UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

DANIEL MATTOSO ARGOUD

Diretrizes de design de luminárias com tecnologia
LED com ênfase na interação com o usuário em
ambientes hospitalares

São Carlos
2016

DANIEL MATTOSO ARGOUD

Diretrizes de design de luminárias com tecnologia
LED com ênfase na interação com o usuário em
ambientes hospitalares

Tese apresentada ao Instituto
de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de São Paulo
para obtenção do título de
Doutor em Arquitetura.

Área de Concentração:
Arquitetura, Urbanismo e
Tecnologia

Orientadora: Profa. Assoc.
Rosana Maria Caram

(Versão corrigida)

São Carlos
2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto de Arquitetura e Urbanismo
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A693d Argoud, Daniel
Diretrizes de design de luminárias com tecnologia
LED com ênfase na interação com o usuário em
ambientes hospitalares / Daniel Argoud; orientadora
Rosana Maria Caram. -- São Carlos, 2016.
161 p.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura, Urbanismo e
Tecnologia) -- Instituto de Arquitetura e Urbanismo,
Universidade de São Paulo, 2016.

1. Iluminação artificial. 2. Conforto ambiental.
3. Design de luminárias. 4. Tecnologia LED. 5.
Design de produto. I. Caram, Rosana Maria, orient.
II. Título.

Nome: Argoud, Daniel Mattoso

Título: Diretrizes de design de luminárias com tecnologia LED com ênfase na interação com o usuário em ambientes hospitalares

Tese apresentada ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Arquitetura.

Aprovado em: 14/10/2016

Orientador: Profa. Dra. Rosana Maria Caram

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Dra. Rosana Maria Caram

(IAU/USP)

Prof. Dr. Edvaldo Paulo Sichieri
(IAU/USP)

Profa. Dra. Kelen Almeida Dornelles
(IAU/USP)

Prof. Dr. Tomas Queiroz Ferreira Barata
(UNESP)

Prof. Dr. Victor Figueiredo Roriz
(Faculdades Dom Pedro II)

Aprovado

Aprovado

Aprovado

Aprovado

Dedicatória

Esta tese representa o final de um ciclo de dez anos de trabalho e estudos, neste período algumas pessoas foram fundamentais para encontrar forças e seguir em frente. Dedico esta tese aos meus Pais Lucien e Dalva, pelo exemplo de companheirismo que sempre demonstraram, à minha irmã Lara, pelas palavras de incentivo, ao meu irmão Patrick, pela sua lição de vida, à minha esposa Ana Rita, pelo incentivo e dedicação constante e à minha filha Luana pela alegria que representa em minha vida.

Agradecimentos

Agradeço ao programa de Pós-graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP de São Carlos pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa.

Agradeço à minha orientadora Profa. Dra. Rosana Maria Caram pela paciência, dedicação e compreensão do meu processo criativo.

Agradeço aos participantes da banca de qualificação, Prof. Dr. Eduvaldo Paulo Sichieri e Prof. Dr. Tomas Queiroz Ferreira Barata, pelas ricas contribuições para a finalização deste trabalho.

Agradeço ao programa permanente de capacitação docente da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, pelo apoio em parte deste período de estudos.

Agradeço finalmente aos colegas do curso de Arquitetura e Urbanismo da PUC Minas – Poços de Caldas, pelas palavras de apoio e incentivo durante a produção desta tese.

(TROCHE, 2014)

Resumo

ARGOUD, D. M. **Diretrizes de design de luminárias com tecnologia LED com ênfase na interação com o usuário em ambientes hospitalares.** 2016. Tese (Doutorado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. 161 f.

O setor de iluminação artificial passa por uma mudança de padrão tecnológico com a implantação da tecnologia LED, que permite novas abordagens quanto a interatividade e qualidade da luz nos ambientes internos. Em ambientes hospitalares, o conforto visual está intimamente ligado a recuperação do paciente e bem-estar dos demais usuários, visto que a qualidade da luz pode interferir de forma direta em reações fisiológicas ligadas ao ciclo circadiano. O presente trabalho apresenta diretrizes de design de luminárias, com ênfase na interação e necessidades dos pacientes. Para tanto, considerou as possibilidades inovadoras e interativas da tecnologia LED e sua relação com o ciclo-circadiano, especificamente na unidade de internação. Para gerar as diretrizes de design foi utilizado uma variação do método Desdobramento da Função Qualidade (QFD), que tem como premissa o atendimento às necessidades dos usuários. As diretrizes geradas pela matriz QFD foram aplicadas em um modelo virtual, utilizando o processo de modelagem da informação da construção conhecido como BIM (*Building Information Modeling*), com a finalidade de avaliar os resultados obtidos. A utilização do método QFD em conjunto com a tecnologia BIM se mostraram eficientes para a criação de projetos de iluminação, pois apresentou como resultado final um conjunto de imagens qualitativas e informações quantitativas, permitindo desenvolver diretrizes que podem ser manipuladas, de acordo com as necessidades observadas pelo designer responsável pelo projeto de iluminação. Os principais resultados obtidos estabelecem que na unidade de internação hospitalar a iluminação artificial deve contemplar as seguintes características: permitir fácil interatividade, oferecer localização temporal (ciclo circadiano), permitir direcionamento da luz, reduzir a monotonia do ambiente e transmitir sensação de segurança.

