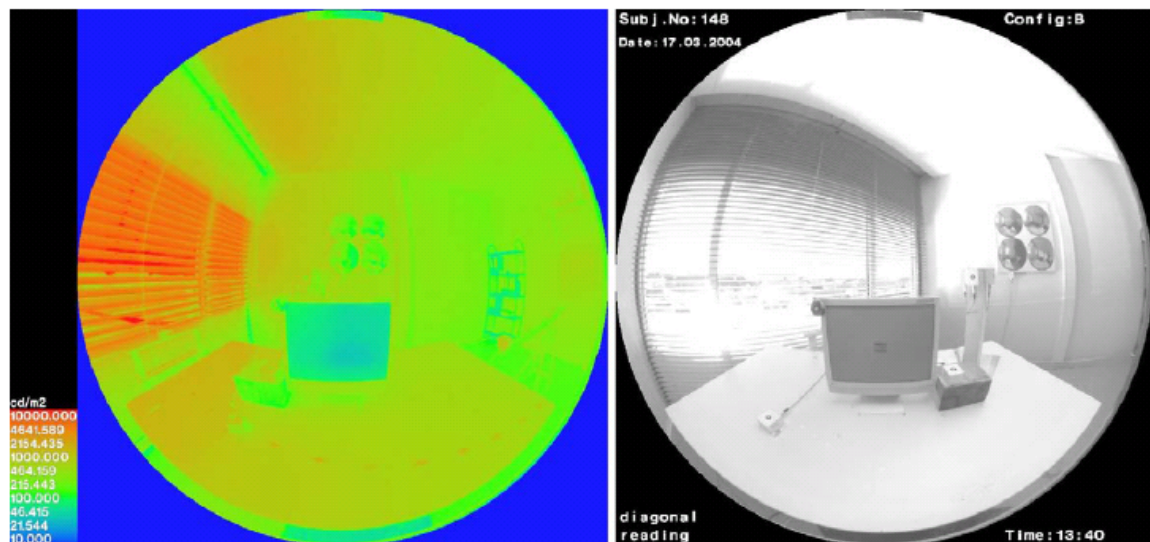


Figura 4.3.1 – Imagem Falsa Cor e Imagem Sintética gerada pelo programa RADIANCE.

Fonte: Wienold, J. e Christoffersen, 2006.

As imagens HDR compostas a partir de fotografias surgiram bem depois, em 1997. Para tal, um *software* faz uma combinação em uma única imagem HDR

de um conjunto de imagens de uma mesma cena obtida a partir de diversas exposições⁴.

Os sensores das câmeras digitais conseguem captar as cores dentro de uma faixa de luminância limitada (*LDR - Low Dynamic Range*), em geral em 24 bpp, de forma compatível com os meios de reprodução. Isto faz com que em zonas de muito contraste, algumas informações sejam perdidas.

Um exemplo simples: ao se tirar uma fotografia de uma janela, durante o dia, de dentro de um quarto com pouca iluminação o que acontecerá? Para que o interior do quarto apareça, é necessário aumentar a exposição, o que gera uma superexposição do que está fora do quarto, o chamado "estouro". Assim, o que está dentro do quarto pode ser visto, mas a paisagem através da janela aparece como um "estouro", ou seja, tudo branco, sendo impossível diferenciar cores, texturas e formas. Esses fenômenos são corrigidos pela visão humana, que observa cada parte da cena com a quantidade de luz corrigida pela íris; a imagem global, processada pelo cérebro, dá outra percepção do ambiente⁵.

A função das imagens HDR é equalizar os tons de uma imagem, obtendo um resultado o mais parecido com a realidade da cena onde a mesma foi capturada. Para a edição das imagens HDR podem-se usar vários *softwares*, como o Adobe Photoshop, Photomatix, HDRshop⁶, mkHDR⁷ e outros menos conhecidos.

⁴ Em fotografia, a exposição de uma imagem expressa a relação entre a velocidade do obturador e a abertura do diafragma da câmera, que condiciona a exposição do sensor (filme ou sensor fotoelétrico) de uma determinada quantidade de luz. O tempo de exposição corresponde ao inverso da velocidade do obturador.

⁵ A visão de uma cena não se dá de forma global nem linear, mas aos pulos (movimento *sacádico*). Rápidos movimentos do globo ocular varrem a cena observada. Durante eles, não ocorre a visão propriamente dita; ela ocorre em pausas entre esses movimentos, quando o foco foveal é fixado numa pequena área. A visão da cena como um todo se dá pela integração, no cérebro, dessas visualizações discretas.

⁶ Há pouca documentação sobre o programa e seu código-fonte não é aberto.

⁷ Disponível em <<http://www.debevec.org/FiatLux/mkhdr/>>, com licença *freeware* para usos não comerciais.

Uma mesma cena é fotografada com diferentes tempos de exposição. Isso permite que tanto as regiões menos iluminadas da cena como as mais iluminadas possam ser adequadamente amostradas. Esse conjunto de fotos é, então, utilizado para a construção de uma imagem com alta faixa dinâmica (*high dynamic range photograph*) (Debevec, 1997) que, por sua vez, é utilizada no processo de “renderização” da cena.

Na fotografia HDR, as fotografias de múltiplas da exposição são feitas para capturar a variação da luminância dentro de uma cena. Posteriormente um programa computacional mescla estas fotografias em uma única imagem HDR, empregando uma curva de resposta da sensibilidade à luminância por pixel da câmera.

A princípio, a imagem HDR poderá substituir o luminômetro, pois fornece a vantagem de coletar dados de iluminação dentro de um campo visual rapidamente e eficientemente, o que não é sempre possível conseguir com um medidor físico da luminância. A utilização de uma imagem HDR pode ser: a informação fotométrica exata de uma escala do *pixel*; isolinhas de luminância; imagem de falsa cor correspondente à escala de distribuição de luminâncias; análise visual ajustando a exposição às escalas diferentes; apresentação de resultados.

“Com o surgimento das técnicas computacionais de simulação de iluminação, foram desenvolvidos, a partir de 1980, formatos de armazenamento de imagens nas quais a luminância pode ser obtida através de uma função linear dos valores digitais de suas cores. Por representar valores de luminância, elas podem ser empregadas para estudos sobre iluminação. Por outro lado, começam a serem disponibilizados no mercado, com frequência crescente, instrumentos para medição de luminância baseados no princípio da câmera fotográfica digital, nos quais os sinais que chegam aos sensores são convertidos de valor digital para luminância”. (WIENOLD e CHRISTOFFERSEN, 2006).

A proposta de um levantamento das luminâncias de ambientes e postos de trabalho empregando câmeras digitais ao invés do aparelho de medida luminancímetro, reduzindo sobremaneira o tempo de aquisição de dados e o custo da atividade, começou a ser elaborada em 2004 e foi descrita por Inanici (2005). Outros estudos comprovam a eficiência do uso de imagens digitais tratadas como meio de análise da qualidade da iluminação (INANICI e GALVIN, 2004; INANICI, 2005, 2006). Além disso, levantamentos de luminância podem ser feitos também, atualmente, com videofotômetros digitais (WIENOLD, 2006). Todos os casos acima envolvem equipamentos ainda caros para a realidade brasileira: luminancímetro, câmeras fotográficas digitais profissionais com lentes grande angular “olho de peixe” e videofotômetros.

Para a composição de imagens HDR a partir de fotos, LEARN (2003) recomenda o uso de pelo menos 5 imagens para compor uma imagem HDR: duas subexpostas e duas sobrepostas, com aberturas de no máximo 2 *f-stops*⁸ entre elas, em relação a uma imagem de referência. Em trabalho empregando o programa mKHDR, Faria (2007) concluiu que melhores resultados são alcançados ao se empregar conjuntos com aproximadamente 15 imagens, obtidas com intervalo de 2 a 3 *f-stops* a partir da exposição média para a cena.

A construção da imagem HDR é feita a partir de um conjunto de fotografias com diferentes tempos de exposição da mesma cena e com a câmera posicionada no mesmo local. No exemplo mostrado na Figura 4.3.1, foram obtidas 9 fotos, sendo que seus tempos de exposição foram calculados de forma a variar o “valor de exposição” (VE) em uma unidade. O valor de exposição é uma variável calculada levando em consideração a abertura da lente e o tempo de exposição da câmera, segundo a equação:

⁸ *F-stop* ou *f-number* é a unidade de abertura da entrada de luz das câmeras. Sua seqüência é tal que se aumentando 1 *f-stop* a quantidade de luz é reduzida à metade e vice-versa. A seqüência padronizada de aberturas segue um fator de $\sqrt{2}$: 0.7, 1.0, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22, 32, etc. A quantidade de luz admitida pode variar na mesma proporção se a velocidade for sucessivamente dobrada (ou o tempo de exposição reduzido à metade), mantendo-se a abertura fixa.

$$VE = \log^2 \left(\text{abertura}^2 \times \left(\frac{1}{\text{tempo_exposição}} \right) \right) \text{ Equação 4.3.2}$$

No exemplo foi utilizado um valor de abertura de lente fixa (f/5.6) e tempo de exposição variando de 1/1000s a 20s (Figura 4.3.3). Para captura das imagens, foi utilizada uma câmera Sony DSC-W5 (5.1 mega pixels), com ajuste manual de abertura e tempo de exposição e um ambiente de um posto de trabalho.

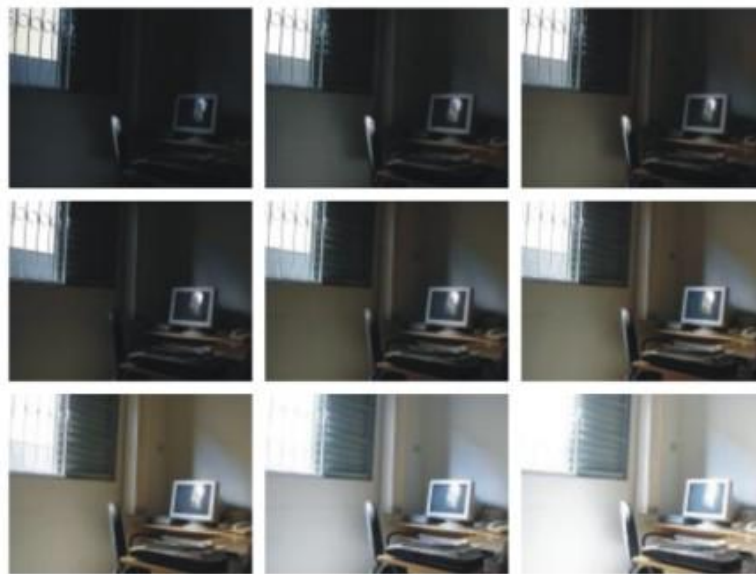


Figura 4.3.3 - Seqüência de fotos com exposições diferentes.

A composição das 9 fotos em uma única imagem HDR foi realizada utilizando o programa mkHDR. A Figura 4.3.4 mostra o *tonemap* da imagem HDR obtida através da composição de todas as imagens.



Figura 4.3.4 – Imagem HDR e os planos de informação armazenados no formato RGBE.

Ao fotografar uma cena, a câmera ajusta a quantidade de luz recebida através da abertura (*f-stop*) e do tempo de exposição (*t*) (ou, inversamente, da velocidade) e da sensibilidade do sensor (ajustado de forma compatível à sensibilidade de filmes fotográficos, em unidades ISO). Cada *pixel* *i* da imagem capturada assume, portanto, um valor (Z_i) que é uma função (*f*) dessas variáveis além, é claro, da radiância⁹ (I_i) do ponto. Os algoritmos para composição das imagens HDR resolvem um sistema de equações para determinar os valores desconhecidos de I_i e de *f*.

As duas abordagens mais significativas para a composição de imagens HDR, resultados do aperfeiçoamento de vários trabalhos anteriores, são expostas abaixo.

4.3.1 - Algoritmo de [Debevec e Malik \(1997\)](#)

O algoritmo determina os valores (Z_{ij}) dos pixels *i* de uma imagem *j* a partir de um conjunto de fotos obtidas com variação de tempo de exposição Δt_j :

⁹ **Radiância** é uma grandeza física usada em radiometria para medir a intensidade de radiação direta, definida como potência por ângulo sólido unitário por unidade de área projetada da fonte. A unidade de radiância no SI é watt por metro quadrado por sterorradiano ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$). É uma unidade da radiometria, que relaciona as grandezas derivadas da potência radiante toda, enquanto a luminância ($lm \ m^{-2} \ sr^{-1}$ ou $cd \ m^{-2}$) é a unidade equivalente da fotometria, que estuda as relações derivadas da potência luminosa.

$$Z_{ij} = f (I_i, \Delta t_j) \quad \text{Equação 4.3.1.1}$$

Da aplicação desse algoritmo resultam curvas que representam ajustes da escala de bytes para uma dada escala dinâmica. É implementado nos programas *freeware* [MakeHDR](#) e [HDRShop](#), ambos para ambiente Microsoft Windows.

4.3.2 - Algoritmo de Mitsunaga e Nayar (1999)

Os valores (Z_{ij}) dos pixels i de uma imagem j são calculados a partir da solução do sistema abaixo:

$$Z_{ij} = f (I_i, e_j) \quad \text{Equação 4.3.2.1}$$

onde a exposição e_j de uma imagem j é dada em função de sua abertura e de seu tempo de exposição:

$$e_j = \left(\frac{1}{\text{abertura}_j} \right)^2 \frac{1}{\text{tempo}_j} \quad \text{Equação 4.3.2.2}$$

Os autores indicam o uso desse algoritmo quando não se dispõem de tempos de exposição precisos, como é o caso de aquisição de imagens através de sistemas de vídeo. Está implementado nos programas *freeware* RASCAL para ambiente Microsoft Windows, Photosphere para Mac OS X e hdrgen para ambientes Linux.

Na implementação dos algoritmos foram incluídos filtros para eliminar ruídos. Esses ruídos se originam de desalinhamentos relativos das imagens ou de objetos em movimento, que ocupam posições distintas nas imagens. Esses ruídos se traduzem por valores de *pixels* com grande variância no interior da área afetada. Os filtros deixam de empregar os valores desses *pixels* no cômputo das luminâncias para gerar a imagem HDR.

4.4– PROGRAMA mkHDR

O mkHDR é um aplicativo do tipo linha de comando, sem iteratividade, onde gera arquivos de imagens HDR compatível com os aplicativos do RADIANCE. Aceita como entrada arquivos nos formatos .PPM e .TIFF (Tagged Image File Format). Para sua execução, é executada uma linha de comando contendo: opções como formato dos arquivos das fotos e saída ou uso de curvas de calibração e rejeição de *pixels* em áreas com movimento; arquivo texto contendo lista de arquivos das fotos com respectivos tempos de exposição e aberturas; arquivo de saída. É possível executá-lo várias vezes e, portanto, com vários conjuntos de fotos, a partir de um arquivo de lote (batch file) ou de um script¹⁰, ou mesmo pela alteração do código-fonte, criando uma interface gráfica e tornando sua operação mais familiar aos usuários de plataformas Microsoft Windows.

O formato de imagem que o programa Radiance usa, RGBE, armazena os pixels usando 4 bytes, 3 bytes para o RGB (vermelho, verde e azul) e um byte como expoente comum para registrar a intensidade da luz refletida/transmitida de uma superfície para a câmera. Para cada foto de um ambiente haverá uma exposição diferente, ou seja, da configuração mais escura até a mais clara, que captará detalhes diferentes da imagem (altas luzes ou sombras). O Programa MakeHDR utilizado juntará todas as exposições em uma imagem só, contendo todos os detalhes.

As imagens devem estar em ordem de exposição; da mais curta exposição à mais longa. O programa mkHDR classificará automaticamente as imagens baseadas no brilho médio dos pixels em cada imagem. Em seguida é necessário especificar a curva de resposta da câmera que gerou estas imagens. Há pouca documentação sobre o mkHDR, mas seu código-fonte é aberto. Da mesma forma que outros programas como, por exemplo o HDRShop, o programa inicialmente calculando a curva de resposta da câmera para o conjunto de fotos a partir de uma amostra de *pixels* da cena e a seguir compõe a imagem HDR.