Palavras-chave: 1. Iluminação artificial. 2. Conforto ambiental. 3. Design de luminárias. 4. Tecnologia LED. 5. Design de produto.

Abstract

Argoud, D. M. **Design guidelines fixtures with LED technology with an emphasis on user interaction in hospital settings.** 2016. Thesis - Institute of Architecture and Urbanism, University of São Paulo, São Carlos, 2016. 161 p.

The artificial lighting industry undergoes a change of technological standards with the implementation of LED technology, which allows new approaches to interactivity and quality of light in indoor environments. In hospital settings, visual comfort is closely linked to patient recovery and well-being of other users, since the quality of light can interfere directly in physiological reactions linked to the circadian cycle. This work developed luminaire design guidelines, with emphasis on interaction and patient needs. Therefore, considered innovative and interactive possibilities of LED technology and its relationship with the cycle-circadian, specifically in the inpatient unit. To generate design guidelines was used a variation of Quality Function (QFD) method, which is premised on meeting the user's needs. The guidelines generated by the QFD matrix were applied to a virtual model using the modeling process of building information known as BIM (Building Information Modeling), in order to evaluate the results obtained. The use of QFD method along with BIM proved efficient for creating lighting designs as it result in a set of qualitative images and quantitative information, allowing to develop guidelines that can be manipulated according to the needs observed by designer responsible for lighting design. The main results establish that at the hospitalization unit artificial lighting shall include the following features: allow easy interactivity, offer temporal location (circadian cycle), to allow light guidance, reducing the monotony of environment and transmit feeling of security.

Keywords: 1. artificial lighting. 2. Environmental comfort. 3. Design fixtures. 4. LED technology. 5. Product design.

Lista de Figuras

Figura 1- Estrutura da Tese	24
Figura 2- Plataforma e Carro conceitual VSS FIAT.....	26
Figura 3 - Croqui e imagem do Museu Georges Pompidou	26
Figura 4 - Diagrama da tríade vitruviana.....	27
Figura 5 - Fluxo de Diretores, professores e mestres na Bauhaus durante 1919 – 1933.	30
Figura 6 - Estrutura curricular da Bauhaus.....	31
Figura 7 - Luminária PH Lamp.	35
Figura 8 – Quadro sequencial de imagens do documentário Philosophy of Light - PH LAMP.....	38
Figura 9 - Quadro sequencial de imagens do documentário Philosophy of Light - PH LAMP (continuação)	39
Figura 10 - Quadro sequencial de imagens do documentário Philosophy of Light - PH LAMP (continuação)	40
Figura 11 - Resumo da cronologia do desenvolvimento da tecnologia LED.	45
Figura 12 - Sequencia da evolução da forma do diodo emissor de luz.....	46
Figura 13 - Esquema da junção p-n em um LED.....	46
Figura 14 - Estrutura do Led de baixa potência - indicadores.....	47
Figura 15 - Diagrama da junção p-n em um LED SMD.	48
Figura 16 – Sistema de luz branca por composição RGB	50
Figura 17 - Sistema de luz branca através da fotoluminescência.	50
Figura 18 - Diagrama de construção de um OLED.....	51
Figura 19 - Filme de OLED.	51
Figura 20 - Conjunto de características que fazem parte do projeto de uma luminária.	52
Figura 21- Diagrama de uma luminária com os sistemas integrados	52
Figura 22 - Esquema do circuito Musicolour e equipamentos de Gordon Pask.	55
Figura 23 - Edifício e Interface em forma de quebra cabeça - arte eletrônica.	59
Figura 24 - Museu do Louvre em Lens, França. Painéis de vidro e integração com a paisagem.....	60
Figura 25 - Iluminação interna Integração entre luz natural e artificial.	61
Figura 26 - Iluminação natural e artificial no interior do museu.	62
Figura 27 - Luminária OPTEC.....	62
Figura 28 - Variações de luminárias da família OPTEC- ERCO.....	63
Figura 29 - Conjunto de lentes colimadoras e de distribuição de luz.	63
Figura 30 - Relação entre Temperatura corporal, melatonina e cortisona durante período de 48 horas.....	65
Figura 31 - Condições de exposição a luz: sem filtro, com filtro laranja e com LED azul.....	66
Figura 32 - Ciclo circadiano e distribuição da temperatura de cor ao longo do dia.	67
Figura 33 - Relação entre produto e usuário.	75
Figura 34 - As oito etapas do planejamento da qualidade.	76
Figura 35 - Fases da implantação do desenvolvimento integrado do produto na empresa LI... ..	79
Figura 36 - Quadro de brainstorming.....	84
Figura 37 - Matriz da casa qualidade do QFD	94
Figura 38 - Exemplo da Matriz da casa qualidade para a melhoria da porta de um carro – QFD.	95
Figura 39 - Sequência de atividades para implementação do método QFD.....	96
Figura 40 - Exemplo básico de configuração entre Famílias, Tipos e Instâncias no programa Revit.	110
Figura 41 - Exemplo de organização possível para parâmetros em Famílias, Tipos e Instâncias de Luminárias.	111
Figura 42 – Tipologias de unidades de internação. A,B,C,D.....	112
Figura 43 - Exemplo de andar tipo para 20 leitos e corredor interno.....	113

Figura 44 - Unidade de internação do tipo A. Unidade de internação em hospital particular na cidade de São Carlos.	114
Figura 45 - Iluminação de teto e iluminação de parede.	114
Figura 46 - Iluminação de parede na unidade de internação.	115
Figura 47 - - Iluminação de teto com divisória parcialmente aberta.	115
Figura 48 - Planta da unidade de internação.	116
Figura 49 - Perspectiva isométrica da unidade de internação.	116
Figura 50 - Exemplo de utilização de cores falsas para representação de níveis de iluminância no ambiente.	117
Figura 51 - - Modelo da unidade de Internação sem cobertura e com representação da trajetória aparente do sol.	118
Figura 52 - Simulação de iluminação natural (solstício de inverno 13h) com separação entre leitos.	118
Figura 53 - Simulação Iluminação natural (solstício de inverno 13h) sem separação entre leitos.	119
Figura 54a - Simulação de iluminação natural (solstício de inverno 13h) com separação entre leitos e cores falsas.	119
Figura 54b - Simulação de iluminação natural (solstício de inverno 13h) sem separação entre leitos e cores falsas.	120
Figura 55 - Modelagem da luminária de teto (Imagem extraída diretamente do programa Revit)	121
Figura 56 - REVIT. Janela de configuração de parâmetros de Família da luminária de teto.	122
Figura 57 - Revit. Janela de configurações de parâmetros da luminária de parede existente.	123
Figura 58 - Modelo REVIT com as luminárias e exibição da distribuição fotométrica de cada luminária, exibição com linhas ocultas.	124
Figura 59- Imagem foto realista gerada pelo REVIT.	125
Figura 60 – Renderização por iluminância através de Imagem de cores falsas. REVIT.	125
Figura 61 - Imagem foto realista - iluminação exclusiva da luminária de teto.	126
Figura 62 - - Imagem de cores falsas - iluminação exclusiva das luminárias de teto.	127
Figura 63 - Imagem foto realista - Iluminação exclusiva da luminária de parede.	127
Figura 64 - Imagem de cores falsas - Iluminação exclusiva da luminária de parede.	128
Figura 65 - Croquis de estudo – Luminária “Circadian” - LEDs com diferentes temperaturas de cor.	129
Figura 66 - Corte da luminária "Circadian" com a distribuição fotométrica dos LEDs.	131
Figura 67 - Imagem e dimensões do LED CREE - XP-G.	133
Figura 68 - Lente colimadora Ledil C14607.	135
Figura 69 - Configuração dos parâmetros de fotometria para a lente colimadora Ledil C14607.	136
Figura 70 - Lente colimadora Ledil CS 14597.	137
Figura 71 - Configuração dos parâmetros de fotometria para a lente colimadora Ledil CS14597.	138
Figura 72 –Renderização foto realista- Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian 2700K.	139
Figura 73 - Renderização com “cores falsas” iluminância. Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian 2700K.	139
Figura 74 – Renderização foto realista - Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian 4000K.	140
Figura 75 - Renderização com “cores falsas” iluminância. Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian 4000K.	141
Figura 76 – Renderização foto realista - Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian 6500K.	142