¹⁰ Tanto o arquivo de lote como o *script* são arquivos compostos por comandos executáveis; a diferença é que o primeiro é para sistemas operacionais DOS e o segundo para plataformas Microsoft Windows.

Faria (2007 a.) realizou testes com o programa mkHDR, o qual forneceu valores de luminância sistematicamente superiores aos medidos. Como esse desvio não foi relatado nas referências consultadas, o autor acredita que tenha sido gerado por compensações internas na câmera para realce de alguns atributos das fotos, como brilho, por exemplo. Em sua pesquisa, o autor também considerou que o mkHDR é o aplicativo que apresenta maiores vantagens no estudo de distribuição de luminância, desde que realizadas alterações para melhorar sua precisão, através de sua calibração e da verificação de desempenhos do programa calibrado em relação à correta reprodução de valores de luminância para diferentes cores e conjuntos de imagens com diferentes exposições.

Faria ressalta que esse ajuste no programa mkHDR é válido para imagens obtidas com a câmera usada no presente estudo, uma Sony DSC W-5 sendo que para outros casos, é necessário verificar a validade do ajuste.

4.5 – APLICAÇÕES DAS IMAGENS HDR NA PREVISÃO DE OFUSCAMENTO

Utilizando-se imagens HDR e imagens de falsas cores pode-se analisar qualitativamente a distribuição da luminosidade nos ambientes de trabalho. Conforme Lida (2005) “essas medidas são essenciais para o projeto e avaliação dos postos de trabalho”. A Figura 4.5.1 mostra as diferenças da luminância em diferentes partes do campo visual.

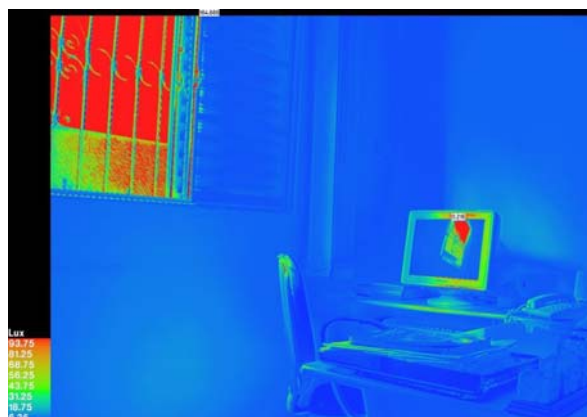
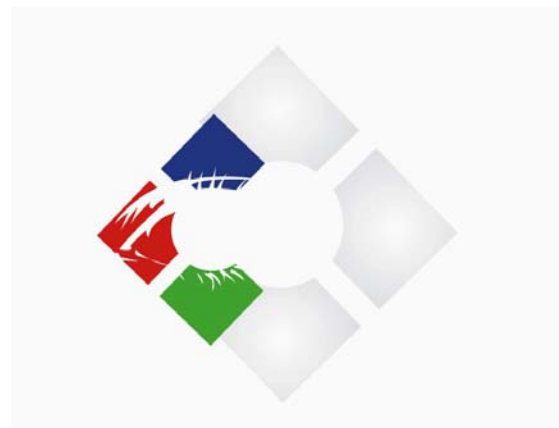


Figura 4.5.1 – Imagem de falsa cor representando escala de luminâncias criadas a partir das imagens HDR.

Portanto, a tomada de decisão do projeto a ser utilizado no posto de trabalho requer a informação adequada, critérios da avaliação de desempenho, e comparação sistemática. O impacto de cada escolha do projeto pode ser estudado em muitas maneiras diferentes. As quantidades computadas podem ser utilizadas em vários indicadores luminosos do ambiente, tais como a distribuição da iluminação e do luminância, o contraste do luminância, os índices do brilho, a sensibilidade do contraste, a acuidade visual e a visibilidade em níveis da iluminação.

Nos próximos capítulos analisam-se as bases do cálculo de índices de ofuscamento, com ênfase no ofuscamento causado pela iluminação natural e artificial, apresentando, um modelo de cálculo para a elaboração de um mapa de distribuição de luminâncias a partir de uma imagem HDR de um ambiente de trabalho e a descrição das dificuldades para sua utilização como meio de análise de situações envolvendo ofuscamento.



5 *Ofuscamento*

Apresentam-se as bases do cálculo de índices de ofuscamento, com ênfase no ofuscamento causado pela iluminação natural, abordando um modelo de cálculo para a elaboração de um mapa de distribuição de luminâncias a partir de uma imagem HDR de um ambiente de trabalho.

Nota-se que o ofuscamento ocorre quando uma parte do ambiente dentro do campo visual é muito mais clara que o restante, causando grande perturbação no poder de adaptação, por superexposição da retina. Uma pequena janela com vista para um céu encoberta pode ser uma causa de ofuscamento, caso não exista no ambiente iluminação suficiente para aproximar a luminância das superfícies internas à luminância da janela. Breviglieri (2005) classifica-se dois tipos principais de ofuscamento, sendo o primeiro tipo relacionado a uma sensação que impossibilita o indivíduo a realizar suas tarefas. Neste caso, o ofuscamento é dito inabilitante e se caracteriza pelo efeito de uma perda de visibilidade instantânea e indolor. O segundo tipo está relacionado a uma sensação de desconforto, este tipo de ofuscamento é dito desconfortável, porque a tarefa pode ser realizada, porém a custo de cansaço visual. Seu efeito pode ser instantâneo ou a longo termo e, geralmente, é acompanhando de algum nível de dor.

O ofuscamento é o principal problema encontrado no projeto de iluminação de um posto de trabalho. Assim, o foco deste capítulo centraliza no problema da obtenção de iluminação natural ideal em termos de conforto (controle do ofuscamento) e em relação aos gastos energéticos (uso adequado da luz natural, considerando-a como redutor da potência necessária à luz artificial complementar) em um posto de trabalho. Para isto é necessário estudar como calcular o ofuscamento no interior do ambiente de trabalho iluminados por janelas ou luminárias e como calcular a quantidade de luz natural disponível dentro deste ambiente evitando assim o ofuscamento.

5.1 - SISTEMA DE CÁLCULO POR OFUSCAMENTO

A CIE (*Comission International L'Eclairage*) conceitua índice de ofuscamento como descritivo da sensação potencial de ofuscamento de qualquer fonte de luz. Sendo este método bem aceito pela comunidade internacional para o estudo de grau de ofuscamento, este será utilizado na presente pesquisa para avaliar o ofuscamento no ambiente de trabalho através das imagens digitais tratadas.

Para a medição de desconforto foram criados sistemas de cálculo, dentre eles está o desenvolvido pela IES (*Illuminating Engineering Society*), o VCP (*Visual*

Confort Probability – Probabilidade de Conforto Visual), que avalia a porcentagem de pessoas que aceita o ambiente como visualmente confortável, utilizando a percepção de ofuscamento devido à iluminação direta de luminárias ao observador. (Equação 5.1.1).

$$VCP = \frac{100}{\sqrt{2\tau}} \int_{-\infty}^{6.374-1.3227 \ln DGR} e^{-t/2} dt \quad \text{Equação 5.1.1}$$

Onde: DGR= *Daylight Glare Index* (índice de desconforto por ofuscamento).

T = tempo

$$DGI = \left(\sum_{i=1}^n M_i \right)^{n-0.0914} \quad \text{Equação 5.1.1}$$

Onde:

M_i = Índice de sensação para cada fonte.

n = Número de fontes de luz no campo visual.

Foi desenvolvido em 1993 um sistema pela CIE, chamado UGR (*Unified Glare Rating* – Índice de Ofuscamento Unificado) ou classificação unificada do ofuscamento (Equação 5.1.2), sendo que a formula está limitada a situações onde o ângulo sólido se compreende entre 0,0003 e 0,1sr.

$$UGR = 8 \log_{10} \frac{(0,25)}{(L_b)} \sum_{i=1}^n \frac{L_s^2 \varpi_i}{P_i^2} \quad \text{Equação 5.1.2}$$

Onde:

L = Luminância da fonte de luz (cd/m²)

L_b = Luminância do campo de visão, incluindo a fonte (cd/m²)

ϖ_i = Ângulo sólido subtendido pelo observador (sr)

P_i = Posição da luminária

Entretanto, ambos os sistemas descritos acima são válidos para iluminação artificial, não podendo ser utilizados para desconforto causado por fontes de luz natural. Para as medições de desconforto por ofuscamento causado por luz natural, o método utilizado deverá ser o DGI (*Daylight Glare Index* – índice de desconforto por ofuscamento) ou Índice de Ofuscamento por Iluminação Natural, que define com razoável precisão o nível de ofuscamento causado pela luz natural em espaços internos, e podendo ser usado tanto para luz direta do sol, como do céu.

5.2 - GLARE INDEX- G

Hopkinson (1975) desenvolveu várias pesquisas sobre ofuscamento causado por fontes pequenas, se comparadas a luminância do entorno nestas. Ele criou um algoritmo em que o ângulo sólido máximo seria de 0.01sr. Chauvel *et al.* (1982) e Hopkinson (1975), desenvolveram uma equação para ofuscamento proveniente de fontes extensas (Equação 5.2.1), como aberturas em geral, a qual ficou conhecida como fórmula de Cornell, baseada na relação entre luminâncias de fonte e fundo, onde grau de ofuscamento causado por qualquer fonte individual de luz nesta, é expresso como um índice G que é dado pela fórmula:

$$G = K \left[\frac{L_s^{1.6}}{L_b} \times \frac{\Omega^{0.8}}{(0.07 \times \omega^{0.5} \times L_s)} \right] \quad \text{Equação 5.2.1}$$

Onde:

K = Constante cujo valor depende das unidades de medida e da fonte de luz;

L_s = Luminância da fonte de ofuscamento (cd/m²);

L_b = Luminância média do campo de visão (excluindo a fonte) (cd/m²);

Ω = Ângulo sólido subentendido pela fonte, modificado para considerar a posição no campo de visão (sr);

ω = Ângulo sólido subentendido pela fonte (sr).

A equação acima pode ser aplicada a qualquer fonte de ofuscamento no campo visual, os índices G são então somados para determinar o índice de ofuscamento GI que é expresso:

$$DGI = 10 \log_{10} \sum G \quad \text{Equação 5.2.2}$$

A equação foi desenvolvida por meio de experiências usando lâmpadas fluorescentes difundido através de uma tela translúcida. A equação GI (índice de ofuscamento) e G (*Glare Index*) poderão ser sintetizadas utilizando uma única fórmula descrita abaixo:

$$DGI = 10 \log_{10} 0,48 \sum_{i=1}^n \left[\frac{L_s^{1.6} \Omega^{0.8}}{L_b + (0.07 \omega^{0.5} L_s)} \right] \quad \text{Equação 5.2.3}$$

O ângulo sólido (Equação 5.2.4) e o ângulo sólido corrigido (Equação 5.2.5), a serem usados nas fórmulas acima, assim se expressa:

$$\omega = \frac{A * \cos \beta}{D^2} \quad \text{Equação 5.2.4}$$

$$\Omega = \omega * P \quad \text{Equação 5.2.5}$$

Onde:

- A = Área da abertura (m²);
- β = Ângulo formado com a normal da abertura (horizontal e vertical) (°);
- D = Distância do observador à normal da abertura (m);
- P = Ângulo de correção do cosseno (°).

Desde os anos 70, estudos de campo validam o uso destas fórmulas. Hopkinson (1975) afirma que duas importantes conclusões foram tiradas destes estudos: que o nível de desconforto gerado pela visão do céu por uma abertura pode ser predito a partir da modificação da fórmula de Cornell para fontes de maior tamanho e que parece haver uma maior tolerância para níveis intermediários de ofuscamento por iluminação natural que para o ofuscamento

causado por iluminação elétrica, pois ambas apresentam o mesmo índice de ofuscamento (CHAUVEL *et al.*, 1980).

A equação modificada para o cálculo do ofuscamento por iluminação natural expressa como dG é apresentada como:

$$dG = 0,48 \left[\frac{L_s^{1.6} \times \Omega^{0.8}}{L_b + (0.07 \times \omega^{0.5} \times L_s)} \right] \quad \text{Equação 5.2.6}$$

Onde:

L_s = Luminância da fonte de ofuscamento (cd/m^2);

L_b = Luminância média do campo de visão (excluindo a fonte) (cd/m^2);

Ω = Ângulo sólido subtendido pela fonte (sr);

ω = Ângulo sólido subtendido pela fonte, modificado para considerar a posição no campo de visão (sr).

Para cada abertura no campo de visão é determinado um valor para a constante dG (equação 5.2.7). Esses valores são então somados para expressar um índice de ofuscamento dG_i :

$$dG_i = 10 \log_{10} \sum dG \quad \text{Equação 5.2.7}$$

A tabela 5.2.8 demonstra a maior tolerância para o ofuscamento proveniente de aberturas quando comparadas a uma mesma situação com iluminação proveniente de fontes elétricas.

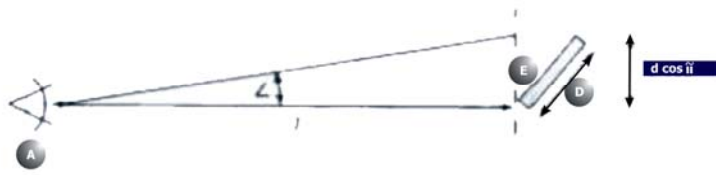
Tabela 5.2.8 - Níveis máximos para índice de ofuscamento por fontes naturais ou artificiais pelas categorias de tarefas. Fonte: IES (1990).

	CATEGORIA POR LUMINÂNCIA	Gi FONTE ELÉTRICA	DGi FONTE NATURAL
(GERAL)	A	22	24
	B	25	26
(TAREFA)	C	19	22
	D	16	20
	E	13	16
	F	10	16
(GERAL + TAREFA)	G	<10	NÃO
	H	<10	RECOMENDÁVEL
	I	<10	

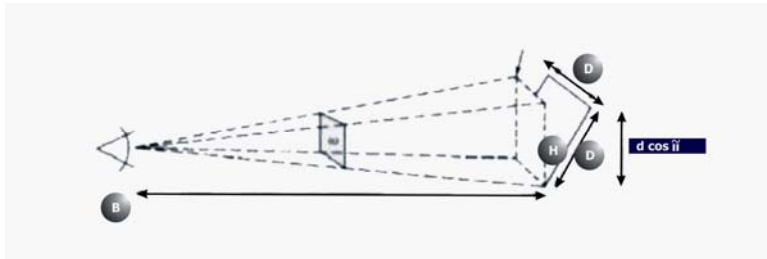
5.3 - CÁLCULO DE OFUSCAMENTO POR LUZ NATURAL

Uma das intenções do trabalho é verificar o ofuscamento por luz natural em um posto de trabalho. Para o cálculo de ofuscamento por luz natural, pode-se aplicar a fórmula de Cornell, descrita anteriormente, e para tanto deve ter-se o conhecimento de algumas variáveis envolvidas no cálculo, como:

- ✓ A luminância da fonte de ofuscamento (janela/luz natural);
- ✓ A luminância média do campo visual excluindo a fonte (variáveis medidas);
- ✓ O ângulo sólido subtendido pela fonte (ver figura 5.2.4 e 5.2.5), calculado em relação ao centro da janela visualizada pelo usuário (elemento representativo da fonte de luz);
- ✓ O ângulo sólido modificado, considerando novamente a posição no campo de visão e calculado em relação ao centro da porção visível da fonte.



Linha perpendicular à linha de visão



Plano perpendicular à linha de visão

Figura 5.3.1- Representação do cálculo do ângulo sólido em relação à abertura. (Fonte: IESNA, 2000).

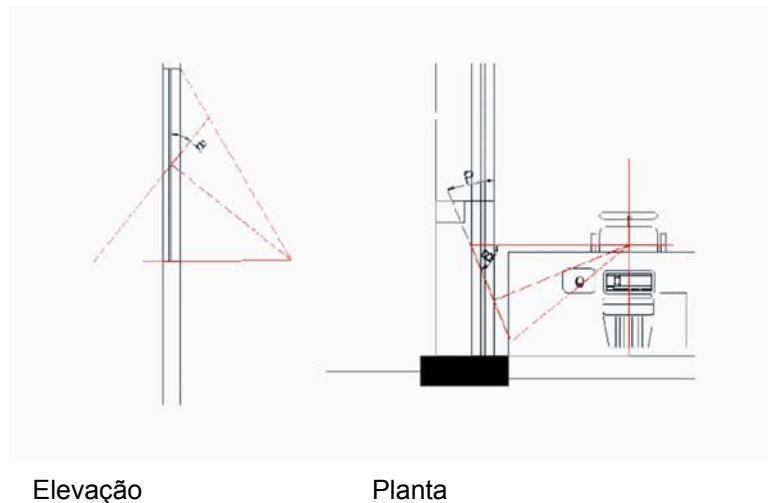


Figura 5.3.2 - Ângulos utilizados no cálculo do ângulo sólido (B) e ângulo de correção do cosseno (P).

As fórmulas para cálculo do ângulo sólido e ângulo sólido corrigido já foram apresentadas anteriormente nas equações 5.2.4 e 5.2.5.

O olho humano não percebe o brilho de uma fonte da mesma maneira que ao longo de todo o campo visual. É possível relacionar, entretanto o brilho relativo de uma fonte disposta fora da linha de visão, com o brilho da mesma fonte colocada exatamente na linha de visão. Este índice de posição (ver Figura 5.3.4), utilizada no cálculo de Ω (ângulo sólido modificado), é calculado pela

formula (Breviglieri, 1995) que será adotada na presente pesquisa ou pela tabela. (Tabela 5.3.5).

$$P = \exp\{10^{-4} \beta [340,6 + 2,102\beta - \alpha(0,0163\alpha + 1,605)]\} \text{ Equação 5.3.3}$$

α = ângulo em relação à vertical entre o plano vertical da linha de visão a fonte luminosa, tomado no plano contendo a fonte luminosa (°);

β = ângulo entre a linha de visão e a direção da fonte luminosa em relação ao observador (°).

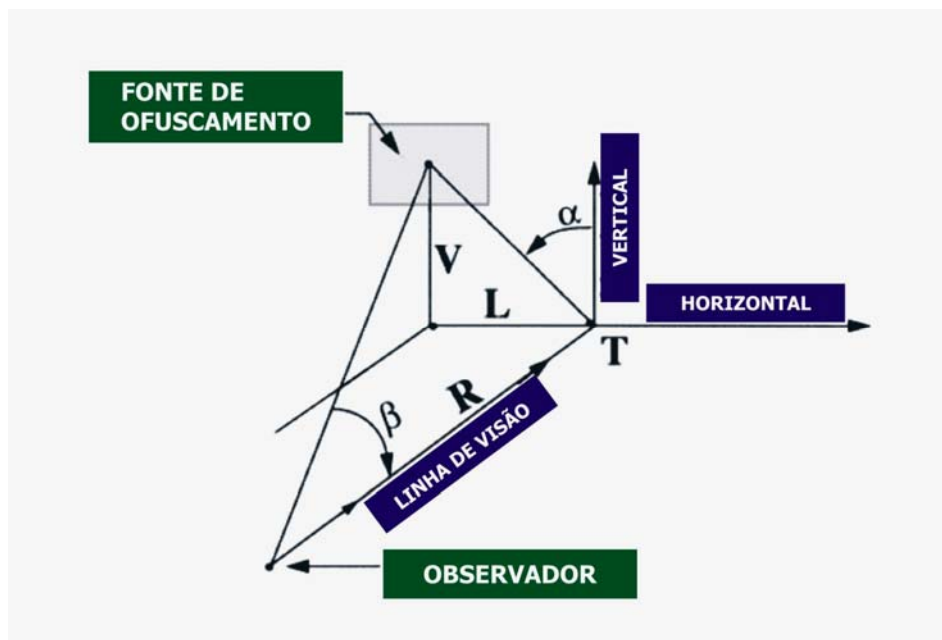


Figura 5.3.4 – Componentes do Índice do componente P. Fonte: Adaptado de McHUGH, 1995.

Tabela 5.3.5 – Componentes do Índice do componente P. Fonte: Adaptado de Velds, 2001.

POSITION FACTOR																					
Horizontal angle ($\phi = \tan^{-1} L/R$)																					
		0°	6°	11°	17°	22°	27°	31°	35°	39°	42°	45°	50°	54°	58°	61°	63°	68°	72°		
Vertical displacement (V/R)	1.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	62°	
	1.8	—	—	—	—	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	61°	
	1.6	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	58°	
	1.4	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	54°	
	1.2	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	50°	
	1.0	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	45°
	0.9	0.11	0.11	0.12	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	42°
	0.8	0.14	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	39°
	0.7	0.19	0.20	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.18	0.17	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	35°
	0.6	0.25	0.27	0.30	0.29	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	31°
	0.5	0.35	0.37	0.39	0.38	0.36	0.34	0.31	0.28	0.25	0.23	0.21	0.18	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	27°
	0.4	0.48	0.53	0.53	0.51	0.49	0.44	0.39	0.35	0.31	0.28	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	0.10	22°
	0.3	0.67	0.73	0.73	0.69	0.64	0.57	0.49	0.44	0.38	0.34	0.31	0.25	0.21	0.19	0.16	0.15	0.13	0.12	0.12	17°
	0.2	0.95	1.02	0.98	0.88	0.80	0.72	0.63	0.57	0.49	0.42	0.37	0.30	0.25	0.22	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	11°
	0.1	1.30	1.36	1.24	1.12	1.01	0.88	0.79	0.68	0.62	0.53	0.46	0.37	0.31	0.26	0.23	0.20	0.17	0.16	0.16	6°
	0	1.87	1.73	1.56	1.36	1.20	1.06	0.93	0.80	0.72	0.64	0.57	0.46	0.38	0.33	0.28	0.25	0.20	0.19	0.19	0°
		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0		
Lateral displacement (L/R)																					
V = VERTICAL DISTANCE FROM HORIZONTAL LINE OF VISION																					
L = LATERAL DISTANCE FROM HORIZONTAL LINE OF VISION																					
R = HORIZONTAL DISTANCE FROM EYE OF OBSERVER																					

Os critérios para a sensação de desconforto em relação aos valores encontrados na formula ou na tabela são descritos na tabela (tabela 5.3.6) a seguir:

Tabela 5.3.6 – Comparação entre GI e DGI para sensações de desconforto. Fonte: Adaptado de McHUGH, 1995.

SENSAÇÃO DE DESCONFORTO	DG	DGI
IMPERCEPTÍVEL	10	16
	13	18
ACEITÁVEL	16	20
	19	22
DESCONFORTÁVEL	22	24
	25	26
INTOLERÁVEL	28	28

Nesta presente dissertação será abordada também a questão da análise do ofuscamento devido à presença de luminárias relacionada à presença de janela no campo visual.

5.4 - Análise do ofuscamento a partir de imagens HDR

No levantamento bibliográfico sobre os estudos do uso de imagens HDR no mapeamento de luminâncias referem-se, em sua totalidade, a análises de situações de ofuscamento potencial, principalmente em postos de trabalho.

Desta forma, há uma série de trabalhos que empregam o RADIANCE e outros *softwares* para análise de imagens geradas pelo próprio programa (como em INANICI, 2003) ou mesmo imagens de videofotômetros (como WIENOLD e CHRISTOFFERSEN, 2006), todos eles voltados ao estudo de situações de ofuscamento.

Wienold e Christoffersen (2006) descrevem três métodos de análise automática de fontes de ofuscamento:

1. Calcular a luminância média da imagem toda e mapear as seções cuja luminância é x vezes maior que a luminância média. É o método implementado no aplicativo *findglare*¹¹ do RADIANCE;
2. Fixar um valor de luminância e mapear as seções da imagem que apresentem luminância maior que aquele valor. Os autores sugerem valores acima do qual não há adaptação visual, como 5.000 cd m^{-2} ; salientam, no entanto, que esse método não apresenta bons resultados quando a cena observada contém uma faixa muito ampla de luminâncias;
3. Calcular a luminância média de uma dada zona (área de atividade visual) e mapear as seções cuja luminância é x vezes maior que aquela luminância média. O método apresenta a vantagem de considerar a área de luminância média como aquela de maior concentração visual, que pode assumir valores bastante distintos da média da imagem como um todo.

¹¹ Este aplicativo somente funciona quando as imagens são obtidas com lentes grande angulares, abrangendo todo o hemisfério visível.

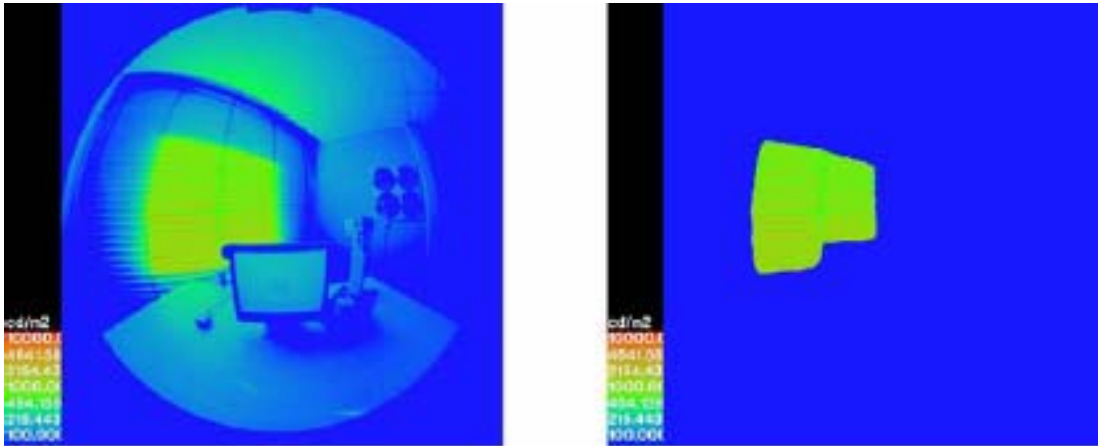


Figura 5.4.1 - Exemplos de distribuição de luminâncias (esq.) e de mapeamento de luminâncias maiores que um valor estipulado (dir.), gerados pelo RADIANCE. Fonte: Wienold e Christoffersen (2006).

As referências encontradas são unânimes quanto à validação dos resultados apresentados pelo RADIANCE em relação a valores de luminâncias medidas.



6 *Sistemática para Previsão do Ofuscamento*

Nos capítulos anteriores foram abordados alguns conceitos para o embasamento teórico referente ao tema desta pesquisa. Nesta etapa, busca subsídios que valida a hipótese de viabilizar o uso de câmeras fotográficas digitais de uso amador, com lentes padrão, no desenvolvimento de uma metodologia do uso das imagens HDR no estudo de iluminação, avaliando os índices de ofuscamento em um posto de trabalho.

Neste capítulo apresenta-se a pesquisa aplicada, com descrição de todos os passos realizados para o desenvolvimento do trabalho, apresentando uma sistemática para a previsão de ofuscamento, comparando as características de imagens obtidas por câmera fotográficas digitais com lentes padrão com as medidas físicas do aparelho luminancímetro e destacando as dificuldades para sua utilização como meio de análise de situações envolvendo ofuscamento.

Atualmente o computador é uma ferramenta indispensável e se tornou útil para muitas atividades, sendo usado para quase todos os tipos de trabalho ou estudo, estando cada vez mais presente no dia a dia do homem moderno.

O crescente uso do computador, juntamente a sua rápida modernização e todas as facilidades que ele nos proporciona, fez com que seu uso se difundisse com facilidade em ambientes de trabalho, comércio e estudo. Todavia, as condições de iluminação destes locais, nem sempre estão de acordo com as necessidades dos usuários, causando desconforto, fadiga visual e diminuindo a motivação na execução das atividades.

Neste capítulo será analisado um levantamento de medição da iluminação em um posto de trabalho, através do uso do luminancímetro comparando com as imagens HDR, validando o uso e eficiência do emprego dessa última técnica.

6.1 – LOCAL

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram escolhidas uma sala do campus da Universidade Estadual “Julio Mesquita Filho” – Unesp, campus Bauru/SP, onde há uso diário de computadores pelos alunos da referida universidade. A

sala foi escolhida devido à localização dos computadores, com os monitores dispostos frontalmente e lateralmente em relação a fontes de luz pontual, linear e espacial.

Houve a preocupação de fazer dois tipos de estudos: o primeiro em uma sala com ambiente lumínico controlado, analisando cada fonte de luz (pontual, linear e espacial) e no segundo estudo foi realizado em uma sala onde o ambiente luminoso não foi controlado possuindo diversos tipos de fontes.

6.1.1 – PROCEDIMENTO DAS MEDIÇÕES – LUMINÂNCIMETRO

Para execução destas medições foi indispensável a elaboração de planilhas para a anotação de dados: data, hora, local, e luminâncias medidas em cada ponto. Para realizar estas medições adotaram-se os seguintes passos:

1. A estação de trabalho foi medida com o luminancímetro ajustado em um tripé (Figura 6.1.1.1), focalizando os pontos estratégicos a serem medidos: teto, paredes, superfícies homogêneas e com texturas ou cores diferentes, superfícies próximas ao observador que se destacassem dentro de seu campo visual, área externa visível através da janela e etc.



Figura 6.1.1.1 – Tripé e Luminancímetro

2. Para superfícies homogêneas como teto e paredes, apontou-se o luminômetro para o ponto médio da superfície visível e tomou-se esta medida como luminância média da superfície. No posto de trabalho mediu-se o monitor, teclado, mouse e lado direito e esquerdo da mesa (Figura 6.1.1.2).

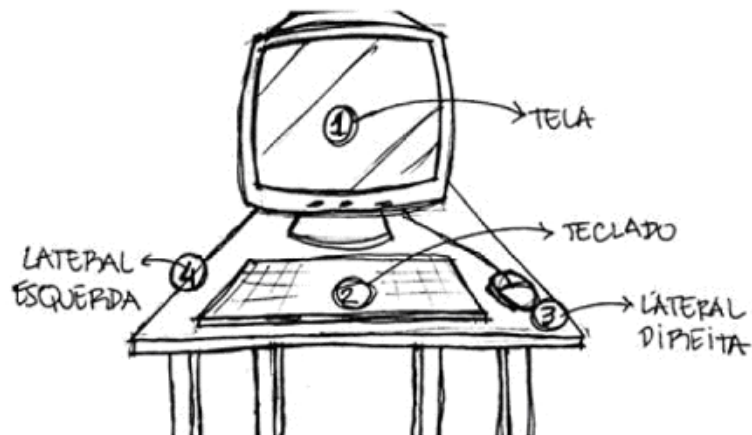


Figura 6.1.1.2 – Desenho esquemático posto de trabalho.

Para superfícies percebidas como não homogêneas como as que se vê através da janela, onde os estímulos visuais se diferenciam em questão de cor, tamanho, textura, entre outros fatores, foram medidos vários pontos, que se diferenciavam bastante entre si e se destacavam dentro do campo visual em questão. Com estes pontos calculou-se a luminância média a partir de uma média aritmética simples.

3. Para realização de todas as medições descritas acima, será empregado um luminômetro Konica Minolta LS-110, (ângulo de abertura de medição de $1/3^\circ$ e a faixa de luminâncias de 0,01 a 499.900 cd/m²) de acordo com a Figura 6.1.1.3.



Fig. 6.1.1.3: Luminancímetro.