Figura 77 - Renderização com “cores falsas” iluminância. Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian 6500K.	142
Figura 78 - Renderização foto realista - Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian – Todos grupos de LEDs acionados.	143
Figura 79 - Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian. “Cores Falsas” e todos grupos de LEDs acionados.....	144
Figura 80 - Luminária Light Insight N.3.....	153
Figura 81 Luminária Light Insight N.5.....	154
Figura 82 – Luminária Light Insight N.7.....	154
Figura 83 – Luminária Light Insight N.12.....	155
Figura 84 – Luminária Light Insight N.14.....	155
Figura 85 – Luminária Light Insight N.4.....	156
Figura 86 – Luminária Light Insight N.15.....	156

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Relação entre temperatura de junção e horas de funcionamento.....	48
Tabela 2 - Matriz QFD. Correlação entre Características da qualidade e qualidade exigida. ...	103
Tabela 3- Variação da Matriz QFD com a possibilidade de definir pesos para cada grupo.	104
Tabela 4 - Variação da Matriz QFD com ênfase para o grupo de usuários Pacientes.....	105
Tabela 5 - Variação da Matriz QFD - Características da qualidade e ênfase no grupo de pacientes.	107

Lista de Quadros

Quadro 1 - Correspondência entre o comprimento de onda da luz, cor e material semicondutor do LED.....	49
Quadro 2 - Quadro comparativo sobre o grau de interatividade entre a tecnologia LED e a convencional.	57
Quadro 3 - Índice de Iluminância para área Locais de Assistência Médica.....	70
Quadro 4 - Exemplos de métodos e técnicas utilizadas no desenvolvimento de produtos.	77
Quadro 5 - Tabela de direcionadores de mercado (Características existentes e futuras).....	82
Quadro 6 - Dimensões de desempenho do produto.	84
Quadro 7 - Atributos de produto.	85
Quadro 8 - Análise competitiva do produto tipo luminária de mesa.	86
Quadro 9 - - Análise competitiva do produto tipo luminária abajur.	87
Quadro 10 - Análise competitiva do produto tipo luminária de chão.	87
Quadro 11 - Atributos Priorizados.	88
Quadro 12 - Estrutura do quadro de planejamento da plataforma de produtos.	88
Quadro 13 - Linhas de Mercado.	89
Quadro 14 - - Quadro de planejamento - Plataforma de novos produtos.....	91
Quadro 15 - Organização do conjunto de necessidades dos usuários (ambiente hospitalar)..	100
Quadro 16 - Conjunto de características objetivas e mensuráveis aplicadas ao projeto da luminária.	101
Quadro 17 - Montagem de tabela de especificações de temperatura de cor, Fluxo luminoso e índice de reprodução de cor do LED CREE - XP-G	134

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABILUX	Associação Brasileira de Iluminação
BIM	Building Information Modeling
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
DFM/DFA	Design for Manufacturing / Design for Assembly
DOE	Design of Experiments
FMEA	Failure modes and effects analysis
FTA	Fault tree analysis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LED	Lighting Emitting Diode
OLED	Organic Lighting Emitting Diode
PCB	Printed Circuit Board
QFD	Quality Function Deployment
RGB	Red, Green, Blue
SMD	Dispositivo de montagem superficial
VE/VA	Value engineering / Value analysis
VSS	Vettura Sperimentale a Sottosistemi

Sumário

<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO.....</u>	<u>17</u>
1.1	OBJETIVO	20
1.2	JUSTIFICATIVA	20
1.3	METODOLOGIA E ESTRUTURA DA TESE	21
<u>2</u>	<u>CONCEITOS APLICADOS AO DESIGN</u>	<u>25</u>
2.1	VITRUVIUS, WERKBUND E BAUHAUS	26
2.2	DESIGN AUTORAL - POUL HENNINGSEN	34
2.2.1	VIDA DE POUL HENNINGSEN.....	34
<u>3</u>	<u>TECNOLOGIA LED E ILUMINAÇÃO PARA AMBIENTE HOSPITALAR.....</u>	<u>42</u>
3.1	TECNOLOGIA DE ILUMINAÇÃO LED – UMA BREVE REVISÃO	42
3.2	PRINCÍPIOS DE GERAÇÃO DE FLUXO LUMINOSO PELA TECNOLOGIA LED	46
3.3	CORRELAÇÃO ENTRE DOMÓTICA E FLEXIBILIDADE PARA CRIAÇÃO DE CENAS ATRAVÉS DA LUZ ARTIFICIAL 54	
3.4	TECNOLOGIA LED DE ILUMINAÇÃO E A DOMÓTICA – SISTEMAS CIBERNÉTICOS E PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO	55
3.5	INFLUÊNCIA DA LUZ E COMPRIMENTO DE ONDA SOBRE A PERCEPÇÃO E SAÚDE DO USUÁRIO	64
3.6	ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM AMBIENTES HOSPITALARES	68
<u>4</u>	<u>CONCEITOS DO PLANEJAMENTO DA QUALIDADE</u>	<u>74</u>
4.1	APLICAÇÃO DA TEORIA DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTO EM EXPERIÊNCIAS ANTERIORES 78	
4.1.1	INCORPORAÇÃO DO MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DO PRODUTO	78
4.1.2	FASE 1 – DIRECIONADORES ESTRATÉGICOS DE MERCADO E NEGÓCIO	80
4.1.3	FASE 2 – CARACTERÍSTICAS E COMPETITIVIDADE DO PRODUTO	83
4.1.4	FASE 3 – PLANEJAMENTO DA PLATAFORMA DE NOVOS PRODUTOS	88
4.1.5	REFLEXÃO SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS PELA APLICAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE NOVOS PRODUTOS	92
<u>5</u>	<u>METODOLOGIA QFD.....</u>	<u>93</u>
5.1	APLICAÇÃO DO MÉTODO QFD PARA DIRETRIZES DE LUMINÁRIAS EM AMBIENTE HOSPITALAR.....	95
5.2	DIRETRIZES DE DESIGN GERADAS PELA MATRIZ QFD	99
<u>6</u>	<u>DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE LUMINÁRIA BASEADA EM DIRETRIZES QFD E EM MODELO PARAMÉTRICO.....</u>	<u>109</u>
6.1	INTRODUÇÃO AO AMBIENTE PARAMÉTRICO.....	109
6.1.1	FASE 1 – INCORPORANDO O BIM COMO SISTEMA DE MODELAGEM VIRTUAL	109

6.1.2	FASE 2 – ANÁLISE DO AMBIENTE DA UNIDADE DE INTERNAÇÃO.....	112
6.1.3	FASE 3 - CONSTRUÇÃO DO MODELO VIRTUAL	115
6.1.4	- DESENVOLVIMENTO DA LUMINÁRIA COM TECNOLOGIA LED UTILIZANDO COMO REFERÊNCIA AS DIRETRIZES DE DESIGN OBTIDAS PELO MÉTODO QFD	129
6.1.5	SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO UTILIZANDO A LUMINÁRIA “CIRCADIAN”	138
7	<u>CONCLUSÕES</u>	<u>145</u>
	<u>REFERÊNCIAS.....</u>	<u>147</u>
	<u>APÊNDICE.....</u>	<u>153</u>

1 INTRODUÇÃO

Esta tese parte da hipótese de que é necessário requalificar as luminárias em ambientes hospitalares, tendo em vista a grande evolução da tecnologia de iluminação já disponível no mercado, e sua capacidade de trazer benefícios fisiológicos e perceptivos para os usuários destes ambientes.

Para tanto, foram elaboradas diretrizes de design que contribuem para o desenvolvimento de luminárias que levem em consideração o grande número de variáveis envolvidas em projetos de iluminação em ambientes hospitalares, dentre as quais, destacam-se a expectativa do comportamento da luz quanto ao fluxo luminoso, direcionalidade, temperatura de cor, interatividade, economia de energia, índice de reprodução de cor, ofuscamento, distribuição da luz no ambiente, manutenção, impacto ambiental, entre outras.

A tese abordou a necessidade exigida por diferentes grupos de usuários (pacientes, equipe médica e enfermeiros, visitantes e funcionários), mas adotou o grupo de pacientes como o principal, além de apresentar a importância da aplicação da tecnologia de diodos emissores de luz (*LED – Light Emitting Diode*) como forma de atender o nível de complexidade de tais projetos.

A partir da experiência do autor em desenvolvimento de produtos inovadores, buscou-se explorar o método de Desdobramento da Função da Qualidade (QFD), com o propósito de tornar clara as especificações e demandas oriundas dos usuários do ambiente hospitalar com ênfase nos pacientes.

O ambiente hospitalar, e em especial a unidade de internação, foi adotada como referência, pois a especificação das luminárias e a qualidade do projeto de iluminação influi de forma direta para o bem-estar dos usuários envolvidos. No entanto, o método utilizado poderá ser replicado para outros ambientes, onde a luz artificial atua de forma relevante.

A relação entre a iluminação natural e a cronobiologia¹ é um tema bastante explorado pela área de medicina e conforto ambiental, destacando-se aspectos

¹ Cronobiologia: “A cronobiologia é uma disciplina científica que se caracteriza como um ramo da ciência que estuda a organização temporal dos seres vivos. Como organização temporal compreendemos a capacidade dos seres vivos de expressarem seus comportamentos e controlarem sua fisiologia de uma forma recorrente e periódica.” (ARAUJO e MARQUES, 2002, p. 96)

fisiológicos e a relação entre a variação da quantidade e qualidade² da luz ao longo do dia.