4. Para subdividir o campo visual uniformemente foi adotada a técnica de subdivisão de áreas de forma quadriculada, representada pela figura 6.1.1.4. Esta subdivisão também foi utilizada para fins de cálculo da iluminância média de cada porção do campo visual.



Fig. 6.1.1.4: Subdivisão da Fotografia.

6.1.2 - MEDIÇÃO FOTOGRAFIA HDR.

Para realizar estas medições adotaram-se os seguintes passos e foram utilizados os seguintes materiais:

1. Câmera fotográfica digital com controle manual de tempo de exposição, abertura, sensibilidade ISSO e referência de branco.
2. Tripé, rígido o suficiente para impedir que a câmera se mexa durante o pressionar do botão de acionamento.
3. A câmera fotográfica Cyber Shot foi ajustada em um tripé (Figura 6.1.2.1), focalizando o campo visual do observador.



Figura 6.1.2.1 – Tripé com a Câmera Fotográfica Cyber Shot.

6.2 – TIPOS DE FONTES

Há dois tipos de fontes luminosas: artificiais e naturais. As fontes de luz natural, segundo Moore (1991), podem ser diretas, como a luz do sol ou da abóbada celeste, ou indireta, como a luz de difusores reflexivos ou translúcidos, iluminados por outra fonte de luz primária ou secundária. Alguns autores consideram a luz da abóbada celeste como indireta também, já que esta difunde a luz do sol. A luz do céu é composta por luz direta e difusa, sendo direta a que incide paralelamente na terra e difusa a que chega à atmosfera depois de refletida pelos gases e gotas d'água presentes na atmosfera.

Deve-se tomar muito cuidado com a Luz do céu, pois esta pode ser emitida tanto pela luz do Sol como pela luz da abóbada celeste; tanto sua falta como o seu excesso podem ser prejudiciais para o desempenho do usuário no posto de trabalho. Segundo Pereira (1995) o alto conteúdo energético (luz e calor) da luz do céu é geralmente excluído do ambiente devido aos possíveis efeitos adversos sobre o ambiente térmico (superaquecimento), ambiente luminoso (ofuscamento) e integridade física dos materiais.

A luz do Sol é pontual e direta, ao contrário da luz proveniente da abóbada celeste, que é gerada por refração e reflexão da luz ao passar pela atmosfera, caracterizando-se por níveis de iluminação muito mais baixos que a luz do sol, entretanto mais constantes, variando de 5.000 a 20.000 lux. (MOORE, 1991)

A luz natural possui vantagens em relação à luz artificial, principalmente em relação ao conforto e bem estar do usuário, pois auxilia na iluminação diurna de um ambiente durante um período de 60% a 90% das horas do dia proporcionando uma significativa economia de energia. A luz natural também é obtida através de uma fonte de energia renovável; é dinâmica, pois está em continua mudança ao longo do tempo (variação da hora, dia e mês), sem mencionar que propicia níveis de iluminância maiores do que os obtidos com a luz elétrica. As radiações externas e as condições do céu promovem uma satisfação das nossas necessidades biológicas e psicológicas: por exemplo, sabe-se determinada à hora do dia devido ao nosso “relógio biológico” explicado pelo fenômeno de sentir fome perto do horário do almoço ou ter sono ao anoitecer.

Na iluminação artificial são utilizados muitos e variados tipos de dispositivos, sendo os mais comuns às lâmpadas que são componentes do sistema de iluminação que podem converter energia elétrica em luz visível. As lâmpadas existem nas mais diversas formas, tamanhos, cores, potências e preços, notando-se que a oferta do mercado neste domínio mostra que a diversidade de dispositivos existente é muito grande.

As lâmpadas elétricas atuais são agrupadas em: lâmpadas incandescentes, lâmpadas de descarga e lâmpadas mistas, onde as características e as aplicações das fontes de luz artificial são informadas pelos fabricantes em seus catálogos, onde apresentam propriedades como:

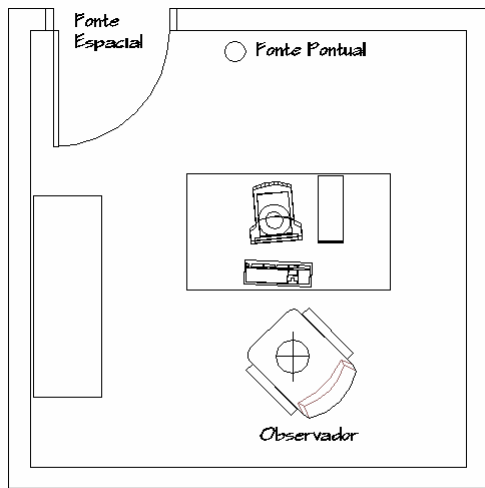
- ✓ A eficiência da lâmpada, que é controlada pela quantidade da luz que ela emite por uma quantidade de entrada da potência elétrica e com qual facilidade esta luz pode ser detectada pôr um observador qualquer.

- ✓ As características do rendimento da luz da lâmpada, sendo o grau em que a lâmpada altera a cor de um conjunto de padrões de tonalidade (Temperatura de Cor Correlata - TCC e Índice de Reprodução de cores - IRC).

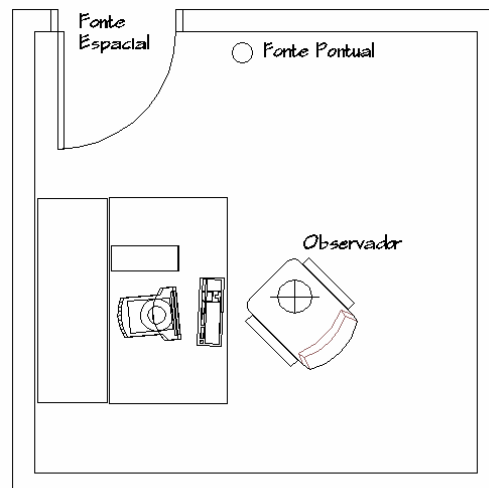
Resultante de estudos e pesquisas nesta área de conhecimento, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT: NBR 5413 trata da iluminância de interiores, que tem por objetivo estabelecer valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, onde são realizadas diversas atividades. Não obstante, apesar dos sofisticados avanços em tecnologias ópticas, ainda não existem fontes de luz artificial capazes de simular de forma adequada todas as propriedades da luz natural.

6.2.1 – FONTE NATURAL ESPACIAL

A análise de ofuscamento da fonte natural (espacial) e artificial (linear e pontual) controladas foi realizado em uma sala de atendimento na Unesp onde há uma freqüentemente utilizada por professores e alunos. Houve a preocupação com o posicionamento das mesas e das fontes luminosas de acordo com a planta baixa da sala (Figura 6.2.1.1). O tripé foi posicionado na altura da visão de uma pessoa sentada (1,10m) e foi calculado o índice de ofuscamento de acordo com as equações descritas no capítulo 5.



Layout Monitor em frente da Fonte de Luz
Escada 1/50



Layout Monitor ao lado da Fonte de Luz
Escada 1/50

Figura 6.2.1.1 – Planta Baixa da Sala de Atendimento – Unesp/Bauru

Na Figura 6.2.1.2 foi analisada a situação da fonte de luz natural em relação ao computador (posto de trabalho) nas posições frontal e lateral (Figura 6.2.1.3), verificando a ocorrência de ofuscamento através das medições com o luminancímetro descritas no item 6.1.1 e comparando com as imagens HDR (Item 6.1.2).



Figura 6.2.1.2 – Fonte de luz frontal em relação ao computador.



Figura 6.2.1.3 – Fonte de luz lateral em relação ao computador.

6.2.2 – FONTE ARTIFICIAL PONTUAL E LINEAR

A próxima etapa foi o estudo das fontes artificiais (pontual e linear), mantendo à mesma metodologia adotada no estudo da fonte natural (item 6.2.1), analisando o computador de frente (Figura 6.2.2.1) e ao lado da fonte (Figura 6.2.2.2), verificando os possíveis pontos de ofuscamento.



Figura 6.2.2.1 – Monitor de frente com a fonte pontual.



Figura 6.2.2.2 – Monitor ao lado da fonte pontual.

A quarta etapa foi o estudo da fonte linear (lâmpada fluorescente) ocorrendo o mesmo processo abordado na fonte pontual e natural.

6.2.3 – FONTE NATURAL E ARTIFICIAL

O estudo no laboratório com todas as fontes de luz natural e artificial foi a quinta etapa da pesquisa. Neste estudo houve a preocupação na escolha de um laboratório onde apresentasse situações onde a fonte estaria de frente e ao lado do monitor (observador) de acordo com o layout abaixo (Figura 6.2.3.1).

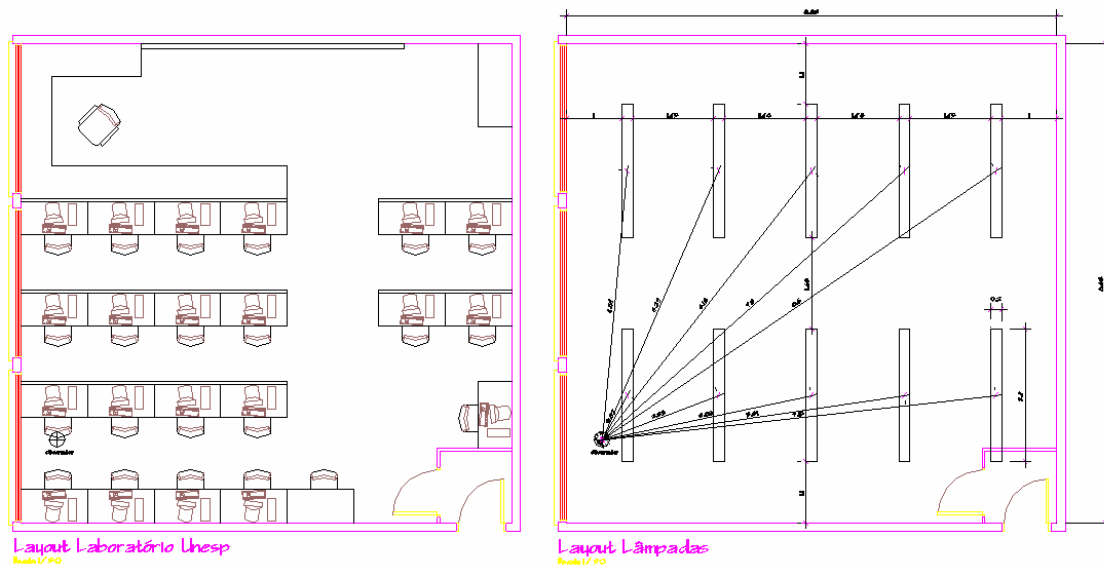


Figura 6.2.3.1 – Layout do mobiliário e Lâmpadas do laboratório Unesp/Bauru.

O posicionamento dos computadores, lâmpadas e aberturas (janelas) no laboratório permitiu a pesquisa, pois apresentou uma situação mais complexa do que as anteriores na sala de atendimento.

O primeiro passo da realização do estudo foi a análise do campo de visão do observador (Figura 6.2.3.2) e posteriormente o seu entorno - as fontes luminosas artificiais e naturais (Figura 6.2.3.3, 6.2.3.4 e 6.2.3.5) comparando com os dados obtidos na imagem HDR e as medidas do luminancímetro.



Figura 6.2.3.2 – Posição do Monitor no Laboratório.



Figura 6.2.3.3 – Análise das lâmpadas 01 e 03



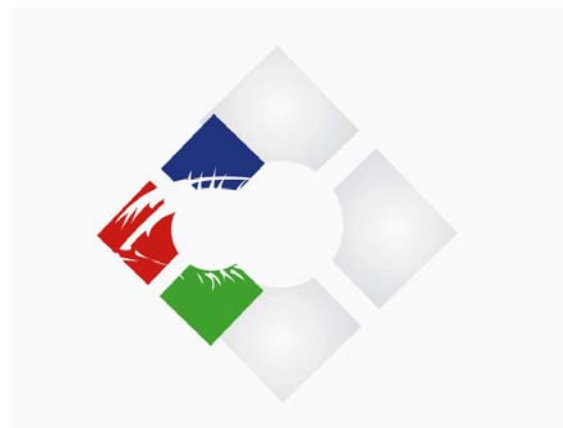
Figura 6.2.3.4 – Análise das lâmpadas 06 e 07



Figura 6.2.3.5 – Análise da lâmpada 09

As medições de luminância visam caracterizar o campo visual do usuário como um todo, mostrando os níveis de brilho e iluminação do espaço lumínico da estação de trabalho dos usuários de computadores a fim de analisar criticamente os resultados e calcular a existência ou não de ofuscamento nos locais estudados.

Posteriormente foram examinados os dados obtidos e calculou-se o índice de ofuscamento por luz natural e artificial, com o intuito de descobrir se a iluminação local causava desconforto visual por ofuscamento aos ocupantes das salas estudadas. Os dados coletados e os resultados serão descritos no capítulo 07 analisando cada posto de trabalho e os pontos de ofuscamento.



7 *Resultados e Discussão*

Este capítulo será dividido em quatro estudos diferentes abordando as análises dos resultados da medição de luminância para fontes artificial, pontual e linear, de luz natural de todas as fontes, e subdividido em duas partes: os dados coletados nas medições de luminâncias com o luminancímetro e a análise das imagens HDR. A verificação da ocorrência de ofuscamento foi feita comparando-se as proporções de luminância recomendadas pela bibliografia e as encontradas, demonstrando o método de cálculo do índice de ofuscamento com os resultados encontrados através da sistemática desenvolvida.

Apresentam-se todas as situações de iluminação medidas, os valores encontrados, as variáveis necessárias ao cálculo (Equações 5.2.4, 5.2.5 e 5.2.3 – pág. 56), e o índice de ofuscamento apresentado individualmente para cada situação, destacando-se as situações com ofuscamento acima do desejado segundo a IESNA (2000) - tabela 5.2.8, pág. 58. A descrição deste capítulo encerra o que se chama de ciclo da pesquisa, sendo apresentado à conclusão referente à proposta de pesquisa, ou seja, as respostas aos objetivos definidos inicialmente e as dificuldades encontradas no desenvolvimento da pesquisa.

7.1 - FONTE DE LUZ ARTIFICIAL FOCAL

Neste estudo apresentam-se duas situações distintas: sendo a fonte de luz artificial focal à frente e ao lado do observador, analisando a ocorrência de ofuscamento dentro e fora do campo visual da máquina fotográfica. Realizam-se as etapas descritas no capítulo 06. Segue abaixo as imagens HDR e de falsa cor juntamente com os resultados obtidos.

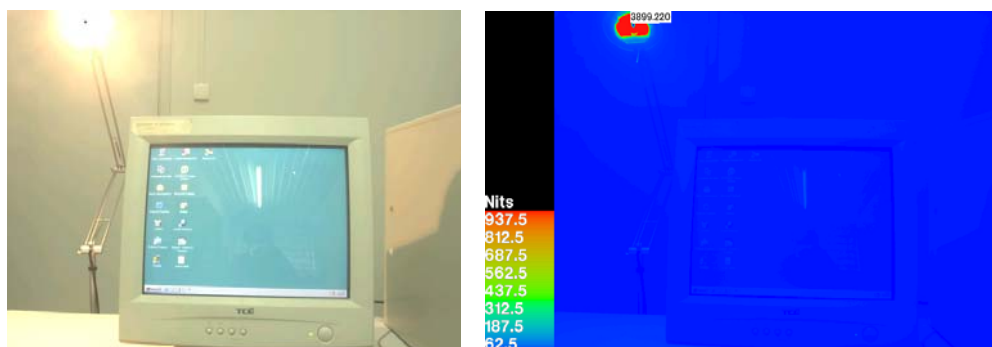


Figura 7.1.1 – Imagem HDR e Falsa Cor – Fonte de luz focal de frente ao observador.

Na situação acima (Figura 7.1.1) a fonte de luz focal está dentro do campo visual da máquina fotográfica permitindo com maior facilidade identificar e calcular o ponto de ofuscamento. Na situação abaixo (Figura 7.1.2) a fonte de luz está fora do campo visual da máquina, portanto é necessário realizar a sistemática descrita no capítulo 06, verificando se há ocorrência de ofuscamento fora do campo visual da máquina fotográfica.



Figura 7.1.2 – Imagem HDR do posto de trabalho e fonte de luz focal ao lado do observador.

Foi desenvolvido durante a pesquisa um programa que calcula os índices de ofuscamento a partir de um conjunto de imagens HDR obtidas em ângulos diferentes dentro do campo visual do observador. Informa-se qual é a imagem principal (que contém o eixo da visão), geralmente a do posto de trabalho, e através da informação da posição angular da imagem HDR das fontes de luz é possível identificar os pontos de ofuscamento e analisar até que ponto esta fonte está influenciando no campo visual do observador. Segue abaixo os dados das imagens HDR (Figura 7.1.2) juntamente com as tabelas com os resultados da curva (Tabelas 7.1.3 e 7.1.5) e a imagem de falsa cor (Figura 7.1.4 e 7.1.6) tanto da imagem HDR do posto de trabalho como da fonte de luz focal.

Dados do programa:

Características das fontes

Posição (graus)		Tamanho	Luminância
Horizontal	Vertical	(sr)	(cd/m ²)
145,5165	28,4381	0,0000	461,483
145,5165	28,4381	0,0000	462,578
145,5165	28,6211	0,0097	244,764
145,5165	28,5115	0,0008	238,521
145,5165	28,4381	0,0000	259,763
145,5165	28,4381	0,0000	466,895
145,5165	28,4381	0,0000	780,407
145,5165	28,4748	0,0016	840,774
145,5165	28,6574	0,0127	3.752,123
145,5165	29,2285	0,0505	4.451,881
145,5165	28,5846	0,0000	269,932

Índices de ofuscamento

BRS Glare Index = 33

Daylight Glare Index = 27

Unified Glare Rating = 32

As equações utilizadas para o cálculo foram as 5.2.3, 5.2.4, 5.2.5 e 5.3.3 descritas na página 56 do capítulo 05. O resultado dos cálculos do Daylight Glare Index foi de 27,19 comprovando a eficiência da sistemática.”

Tabela 7.1.3 – Dados da curva da Fonte de Luz Focal – Posto de Trabalho

Dados da Curva da fonte de Luz Focal			
Byte	R	G	B
0	-4,231163	-4,811035	-4,933258
1	-4,231163	-4,811035	-4,933258
2	-3,742582	-4,203194	-4,293759
3	-3,454482	-3,847592	-3,919308
4	-3,246194	-3,595114	-3,652968
5	-3,08266	-3,398847	-3,445766
6	-2,948024	-3,237777	-3,275509
7	-2,83363	-3,100503	-3,130409
8	-2,734365	-2,980109	-3,003483
9	-2,647054	-2,872087	-2,890293
10	-2,569642	-2,773622	-2,787901
...
...
...
240	1,549315	1,416051	1,317527
241	1,569055	1,425677	1,32757
242	1,588714	1,435263	1,33757
243	1,608292	1,444809	1,347527
244	1,627789	1,454316	1,357441
245	1,647207	1,463784	1,367313
246	1,666546	1,473214	1,377143
247	1,55084	1,482605	1,386932
248	1,238176	1,491958	1,396679
249	0,92677	1,370605	1,406385
250	0,616612	1,094293	1,416051
251	0,307692	1,482605	1,425677
252	1,469521	1,491958	1,435263
253	1,489595	1,370605	1,444809
254	1,509585	1,094293	1,454316
255	1,529491	1,370605	1,463784

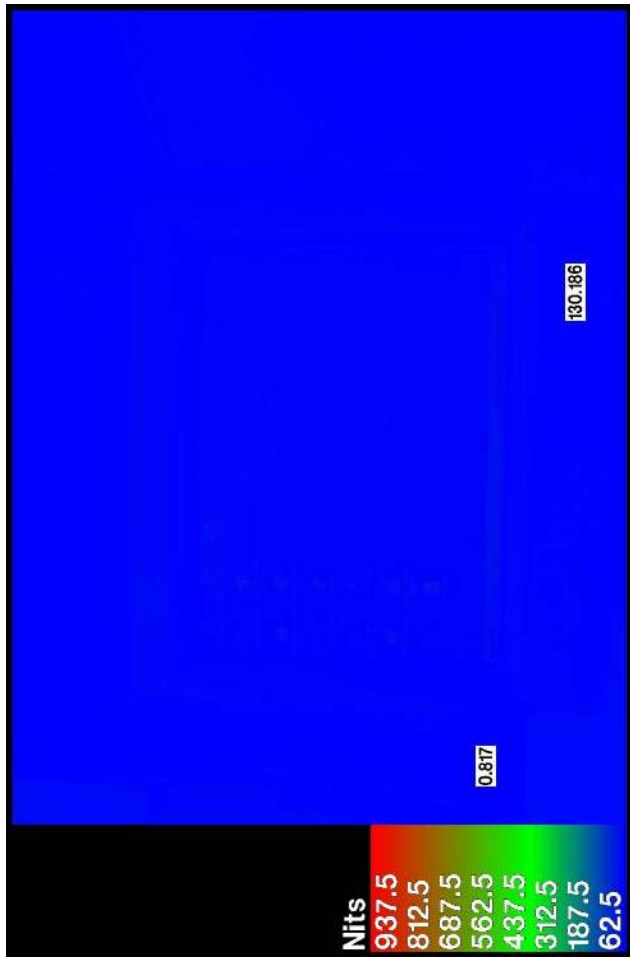


Figura 7.1.4 - Imagem Falsa Cor – Fonte de Luz Focal Posto de trabalho

Tabela 7.1.5 – Dados da curva da Fonte de Luz Linear – Posto de Trabalho

Dados da Curva da Fonte de Luz Focal			
Byte	R	G	B
0	-3,877958	-3,552279	-3,183501
1	-3,877958	-3,552279	-3,183501
2	-3,877958	-3,552279	-3,183501
3	-3,877958	-3,552279	-3,183501
4	-3,877958	-3,552279	-3,183501
5	-3,877958	-3,552279	-3,183501
6	-3,449077	-3,552279	-3,183501
7	-3,198141	-3,552279	-3,183501
8	-3,01999	-3,552279	-3,183501
9	-2,881741	-3,552279	-3,183501
10	-2,768845	-3,552279	-3,183501
...
...
...
240	1,650671	1,39625	1,391129
241	1,688915	1,408574	1,41191
242	1,728997	1,420844	1,432602
243	1,764919	1,433063	1,453205
244	1,800084	1,445229	1,473666
245	1,83334	1,457343	1,493914
246	1,866458	1,469406	1,514075
247	1,899439	1,481419	1,534152
248	1,932285	1,493381	1,554143
249	2,063748	1,436117	1,588875
250	2,373722	1,146517	1,681287
251	2,68244	0,858116	1,773314
252	2,98991	0,570904	1,86496
253	3,296142	0,284872	1,956228
254	3,601148	0,00001	2,047121
255	3,601148	0,00001	2,047121



Figura 7.1.6- Imagem Falsa Cor – Fonte de Luz Focal

7.2 – FONTE DE LUZ ARTIFICIAL LINEAR

O mesmo procedimento ocorreu com a fonte de luz artificial linear. As equações utilizadas para o calculo foram 5.2.3, 5.2.4, 5.2.5 e 5.3.3 descritas na página 56 do capítulo 05. O resultado dos cálculos do Daylight Glare Index foi de 25,76 comprovando a eficiência da sistemática.



Figura 7.2.1 – Imagem HDR – Posto de Trabalho e Fonte Linear

Dados do programa:

Características das fontes

Posição (graus)		Tamanho (sr)	Luminância (cd/m ²)
Horizontal	Vertical		
3.5588	15.2925	0.000	346.300
-43.3413	145.5165	0.000	380.296
...
...
...
...
...
...
-62.4313	145.5165	0.0003	1,120.412
-62.5478	145.5165	0.0009	783.766
-62.6892	145.5165	0.0027	537.187

Indices de ofuscamento

BRS Glare Index = 27

Daylight Glare Index = 25

Unified Glare Rating = 23

Tabela 7.2.2 – Dados da curva da Fonte de Luz Linear de Luz Linear – Posto de Trabalho

Dados da Curva da Fonte de Luz Linear			
Byte	R	G	B
0	-4,008605	-4,308062	-4,239361
1	-4,008605	-4,308062	-4,239361
2	-4,008605	-4,308062	-4,239361
3	-4,008605	-4,308062	-4,239361
4	-4,008605	-4,308062	-4,239361
5	-4,008605	-4,308062	-4,239361
6	-3,541932	-3,804843	-3,743615
7	-3,288896	-3,510286	-3,453424
8	-3,075073	-3,300765	-3,247034
9	-2,924598	-3,137418	-3,08628
10	-2,801429	-3,002954	-2,954245
240	0,766771	1,40388	1,469104
241	0,510107	1,430032	1,492925
242	0,254523	1,456074	1,516647
243	0,000011	1,482007	1,542483
244	0,000011	1,519873	1,570054
245	0,000011	1,56575	1,59751
246	0,000011	1,611437	1,624853
247	0,000011	1,656936	1,652083
248	0,000011	1,702248	1,666888
249	0,000011	1,615426	1,250162
250	0,000011	1,289719	0,936722
251	0,000011	0,965334	0,622558
252	0,000011	0,64226	0,310658
253	0,000011	0,320485	0,000015
254	0,000011	0,34562	0,000015
255	0,000011	0,298531	0,000015

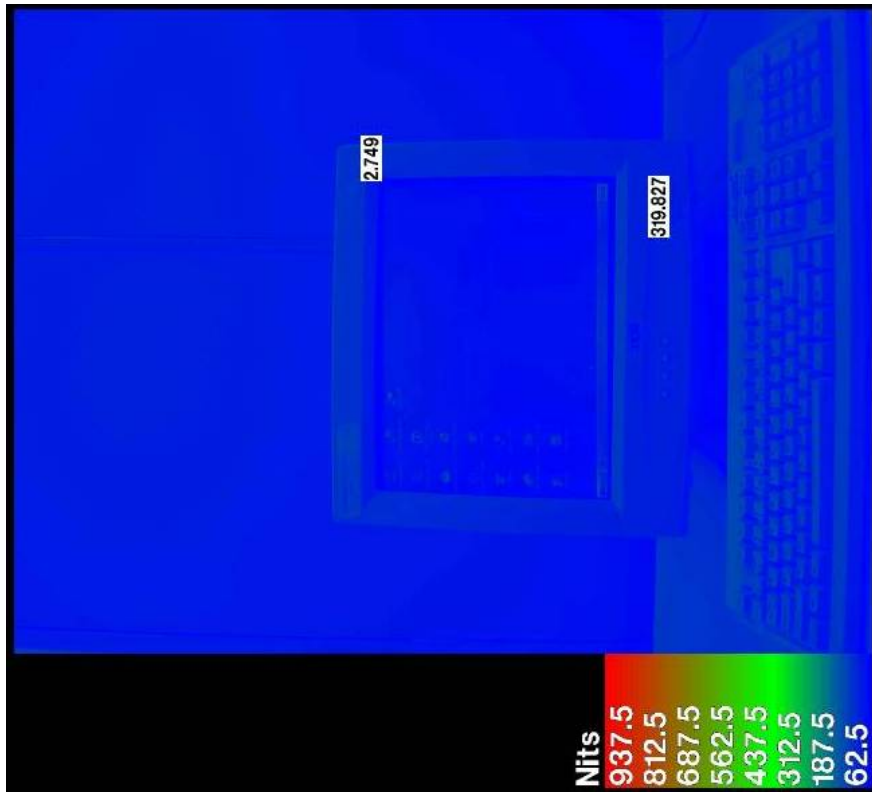


Figura 7.2.3 - Imagem Falsa Cor Fonte de Luz Artificial – (linear) Posto de Trabalho

Tabela 7.2.4 – Dados da curva da fonte de Luz Linear

Dados da Curva da fonte de Luz Linear			
Byte	R	G	B
0	-3,651869	-3,992276	-3,542088
1	-3,651869	-3,992276	-3,542088
2	-3,651869	-3,992276	-3,542088
3	-3,651869	-3,992276	-3,542088
4	-3,651869	-3,992276	-3,542088
5	-3,651869	-3,992276	-3,542088
6	-3,651869	-3,992276	-3,542088
7	-3,651869	-3,992276	-3,542088
8	-3,651869	-3,539589	-3,542088
9	-3,651869	-3,274287	-3,542088
10	-3,277771	-3,086001	-3,542088
240	1,244425	1,464054	1,45818
241	1,247143	1,494133	1,480416
242	1,249848	1,524085	1,502557
243	1,252542	1,553909	1,524603
244	1,261929	1,585333	1,546343
245	1,28148	1,618376	1,56759
246	1,300949	1,651281	1,588748
247	1,320337	1,68405	1,609816
248	1,339643	1,716682	1,630797
249	1,366829	1,744009	1,652023
250	1,417223	1,75944	1,674285
251	1,46741	1,774808	1,696454
252	1,517391	1,790113	1,718531
253	1,567167	1,805356	1,740518
254	1,61674	1,820527	1,762415
255	1,61674	1,820527	1,762415

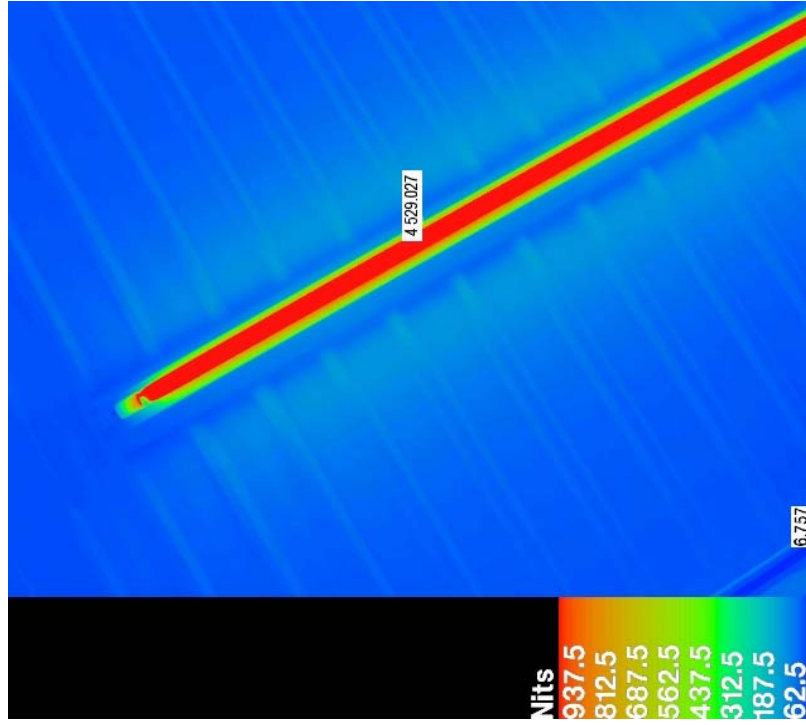


Figura 7.2.5 - Imagem Falsa Cor Fonte de Luz Artificial - Linear

7.3 – FONTE DE LUZ NATURAL – POSTO DE TRABALHO

Neste estudo também se apresentam duas situações diferentes, sendo a fonte de luz natural em frente e ao lado do posto de trabalho, analisando a ocorrência de ofuscamento dentro e fora do campo visual da máquina fotográfica. Foram feitas as etapas descritas no capítulo 06. Segue abaixo as imagens HDR e de falsa cor juntamente com os resultados obtidos nas duas situações.