Atualmente, o entendimento do período circadiano³ dentro da cronobiologia é fundamental e pode ser ampliado com a ideia de marcadores temporais de interação social. A partir da década de 60, o termo mais abrangente conhecido como *Zietgeber*⁴ define melhor as relações de marcadores temporais entre a luz e outros fatores psicológicos e de ritmo social, que devem estar presentes no momento de desenvolvimento de projetos de iluminação, bem como as luminárias envolvidas.

Em ambientes cuja luz natural é deficiente, devido às questões programáticas do projeto arquitetônico, como é o caso de ambientes hospitalares, ou por questões climáticas em ambientes extremos, o uso da iluminação artificial é fundamental, mas deve apresentar características específicas para cobrir a falta da luz natural e promover as alterações biológicas e psicológicas tão necessárias para o bem-estar.

A exposição de usuários a fontes de luz com características inadequadas e constantes por longos períodos é comprovadamente prejudicial à saúde, conforme apresentam estudos e avaliações pós-ocupação (ASCHOF, 1960; FIGUEIRO, 2013).

Ao mesmo tempo, novas tecnologias de iluminação vem enriquecendo a relação entre o projeto de iluminação e sua relação com o usuário, sistemas domóticos oriundos da cibernética permitem interação e controle sofisticado sobre a luz e seus efeitos (ZAHABI e SHAH, 2016).

Neste sentido, a complexidade de um projeto de iluminação e de seus componentes aumentou consideravelmente, pois novos condicionantes devem estar presentes desde os primeiros traços do projeto luminotécnico e, por consequência, na especificação das luminárias.

As diretrizes de design propostas por esta tese levaram em consideração as necessidades latentes dos grupos de usuários dentro do ambiente hospitalar

² Qualidade da luz em termos de temperatura de cor, índice de reprodução de cor, além da uniformidade e eliminação de pontos de ofuscamento.

³ Período circadiano ou ciclo circadiano ou ritmo circadiano: “O período circadiano (tau - t) tem sido definido como a duração do ciclo de um ritmo circadiano quando o organismo encontra-se isolado de pistas ambientais temporais, ou seja, quando se encontra em condições de livre-curso” (MARTYNHAK, FLÁVIO AUGUSTINO BACK e FERNANDO LOUZADA, 2012, p. 58).

⁴ Zeitgeber – Termo em alemão que significa cronômetro ou sincronizador.

e em especial na unidade de internação. Atualmente, o projeto luminotécnico e luminárias utilizados para este ambiente é composto por grupos de luminárias que, ao mesmo tempo que iluminam, provocam desconforto ao grupo de usuários principal, os pacientes. Este fato é observado por pesquisas de avaliação pós-ocupação realizadas no Brasil, que apontam a iluminação excessiva como uma das causas principais de desconforto em pacientes em unidades de internação (COSTA e CEOLIM, 2013).

Utilizou-se como referência o método de Desdobramento da Função Qualidade, conhecido como QFD, para gerar as diretrizes que devem nortear o projeto de luminárias para o ambiente hospitalar. Este método leva em consideração as necessidades do usuário e identifica características fundamentais para a garantia da qualidade desde o processo de desenvolvimento até o produto final (CHENG, SCAPIN *et al.*, 1995; AKAO, 1996).

A partir do QFD gerou-se um conjunto de tabelas que apontam as necessidades latentes dos usuários, que devem ser observadas no momento de criação de novos projetos de iluminação, bem como as luminárias envolvidas.

Adotou-se a tecnologia LED como tecnologia de iluminação, tal escolha se justifica pelas inúmeras vantagens, dentre as quais: a enorme capacidade de controle de temperatura de cor da luz branca; capacidade de controle digital através de protocolos de comunicação; baixo custo ambiental e baixa manutenção (ZAKAUSKAS, SHUR e GASKA, 2002).

Como forma de apresentar os resultados obtidos, foram realizadas simulações de iluminação artificial em uma unidade de internação virtual, utilizando como referência a situação de iluminação atual em um hospital particular na cidade de São Carlos e posteriormente uma proposta de luminária com a tecnologia LED gerada a partir dos dados obtidos pelo método QFD.

O processo de criação da luminária transformou os dados obtidos pelo método QFD em parâmetros de design da luminária, através do processo de modelagem da informação da construção, conhecido como BIM (*Building Information Modeling*) (VANDEZANDE, KRYGIEL e READ, 2015).

O produto final deste processo de modelagem foi a criação de uma luminária parametrizada que poderá ser compartilhada por diferentes usuários do programa REVIT desenvolvido pela empresa de softwares Autodesk.