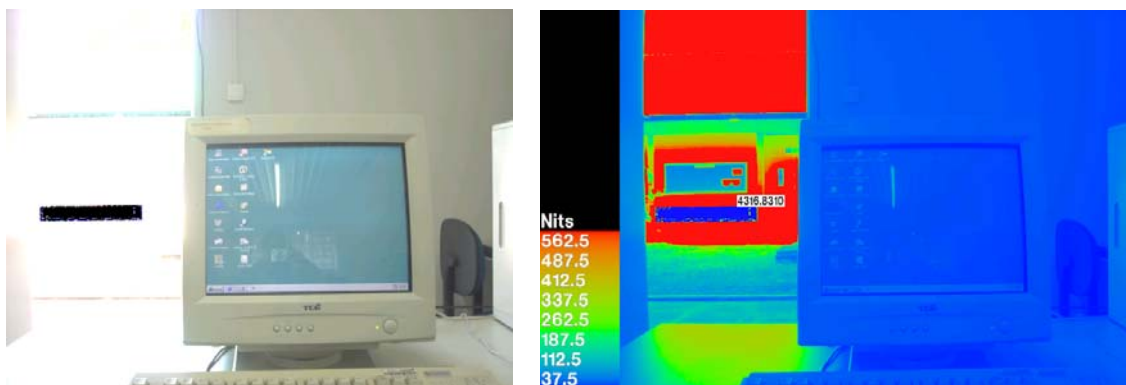


Figura 7.3.1 – Imagem HDR e Falsa Cor. Fonte de Luz Natural de frente ao observador.

Os dados coletados com o equipamento luminancímetro foram os mesmo que destacou a imagem falsa cor. Na situação abaixo a fonte de luz natural (abertura da porta) ficou ao lado do posto de trabalho. (Figura 7.3.2)



Figura 7.3.2 – Imagem HDR – Posto de Trabalho e Fonte Espacial

Dados do programa:

Características das fontes

Posição (graus)		Tamanho (sr)	Luminância (cd/m ²)
Horizontal	Vertical		
115.2996	33.4225	0.0000	301.624
115.1226	33.4225	0.0000	296.695
115.1992	33.4225	0.0000	303.189
115.5009	33.4225	0.0000	295.416
115.5840	33.4225	0.0000	455.604
...
...
115.3798	33.4225	0.0000	311.855
115.3737	33.4225	0.0000	325.785
114.4604	33.4487	0.0091	561.038
114.4386	33.7841	0.1303	550.104

Índices de ofuscamento

BRS Glare Index = 49

Daylight Glare Index = 36

Unified Glare Rating = 48

Novamente, para o cálculo foram utilizadas as equações 5.2.3, 5.2.4, 5.2.5 e 5.3.3 descritas na página 56 do capítulo 05. O resultado dos cálculos do Daylight Glare Index foi de 36,61 comprovando a eficiência da sistemática.

Tabela 7.3.3 – Dados da curva da Fonte de Luz Espacial – Posto de Trabalho

Dados da Curva da Fonte de Luz Natural			
Byte	R	G	B
0	-3,383915	-3,494102	-3,303242
1	-3,383915	-3,494102	-3,303242
2	-3,383915	-3,494102	-3,303242
3	-3,383915	-3,494102	-3,303242
4	-3,383915	-3,494102	-3,303242
5	-3,383915	-3,494102	-3,303242
6	-3,383915	-3,494102	-3,303242
7	-3,383915	-3,494102	-3,303242
8	-3,383915	-3,494102	-3,303242
9	-3,383915	-3,494102	-3,303242
10	-3,065718	-3,117479	-3,303242
240	1,286406	1,512698	1,417408
241	1,537424	1,537918	1,433309
242	1,787367	1,56303	1,449142
243	2,036245	1,588035	1,464908
244	2,284062	1,608162	1,480606
245	2,284062	1,62094	1,480606
246	2,284062	1,633663	1,480606
247	2,284062	1,646333	1,480606
248	2,284062	1,658951	1,480606
249	2,284062	1,680137	1,480606
250	2,284062	1,726494	1,480606
251	2,284062	1,772661	1,480606
252	2,284062	1,818638	1,480606
253	2,284062	1,864427	1,480606
254	2,284062	1,91003	1,480606
255	2,284062	1,91003	1,480606

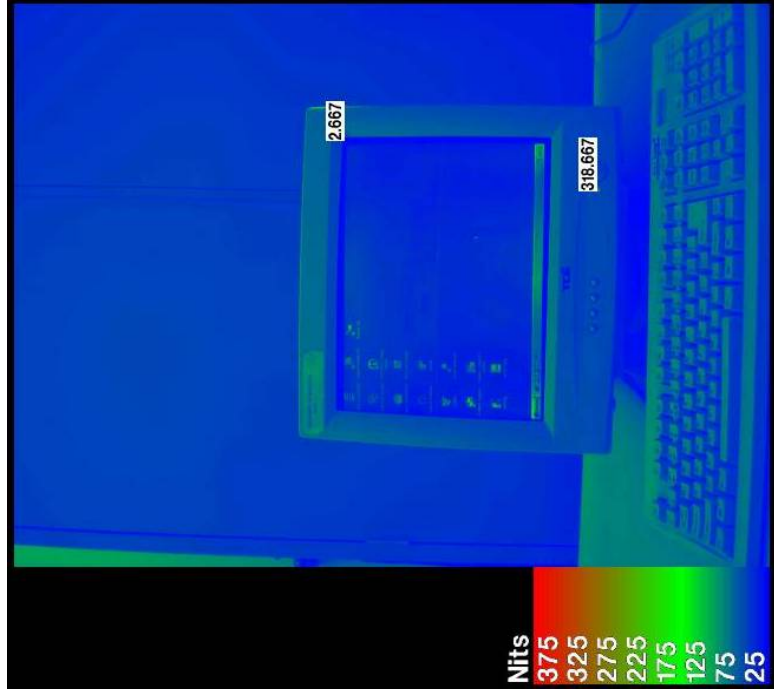


Figura 7.3.4 - Imagem Falsa Cor Fonte de Luz Natural Posto de Trabalho

Tabela 7.3.5 – Dados da curva da fonte de Luz Natural Espacial

Dados da Curva da fonte de Luz Espacial			
Byte	R	G	B
0	-3,326401	-3,240494	-3,446665
1	-3,326401	-3,240494	-3,446665
2	-3,326401	-3,240494	-3,446665
3	-3,326401	-3,240494	-3,446665
4	-3,326401	-3,240494	-3,446665
5	-3,326401	-3,240494	-3,446665
6	-3,326401	-3,240494	-3,446665
7	-3,326401	-3,240494	-3,446665
8	-3,326401	-3,240494	-3,446665
9	-3,326401	-3,240494	-3,446665
10	-3,326401	-3,240494	-3,446665
240	1,426115	1,612744	1,600187
241	1,434466	1,634157	1,616269
242	1,442782	1,655477	1,632283
243	1,451061	1,676705	1,648227
244	1,464435	1,694723	1,658939
245	1,493369	1,700002	1,657375
246	1,52218	1,705259	1,656818
247	1,550869	1,710492	1,654268
248	1,579436	1,715704	1,652725
249	1,605141	1,728938	1,668966
250	1,618156	1,786384	1,754426
251	1,631116	1,84369	1,839641
252	1,644023	1,900557	1,924303
253	1,656876	1,957287	2,008716
254	1,66966	2,013759	2,092782
255	1,66966	2,013759	2,092782

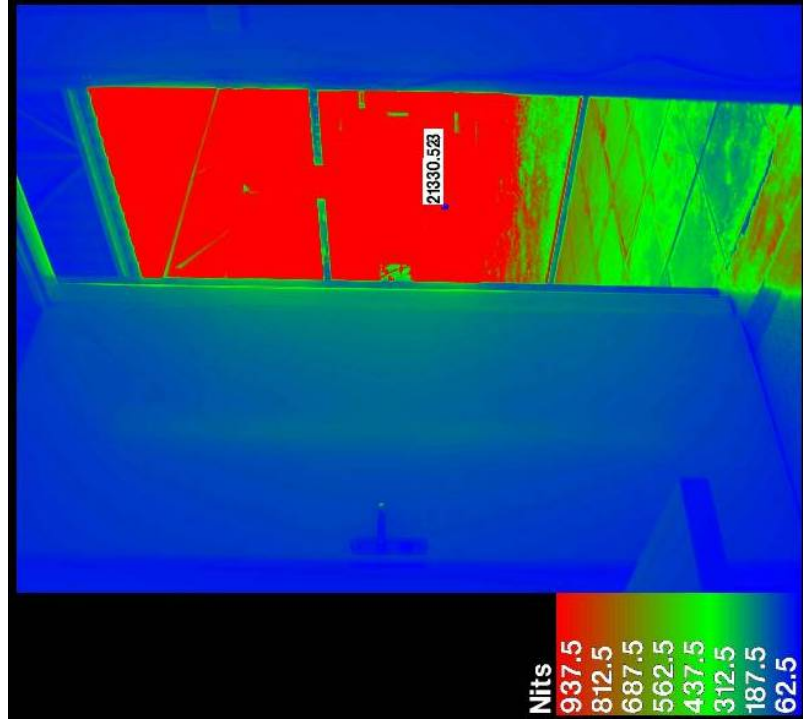


Figura 7.3.6 - Imagem Falsa Cor Fonte de Luz Natural

7.4 – ESTUDO LABORATÓRIO – TODAS AS FONTES

Nos estudos descritos acima as situações foram controladas, com apenas uma fonte. Portanto, houve a necessidade de estudar uma situação onde houvesse mais de uma fonte, artificial e natural.

Fez-se o estudo em um laboratório da Unesp/Bauru, que contém computadores em diversas posições de acordo com o layout (Figura 6.2.3.1). Optou-se por um computador no final da sala com a influência de todas as luminárias e das janelas laterais. (Figura 7.4.1)



Figura 7.4.1 – Estudo em 3D – Layout do laboratório da UNESP/Bauru

Realizou-se o mesmo procedimento nos estudos anteriores conforme foi descrito no capítulo 06. Para calcular os índices de ofuscamento de cada lâmpada fez-se necessário usar alguns princípios de matemática, como a trigonometria, parte da matemática que estabelece os métodos de resolução de triângulos. (Figura 7.4.2)

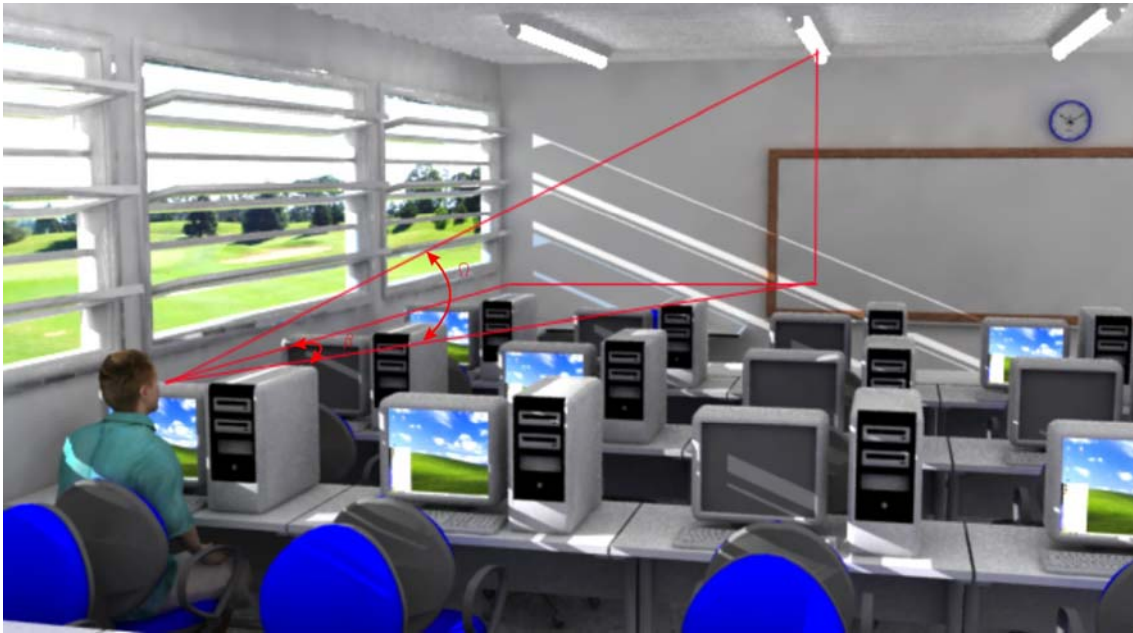


Figura 7.4.2 – Modelo de Estudo Trigonômico das Fontes de Luzes

Comparando os resultados obtidos através dos cálculos das equações descritas no capítulo 06, com a metodologia adotada percebeu-se que os resultados apresentam uma margem de erro considerável, maior que o aceitável de 10%. Apesar das inúmeras vezes em que o estudo foi realizado, a margem de erro continuou significativa. Notou-se que em uma situação complexa, com mais tipos de fontes, não foi possível realizar o estudo com exatidão. Os estudos, gráficos, imagens falsa cor, imagem HDR e os resultados encontrados são apresentados no anexo 02.

7.5 – DISCUSSÃO

Em um posto de trabalho, a iluminação é importante no sentido de facilitar a atividade visual e evitar a fadiga. Já em locais informatizados deve-se ter cuidado na utilização da luz natural, pois quando esta é excessiva pode causar ofuscamento, reflexão e desconforto visual no usuário de computador. Além destas possíveis circunstâncias, há o agravante de permanecer sempre com o olho num foco fixo, por exemplo: a tela brilhante do computador a sua frente, o quê pode contrastar e muito com o ambiente ao seu redor, chegando a contrastes intoleráveis. Nesse contexto, para que tudo o acima descrito não

ocorra, é fundamental que o ambiente de trabalho conte com uma distribuição de luminâncias adequada.

O estudo ergonômico dos ambientes de trabalho vem sendo de fundamental importância, pois proporciona condições de trabalho adaptadas ao corpo, ritmo e movimentos. É imprescindível o estudo lumínico do posto de trabalho, para que se torne confortável e traga bem estar ao trabalhador. O uso de imagens HDR, conforme abordado nos estudos acima, auxilia esta pesquisa e identifica os possíveis pontos de ofuscamento, contraste e brilho.

A partir dos procedimentos metodológicos adotados e dos resultados apresentados e discutidos neste estudo, pode-se considerar que a análise sistemática das imagens HDR com o auxílio do programa Glare desenvolvido por Faria (2007), possibilita identificar e determinar os pontos de ofuscamento, mesmo que o campo de visão da máquina seja menor que o campo de visão do ser humano.

Devido ao pequeno número de pesquisas realizadas com ênfase na avaliação do uso de imagens HDR em câmeras fotográficas digitais comuns no estudo de iluminação, a análise dos resultados pode não ser de toda satisfatória, conforme exposta nos subtópicos 7.1, 7.2, 7.3 e 7.4. Este estudo utilizou-se dos dados de pesquisa de Faria (2007), Wienold J. e Christoffersen (2006) e Inanici (2005), mas é necessário que haja uma análise mais ampla visando confrontar os dados, corroborando ou não com as situações descritas acima.

A partir deste estudo, verifica-se que não é possível atender a todos os requisitos descritos nos objetivos específicos, pois conforme observado, envolvendo uma situação mais complexa, com diversos tipos de fontes, não foi possível ter o resultado esperado com exatidão, conforme salientado no item 7.4. Nos casos envolvendo um ou duas fontes de luz artificial ou natural, os resultados obtidos foram satisfatórios, pois apresentaram um valor aproximado, levando em conta a margem de erro de 10%.

Os resultados e dados obtidos nos estudos com uma ou duas fontes de luz podem ser considerados importantes parâmetros para o projeto preliminar na análise do estudo de iluminação. Por exemplo, em um posto de trabalho este estudo permitirá e facilitará a identificação dos pontos de ofuscamento possibilitando o desenvolvimento das habilidades e capacidades intelectuais, e garantindo melhor qualidade de vida e conforto ao trabalhador.