O resultado foi a possibilidade de criar diferentes cenários de luz a partir de uma única luminária, facilitando a instalação e a manutenção e adequando de forma interativa as necessidades dos grupos de usuários através de sistemas de controle, que podem ser melhor explorados em trabalhos posteriores.

Dentro do contexto do design de luminárias no Brasil, a tese contribui no sentido de revelar a importância em se adotar ferramentas e métodos de design como procedimento para criação de produtos inovadores, tendo em vista que, conforme será apresentado no conteúdo desta tese, segundo o último levantamento estratégico do setor de iluminação no Brasil (ABILUX, 2005) existe pouca participação de designers qualificados na elaboração de projetos de luminárias na indústria de iluminação brasileira.

1.1 OBJETIVO

O objetivo desta tese é desenvolver diretrizes de design de luminárias com ênfase na interação com o usuário em ambientes hospitalares, usando como ferramenta de desenvolvimento de produto a metodologia do Desdobramento da Função Qualidade (QFD). Alinhado a este objetivo, adotou-se a tecnologia LED como forma de demonstrar o potencial inovador da mesma, principalmente em projetos luminotécnicos que exigem maior grau de complexidade. Como forma de demonstração dos resultados obtidos adotou-se o sistema de Modelagem da Informação na Construção (BIM), como ferramenta para simular os resultados fornecidos pelo método QFD.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os sistemas de Iluminação em ambientes hospitalares são complexos por sua natureza, pois devem suprir as expectativas distintas para diferentes tipos de usuários. Médicos, enfermeiros, pacientes, visitantes e funcionários, todos possuem necessidades diferentes, porém, compartilham na maior parte do tempo, os mesmos ambientes. Por exemplo, a conveniência de luz aconchegante e de baixa intensidade para um paciente em situação de recuperação em uma unidade internação e a necessidade oposta do médico de plantão, que possui a capacidade de, com a luz adequada, diagnosticar de forma

preliminar quadros adversos da quantidade de hemoglobina no sangue, apenas pela análise visual da coloração da pele do paciente. Ambas necessidades coexistem e são legítimas para o pronto reestabelecimento da saúde do paciente, porém necessitam de configurações de luz diferentes.

Sistemas de iluminação convencionais, que possuem pouca ou nenhuma flexibilidade, não permitem a convivência adequada de diferentes necessidades. Por outro lado, sistemas inteligentes podem contribuir para a melhora do quadro clínico do paciente ao simular a variação da temperatura de cor da luz branca ao longo do dia, tal como acontece com a iluminação natural e ao mesmo tempo, caso seja necessário, se ajustar às necessidades de médicos e enfermeiros.

Neste sentido, justifica-se o desenvolvimento de luminárias flexíveis, isto é, luminárias que permitam variação de fluxo luminoso, temperatura de cor e direcionalidade da luz, promovendo iluminação adequada, seja simulando o ciclo circadiano, seja se adaptando ao momento e reagindo conforme o grupo de pessoas presentes e ao mesmo tempo contribuindo para o bem-estar de todos grupos de pessoas usuárias do ambiente hospitalar.

1.3 METODOLOGIA E ESTRUTURA DA TESE

Esta tese foi motivada pela percepção do autor de que existe a necessidade de melhoria da qualidade de iluminação em ambientes hospitalares, e por acreditar que, para alcançar esta meta, se faz necessária a utilização de métodos de design adequados, que permitam a formação de diretrizes para auxiliar no processo de criação, além de entender que é fundamental a substituição da tecnologia obsoleta e pouco interativa empregada hoje em dia, por sistemas de iluminação amigáveis e interativos.

A figura 1 apresenta a estrutura da tese. O trabalho se desenvolveu a partir da introdução trazendo os objetivos, justificativa e metodologia.

Em seguida abre-se três vertentes. A primeira vertente (capítulo 2) aborda o conceito de design empregado ao longo desta tese, oferecendo um panorama, desde o conceito primitivo vitruviano, passando pela *Bauhaus*, explorando o conceito de *design thinking* e finalmente explorando a obra autoral do light designer Poul Henningsen. A obra deste designer é retratada através do documentário *PH The Philosophy of Light (1963)*, com o objetivo de extrair as

qualidades essenciais vislumbradas pelo designer para a criação de luminárias que levam em consideração a qualidade da luz, a tecnologia da época e a própria linguagem do documentário como processo criativo.

A segunda vertente (capítulo 3) aborda a origem e evolução da tecnologia LED, assim como suas implicações sobre o design de luminárias inovadoras e sua relação com a percepção e saúde do usuário, concentrando-se principalmente nas questões da tecnologia e da relação entre a luz e o ciclo circadiano, revelando sua importância através de artigos sobre o tema.