De modo geral, este estudo teve várias contribuições e envolveu várias áreas do conhecimento, destacando a importância da multidisciplinaridade no estudo de iluminação utilizando a imagem HDR. Pela observação e reflexão dos problemas encontrados, é possível apresentar alguns parâmetros, bem como proposições para futuros estudos. Desse modo, seria interessante que houvesse um estudo mais aprofundado tornando o uso de imagens HDR no estudo mais complexos de iluminação mais precisos e exatos.



8 *Referências*

1. ABRAHÃO, J. I.; PINHO, D. L. M. **As transformações do trabalho e desafios teórico-metodológicos da ergonomia.** Estudos de Psicologia, Natal, v. 7, Sup.I, p. 45-52, 2002.
2. ALBUQUERQUE, M. E. E.; SILVA, L. B. **Análise ergonômica das condições gerais de ambientes de trabalho informatizados: um estudo de caso.** In: SPBC – Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 1998. Natal.
3. ALVARES, Ana Cristina Alves. **Procedimentos para análise e avaliação da iluminação em ambientes escolares.** In Anais do ENTAC 95 – Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Volume2, pp 587-92, Rio de Janeiro, 1995.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NB 5413 – Iluminância de Interiores.** ABNT, abril, 1992. Rio de Janeiro.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NB 57 Iluminação de Interiores.** ABNT, 1991.
6. BEGEMANN, S.H.A. van der BELD, G.J., TENNER, A.D. (1997) **Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses.** International Journal of Industrial Ergonomics 20. (231-239).
7. BREVIGLIERI. Eduardo P. de Castro. **Métodos de auxílio à concepção arquitetônica baseada na análise multicritérios e em dados simulados dos comportamentos da edificação.** Tese Doutorado em Ciências em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro/RJ. 2005
8. CHAUVEL, P., COLLINS, J.B., DOGNIAUX, R., LONGMORE, J. (1982) **Glare from window: current views of the problem.** Lighting Research and Technology, Vol. 14 N° 01.

9. COUTO, Hudson de Araujo. **Ergonomia aplicada ao trabalho**: manual técnico da máquina humana. Belo Horizonte: ERGO Editora, 1995. Vol. 1 e 2.

10. DEBEVEC, P. E.; MALIK, J. **Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs**, SIGGRAPH 97, Annual Conference Series, Los Angeles, California August 1997. Los Angeles, California: Addison Wesley, Proceedings of SIGGRAPH 97, Computer Graphic Proceedings, 1997, p. 369-378. Acesso em: 19 de maio, 2006.

Disponível em <http://www.debevec.org/Research/HDR/debevec-siggraph97.pdf>.

11. DORIS, C. C. K. **Melhoria do Conforto Ambiental em edificações escolares na região de campinas/SP**. Acesso em: 17 de novembro, 2007.

http://www.fec.unicamp.br/~doris/pt/artigos/con_html/pdf/ENCAC1999_conforto_edificacoes.pdf

12. FACCIN, R. “**Melhorias de Conforto ao Ambiente educacional por Meio da Avaliação do Edifício Escolar: um Estudo de Caso em duas Escolas de Primeiro Grau em São Carlos – SP**” dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1996.

13. FARIA, João Roberto Gomes. (2007) “**O uso de imagens HDR em estudos de iluminação de espaços arquitetônicos**”. Relatório Final ref.: Proc. FAPESP 2005/00911-7.

14. FERWERDA, J.; PATTANAİK, S. N.; SHIRLEY P.; GREENBERG, D. P. **A model of visual adaptation for realistic image synthesis**. SIGGRAPH'96, the 23rd International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, New Orleans, 4-9 August, 1996. Proceedings of SIGGRAPH'96, 1996, p. 249-258. Disponível em: www.cs.ucf.edu/~sumant/publications/sig96.pdf. Acesso em: 19 maio. 2006.

15. GOLDMANN, Simão. **Psicodinâmica das cores** – 1966.

16. GRANDJEAN, Etienne. **Precis d'ergonomie**. Paris: les éditions d'organisation.1983.
17. HOPKINSON, J., PETERBRIDGE, P., LONGMORE, J.; (1975) **Iluminação Natural**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa – Portugal.
18. IESNA (1990) **Lighting Handbook: Reference and application**. Illuminating Engineering Society of North America, 8th edition, New York.,USA.
IESNA (1990) **VDT Lighting**. Illuminating Engineering Society of North America, New York , USA.
19. IESNA (2000) **Lighting Handbook**. The Illuminating Engineering Society of North America, 9th edicion, New York.,USA.
20. **IES, Illuminating Engineering Society** (1993): *Office Lighting*, RP-1- 1993 (Revision of ANSI/IESNA RP-1-1982), American National Standard Practice for Office Lighting, Illuminating Engineering Society of North America, New York, EUA.
21. **IES, Illuminating Engineering Society** (1990): *VDT Lighting*, Recommended Practice for Lighting Offices Containing Computer Visual Display Terminals, RP-24-1989, Illuminating Engineering Society of North America, New York, EUA.
22. IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2005.
23. INANICI, M. N. **Per-pixel lighting data acquisition and analysis with high dynamic range photography**. International Commission on Illumination (CIE) 2005 Conference, Leon, May 12th to 21st 2005. Leon, Proceedings. 2005. Disponível em <<http://dmg.caup.washington.edu/mehlika/mi-CIE05.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2007. (mi-CIE05.pdf)

24. INANICI, M.N. **Utilization of Image Technology in Virtual Lighting Laboratory**, 25. Session of International Commission on Illumination (CIE), San Diego, USA.

25. INANICI, M. N.; GALVIN, J.. **Evaluation of High Dynamic Range photography as a luminance mapping technique**. Paper LBNL-57545, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 2004. Disponível em: <<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/841925-QBBn0i/native/841925.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2007.

26. KAUFMAN, John (1966) **IES Lighting Handbook – The Standard Lighting Guide**. New York – USA.

27. LAMBERT, David et al. **The brain: a user's manual**. New York: Berkley Books, 1985. p.136.

28. LEARN, London Metropolitan University. **WebHDR**, Disponível em <<http://luminance.londonmet.ac.uk/webhdr/>>. Acesso em: 19. fev. 2007.

29. McHUGH, J. R., **Daylighting Design**. Via Monte Carlo. Tese Mestrado, Colorado States University, Fort Collins/ USA, 1995.

30. MICHAEL, Lou. (1996) **Light: The Shape of Space**. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.

31. MICHEL, Lou. **LIGHT: The Shape of Space, Designing with Space and Light**. Kansas: John Wiley & Sons, INC, 1996.

32. MICROSOFT, C., 2004. **Hdr lighting**. DirectX 9.0c Sample, October.

33. MITSUNAGA, T.; NAYAR, S.K. Radiometric self calibration. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Fort Collins, June, 1999. Fort Collins, Proceeding, 1999. Disponível em <http://www.cs.columbia.edu/CAVE/publinks/mitsunaga> CVPR, 1999.pdf. Acesso em 15 de julho, 2007.

34. MOORE, Fuller. (1991) **Concepts and Practice of Architectural Daylighting**. New York: Van Nostrand Reinold Co.

35. NISSOLA, Liliane Janine (2005). **A influência da luz natural na probabilidade de ocorrência de Ofuscamento em Ambientes com terminais de vídeo. Um Estudo de caso**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, UFSC. Florianópolis – Brasil.

36. PEREIRA, Roberto C. (2001) **“A Qualidade da luz”** Dissertação de mestrado em engenharia de produção, UFSC. Brasil.

37. PRADO, L. Cintra. **Iluminação**. Curso ministrado na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP – SP, 1986.

38. RADIANCE **image gallery**. Disponível em:
<<http://radsite.lbl.gov/radiance/gallery/gallery.html>>. Acesso em: 19 fev. 2007.

39. REINHARD, E.; STARK M.; SHIRLEY P.; FERWERDA J. Photographic tone reproduction for digital images. **ACM Transactions on Graphics (TOG)**, v. 21, n. 3, p. 267-276, jun. 2002.

Disponível em: <http://www.cs.utah.edu/~reinhard/cdrom/tonemap.pdf>>. Acesso em: 15 julho. 2007.)

40. [REINHARD, E.; WARD, E. PATTANAIK, S.; DEBEVEC, P. \(2006\) High dynamic range imaging: acquisition, display, and image-based lighting. San Francisco \(CA\): Morgan Kaufmann.](#)

41. SEETZEN, H.; HEIDRICH, W.; STUEZLINGER, W.; WARD, G.; WHITEHEAD, L.; TRENTACOSTE, M.; GHOSH, A.; VOROZCOVS, A., **High Dynamic Range Display Systems, ACM Trans. Graph.** (special issue SIGGRAPH 2004), August 2004. Disponível em:

<http://www.cs.ubc.ca/~heidrich/Papers/Siggraph.04.pdf>,

em: <http://www.cs.yorku.ca/~wolfgang/papers/hdrdisplays.pdf> e em:

<http://www.cs.ubc.ca/~heidrich/Projects/HDRDisplay/>. Acesso: 10 maio, 2007.

42. SENZI, N. **Projetos de iluminação requerem técnica e arte**. Projeto Design, São Paulo, Arco Editorial: n.288, p.92-95, fev.2004.

43. SILVA, Luiz Bueno. **Análise da relação entre produtividade e conforto térmico: o caso dos digitadores do centro de processamento de dados da Caixa Econômica Federal de Pernambuco**. Florianópolis: Tese de doutorado pela Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

44. SZOKOLAY, S. **Environmental handbook**. Lancaster, Construction Press, 1981.

45. TAVARES, Cláudia Régia Gomes. **A ergonomia e suas contribuições para o processo de ensino-aprendizagem**: Uma análise das salas de aula do CEFET/RN. Florianópolis, 2000. 206p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2000.

46. WARD, G. **Global illumination & HDRI formats**. Presentation at SIGGRAPH 2003. Disponível em: www.debevec.org/IBL2003. Acesso em: 30 jun. 2007.

47. WARD L.ARSON, G.; RUSHMEIER H.; PIATKO C., **A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes**, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 3, n. 4, 1997. Disponível em: <http://radsite.lbl.gov/radiance/papers/lbnl39882/tonemap.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2005.

48. WIENOLD, J. e CHRISTOFFERSEN, J. **Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras**. *Energy and Buildings*, v. 38 n. 7, p. 743-757, 2006.

49. VEITCH, Jennifer A. (2001A) **Lighting Quality contributions from Biopsychological Process.** Journal of the Illuminating Engineering Society. Winter 2001. (3 -16)

50. VELDS, M., **Monitoring Procedures for the Assessment of Daylighting Performance of Buildings.** Delft University of Technology, 2001.

8.1 – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. BOYCE, P., HUNTER, C., INCLAN, C. (2003) **Overhead Glare and Visual Discomfort.** Journal of the Illuminating Engineering Society. Winter.

2. BOYCE, P.R. (1998) **Why Daylight?** Proceedings of International Conference on Daylighting Technologie for Energy Efficiency in Buildings, Ontario, Canada.

3. BRASIL. **Lei** nº 9.394, de 20 de dezembro 1996. Dispõe sobre a lei de diretrizes e bases da educação nacional. Editora Saraiva. São Paulo, 1996.

_____. Ministério da Educação. **Portaria** nº. 850, de 26 de maio de 1999. Regimento do Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte – CEFET/RN, D.OU. De 19 de janeiro de 1999.

_____. Ministério do Trabalho. **NRs – Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho.**

http://www.mtb.gov.br/sit/nrs/nrs_idx.htm. Acessado em 20 de julho de 2006.

4. BROWN, W.C & RUBERG, K. (2003). Window performance factors. Disponível em: www.irc.nrcnrc.gc.ca/bsi/88_E.html. Acesso em: 07 de dezembro de 2005.

5. COSTA, WIL O.; (1999) **O que é síndrome de visão de computador.** [www.Canalsaúde.com. Br/oftal_síndrome.html](http://www.Canalsaúde.com.Br/oftal_síndrome.html).

6. FITT, B., THORNLEY, J. **Lighting Technology: a guide for the entertainment industry**. Butterworth-Heinemann Ltd, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP. Great Britain 1997.

7. FONSECA, Ingrid Chagas Leite da; PORTO, Maria Maia; CLARK, Cynthia. (2000) **Qualidade da luz e sua influência sobre o estado de ânimo do usuário**. In: Seminário Internacional de Psicologia e Projeto do Ambiente Construído, Rio de Janeiro. Anais do Seminário Internacional de Psicologia e Projeto do Ambiente Construído – CD ROM. Rio de Janeiro: Coleção PROARQ.

8. GOULDING, J.R., LEWIS, J.O., STEEMERS, T. O. (1994) **Energy Conscious Design: a primer for Architects** . Commission of the European Communities. B.T. Batsford Ltd. London.

9. GRIEVE, P.W. **Measuring light**. [Copenhage], Brüel & Kjaer, 1988.

10. GRANDJEAN, E. (1998) **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, Brasil.

11. HITCHCOCK, Robert J., “Advancing Lighting and a Daylight Simulation: The Transition From Analysis to Design Aid Tools”. In: Building Simulation Seventh International, IBPSA. Conference, Madison, USA, 1995.

12. KOHLSDORF, Maria Elaine. **A Apreciação da Forma da Cidade**. Brasília: Editora UNB, 1996.

13. LADCHUMANANANDASIVAM, Prof. Dr. Rasiah, M.Sc, PhD, CText FTI. **APOSTILA PROCESSOS QUÍMICOS TÊXTEIS VOLUME II – Ciência da Cor**. Professor Adjunto IV, Centro de Tecnologia, UFRN, Natal-RN, Brasil. 2004, pp.

14. LAM, W. M. C. (1986) The Delightful, Healthful, Luminous Environment (cap.2). In:**Sunlighting – As a formgiver for architecture**. New York, Van Nostrand Reinhold Company.
15. LECHNER, N. **Heating, cooling, lighting: Design methods for architects**. New York: Wiley, 1990.
16. MACÊDO, Catharina. (2002) **Análise do Desempenho Térmico e Luminoso de Sistemas de Iluminação Natural que Utilizam Luz Direta do Sol**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis – Brasil
17. MASCARÓ, L. E. R. (1992). **Energia na edificação: estratégias para minimizar seu consumo**. São Paulo : Projeto.
18. MEYER, Philippe. (2002). **O Olho, e o Cérebro: Biofilosofia da Percepção Visual**.
19. MUDRID, L., LEGENDRE, A., PIERSON, A. (2001) **Dimensions of personality in responses to luminous ambiances**. Proceedings of the 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Proceedings of PLEA, Brasil.
20. NEGRÃO, Priscilla. Luz nossa de cada dia. **Revista L+D**. São Paulo. n.03, p. 46 –57, mai/jun. 2005
21. OJEDA, P. **A organização do espaço como uma atividade socialmente compartilhada: o usuário como participante do processo relativo ao projeto de utilização do espaço**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.
22. OREIRA, V.A. iluminação & fotometria. Teoria e aplicação. São Paulo, Edgard Blücher, 30 ed., 1987.

23. PROJETO DE NORMA 02:135.02-001:1997. **Iluminação Natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições.**

24. PROJETO DE NORMA 02:135.02-002:1998. **Iluminação Natural – Parte 2: Procedimento de Cálculo para estimativa da disponibilidade de luz natural.**

25. PROJETO DE NORMA 02:135.02-003:1997. **Iluminação Natural – Parte 3: Procedimento de Cálculo para a Determinação da Iluminação Natural em Ambientes Internos.**

26. PROJETO DE NORMA 02:135.02-004:1997. **Iluminação Natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Método de medição.**

27. RUTTKAY, Fernando Oscar. **Apostila Conforto Ambiental e Luminoso.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 2000.

28. SALÃO, R. 1999. **Comparando métodos spectral da computação da cor, gráficos de computador de IEEE e aplicações,** Vol. 19, n. 4, 36- 45.

29. SANTANELLA, L. **A percepção: uma teoria semiótica.** 2. ed., São Paulo: Experimento, 1998. 120p.

30. SANTOS, Neri dos. FIALHO, Antônio Francisco. **Manual de análise ergonômica do trabalho.** 2ed., Curitiba: Genesis Editora, 1997. 316p.

31. ROUSSEAU, M.Z. (2003). **Windows: overview of issues.** Disponível em: www.irc.nrcnrc.gc.ca/bsi/88_E.html. Acesso em: 5 de abril de 2006.

32. TUAN, yi-fu. **Topofilia: um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente.** Tradução Lívia de Oliveira. São Paulo: Difel Difusão, 1980. 288p.

33. WISNER, Alain. **A inteligência no trabalho: textos selecionados de ergonomia.** Tradução de Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Fundacentro, 1994.

34. YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2.ed. – Porto Alegre: Bookman, 2001.

9.1.1 – ESTUDO LABORATÓRIO – LÂMPADA 01

Dados da Curva/Laboratório - Lâmpada01			
Byte	R	G	B
0	-3,386163	-3,285318	-3,463933
1	-3,386163	-3,285318	-3,463933
2	-3,386163	-3,285318	-3,463933
3	-3,386163	-3,285318	-3,463933
4	-3,386163	-3,285318	-3,463933
5	-3,386163	-3,285318	-3,463933
6	-3,386163	-3,285318	-3,463933
7	-3,386163	-3,285318	-3,463933
8	-3,386163	-3,285318	-3,463933
9	-3,386163	-3,285318	-3,463933
10	-3,050326	-3,285318	-3,123359
240	1,448809	1,377285	1,421441
241	1,501402	1,40933	1,466793
242	1,55377	1,441236	1,511951
243	1,605914	1,473004	1,556916
244	1,656747	1,513723	1,585288
245	1,705706	1,575781	1,588568
246	1,754458	1,637576	1,591835
247	1,803006	1,69911	1,595088
248	1,851351	1,760384	1,598328
249	1,90081	1,849887	1,727221
250	1,953915	2,050127	2,22379
251	2,006801	2,249534	2,718312
252	2,05947	2,448116	3,210803
253	2,111924	2,645879	3,70128
254	2,164164	2,84283	4,189759
255	2,164164	2,84283	4,189759

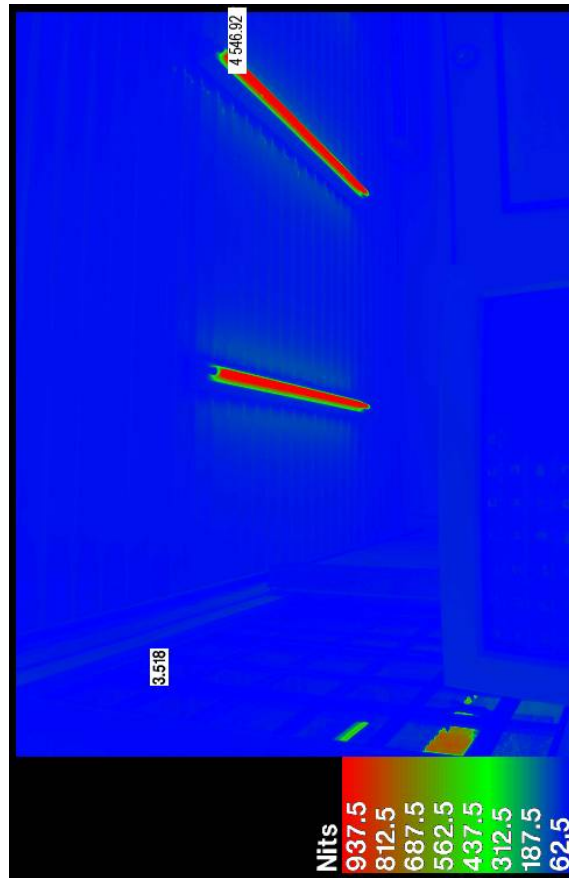


Imagem Falsa Cor – Posto de Trabalho / lâmpada 01

9.1.2 – ESTUDO LABORATÓRIO – LÂMPADA 03

Dados da Curva Laboratório Lâmpada03			
Byte	R	G	B
0	-3,282435	-3,180243	-3,148477
1	-3,282435	-3,180243	-3,148477
2	-3,282435	-3,180243	-3,148477
3	-3,282435	-3,180243	-3,148477
4	-3,282435	-3,180243	-3,148477
5	-3,282435	-3,180243	-3,148477
6	-3,282435	-3,180243	-3,148477
7	-3,282435	-3,180243	-3,148477
8	-3,282435	-3,180243	-3,148477
9	-3,282435	-3,180243	-3,148477
10	-3,282435	-3,180243	-3,148477
240	2,326216	2,214143	2,080496
241	2,37705	2,2521	2,200726
242	2,427665	2,289892	2,320431
243	2,478062	2,32752	2,439618
244	2,541526	2,37412	2,54827
245	2,636172	2,457623	2,615756
246	2,730417	2,540769	2,682952
247	2,824263	2,623561	2,749861
248	2,917714	2,706001	2,816487
249	3,069178	2,818294	2,862772
250	3,447832	3,096318	2,798475
251	3,824911	3,373177	2,734448
252	4,200428	3,64888	2,670688
253	4,574397	3,923436	2,607193
254	4,94683	4,196801	2,543939
255	4,94683	4,196801	2,543939

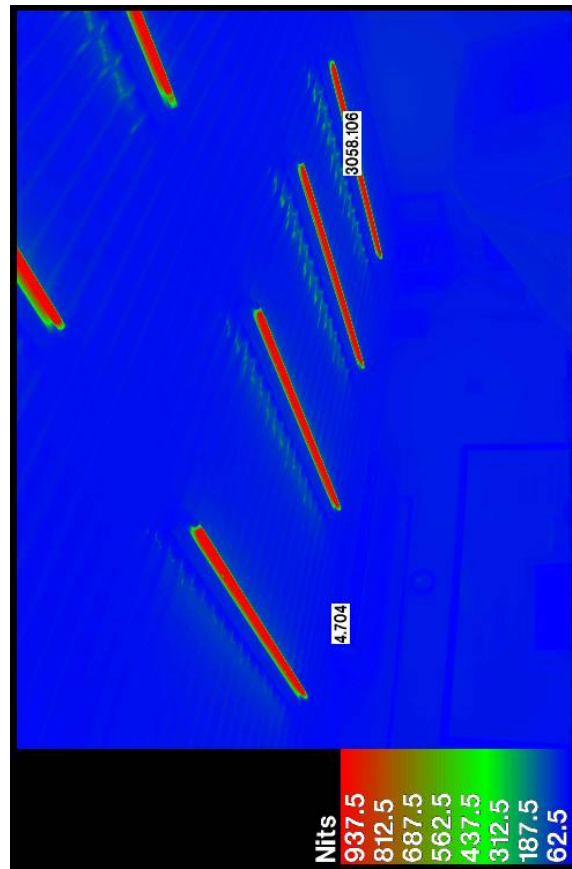


Imagem Falsa Cor – Posto de Trabalho / lâmpada 03

9.1.3 – ESTUDO LABORATÓRIO – LÂMPADA 06

Dados da Curva Laboratório/ Lâmpada06			
Byte	R	G	B
0	-2,967768	-3,054591	-3,452917
1	-2,967768	-3,054591	-3,452917
2	-2,967768	-3,054591	-3,452917
3	-2,967768	-3,054591	-3,452917
4	-2,967768	-3,054591	-3,452917
5	-2,967768	-3,054591	-3,452917
6	-2,967768	-3,054591	-3,452917
7	-2,967768	-3,054591	-3,452917
8	-2,967768	-3,054591	-3,452917
9	-2,967768	-3,054591	-3,452917
10	-2,967768	-3,054591	-3,104699
240	1,175501	1,414197	1,402618
241	1,180114	1,469589	1,416806
242	1,184708	1,52474	1,430934
243	1,189281	1,579651	1,445001
244	1,204774	1,624089	1,462825
245	1,253501	1,626757	1,486386
246	1,302021	1,629413	1,509846
247	1,350335	1,632058	1,533209
248	1,398444	1,634692	1,556474
249	1,465521	1,587645	1,605243
250	1,620275	1,26745	1,728822
251	1,774382	0,948597	1,851891
252	1,92785	0,631076	1,974455
253	2,060681	0,314875	2,096518
254	2,232854	1,26745	2,218083
255	2,232854	1,2673	2,218083

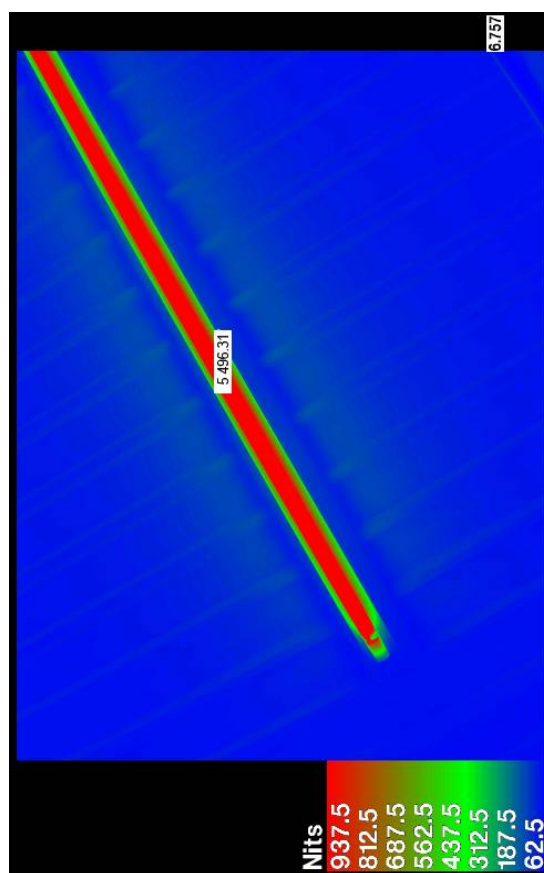


Imagem Falsa Cor – Posto de Trabalho / lâmpada 06

9.1.4 – ESTUDO LABORATÓRIO – LÂMPADA 07

Dados da Curva Laboratório/ Lâmpada07			
Byte	R	G	B
0	-3,42764	-3,281858	-3,442066
1	-3,42764	-3,281858	-3,442066
2	-3,42764	-3,281858	-3,442066
3	-3,42764	-3,281858	-3,442066
4	-3,42764	-3,281858	-3,442066
5	-3,42764	-3,281858	-3,442066
6	-3,42764	-3,281858	-3,442066
7	-3,42764	-3,281858	-3,442066
8	-3,42764	-3,281858	-3,442066
9	-3,42764	-3,281858	-3,442066
10	-3,101447	-3,281858	-3,442066
240	1,38975	1,358892	1,404772
241	1,424754	1,383026	1,420237
242	1,459608	1,407054	1,435635
243	1,494314	1,430978	1,450968
244	1,522029	1,481698	1,496013
245	1,53921	1,614087	1,596983
246	1,556319	1,745912	1,697527
247	1,573356	1,877177	1,797648
248	1,590322	2,007887	1,897348
249	1,641809	2,111623	1,946732
250	1,794439	2,093682	1,828139
251	1,946439	2,075815	1,710038
252	2,097815	2,058023	1,592423
253	2,248571	2,040305	1,475292
254	2,398714	2,022641	1,358864
255	2,398714	2,022641	1,358864

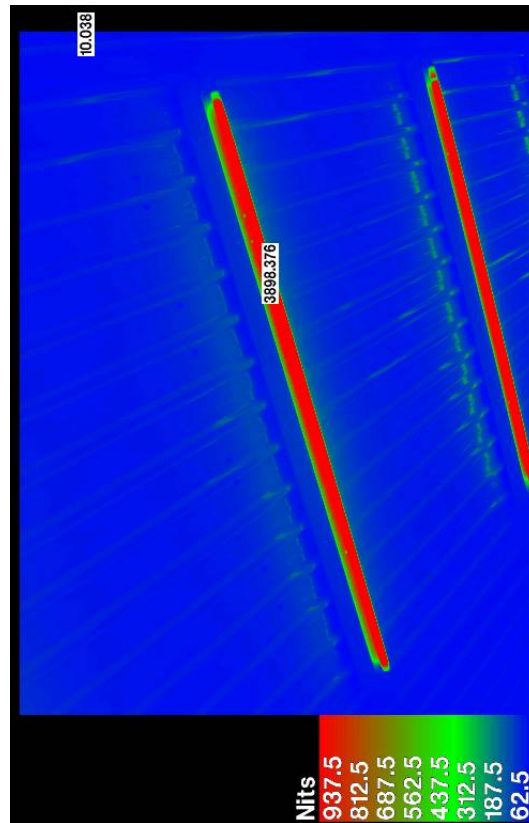


Imagem Falsa Cor – Posto de Trabalho / lâmpada 07

9.1.5 – ESTUDO LABORATÓRIO – LÂMPADA 09

Dados da Curva Laboratório/ Lâmpada09			
Byte	R	G	B
0	-3,142264	-3,063655	-3,20394
1	-3,142264	-3,063655	-3,20394
2	-3,142264	-3,063655	-3,20394
3	-3,142264	-3,063655	-3,20394
4	-3,142264	-3,063655	-3,20394
5	-3,142264	-3,063655	-3,20394
6	-3,142264	-3,063655	-3,20394
7	-3,142264	-3,063655	-3,20394
8	-3,142264	-3,063655	-3,20394
9	-3,142264	-3,063655	-3,20394
10	-3,142264	-3,063655	-3,20394
240	1,248428	1,406647	1,316771
241	1,231815	1,420665	1,338092
242	1,215275	1,435617	1,359322
243	1,198806	1,450504	1,38046
244	1,199349	1,46628	1,395336
245	1,251468	1,486859	1,391364
246	1,303364	1,505353	1,387409
247	1,355039	1,524764	1,383471
248	1,406496	1,544093	1,379549
249	1,458828	1,568204	1,402285
250	1,502777	1,76896	1,547161
251	1,548535	1,948958	1,691432
252	1,594102	2,126205	1,835104
253	1,639481	2,306706	1,97818
254	1,684655	2,484434	2,12064
255	1,684655	2,484434	2,12064

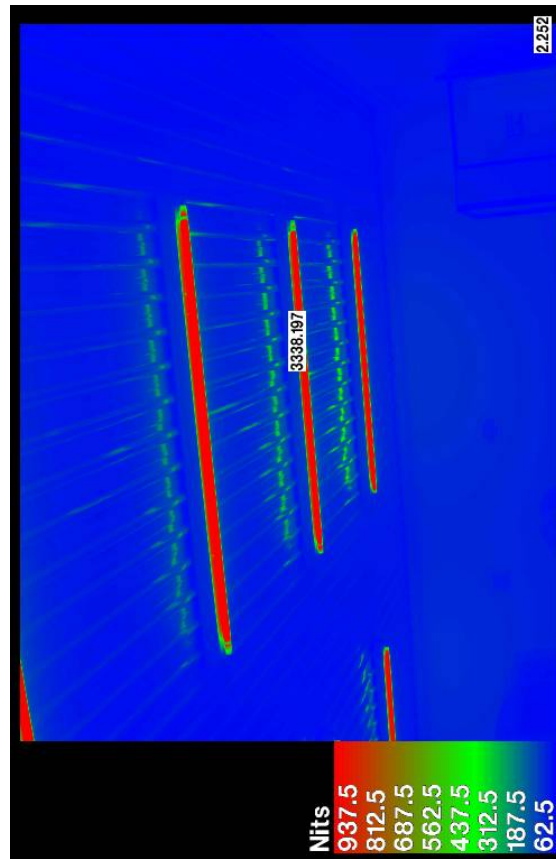


Imagem Falsa Cor – Posto de Trabalho / lâmpada 09