A terceira vertente (capítulos 4 e 5) conceitua design como um processo oriundo da engenharia de produção, registra a experiência do autor na aplicação do método de gestão do desenvolvimento integrado de produto e estabelece as diretrizes de design para luminárias com tecnologia LED através da metodologia do Desdobramento da Função Qualidade (QFD).

As três vertentes se integram no capítulo 6, pois desenvolve-se a partir do repertório acumulado, a proposta de um modelo de luminária conceitual, batizada de “Circadian”, gerada a partir da aplicação do método QFD, utilizando o sistema BIM para aplicação das diretrizes no ambiente hospitalar. Ao final deste capítulo, apresentam-se resultados de simulações em ambiente virtual adotando-se algumas situações e cenas de iluminação em uma unidade de internação.

Finalmente, no capítulo 7, expõem-se as conclusões, limites e possibilidades de continuação do trabalho.

O processo de criação apresentado nesta tese apresenta-se como uma relação entre temas que parecem distantes, mas que ao aproximá-los estabelece pontes nas quais é possível trilhar novos caminhos, tal processo envolve a busca de repertório e aplicação de experiências anteriores. A liberdade de criação, neste caso, atrela-se a uma responsabilidade objetiva, pois a melhoria da qualidade de vida de usuários em situação de fragilidade em ambiente hospitalar é o objetivo que se busca alcançar. Segundo Löbach (2001),

o designer industrial pode ser considerado como produtor de ideias, recolhendo informações e utilizando-as na solução de problemas que lhe são apresentados. Além de sua capacidade intelectual, i.e., capacidade de reunir informações e utilizá-las em diversas situações, ele deve possuir capacidade criativa. A criatividade do designer industrial se manifesta quando, baseando-se em seus conhecimentos

e experiências, ele for capaz de associar determinadas informações com um problema, estabelecendo novas relações entre elas. Para isto é necessário observar fatos conhecidos sob pontos de vista, abandonando-se a segurança daquilo que é conhecido e comprovado, por uma postura crítica em busca de novas respostas a antigos problemas (LÖBACH, 2001, p. 139).

A revisão bibliográfica abordou diferentes temas, incluindo artigos científicos sobre fisiologia do ciclo circadiano e Zeitgeber procurando associar o conhecimento na área médica com as possibilidades de contribuir com novas tecnologias de iluminação para o bem-estar, principalmente do paciente.

Figura 1- Estrutura da Tese

Fonte: Autor

2 CONCEITOS APLICADOS AO DESIGN

O conceito de design pode sofrer variações conforme a área de conhecimento, nesse sentido se faz necessário uma breve introdução ao tema, para estabelecer sobre qual conceito de design esta tese abordará.

O conhecimento popular sobre o conceito de design pode representar a qualidade superior de um produto. O termo design indicaria, por exemplo, que o consumidor identificou em determinado produto qualidades que podem ser subjetivas ou objetivas, tais como: status e beleza, ou ergonomia e durabilidade respectivamente. No entanto, nesta tese o conceito de design é entendido como um processo de criação e não a forma final do produto, aproximando-se da estrutura de pensamento ligada ao projeto.

“Design Industrial: Processo de adaptação dos produtos de uso, fabricados industrialmente, às necessidades físicas e psíquicas dos usuários ou grupos de usuários” (LÖBACH, 2001, p. 22).

Na área de design industrial o entendimento sobre o conceito de criação está próximo ao conceito de projeto oriundo da arquitetura. Por esse motivo, não é difícil associar a formação de arquiteto com a de designer e em alguns casos arquitetos desenvolvem excelentes projetos de design, como é o caso do arquiteto italiano Renzo Piano, que na década 70 desenvolveu inúmeros trabalhos para a indústria automotiva Italiana, destacando-se o conceito de subsistemas aplicado ao projeto VSS (*Vettura Sperimentale a Sottosistemi* ou Carro Experimental com Subsistemas) da FIAT (LEWIN e BORROFF, 2010), ilustrado na figura 2.

Neste projeto, o arquiteto entendeu que era possível projetar o chassi do carro como uma plataforma onde subsistemas poderiam se anexar gerando a combinação para vários modelos diferentes. Neste exemplo, fica claro que o mais importante não era a forma final do produto, mas sim o sistema que permitia múltiplas configurações. Tal conceito também pode ser percebido no projeto do museu George Pompidou (1971-77) em Paris (figura 3). Neste caso, a estrutura do edifício serve de “chassi” para o conjunto de subsistemas que dão funcionalidade e vida ao museu. Sistemas elétricos, hidráulicos, paredes, vedações, estruturas móveis, funcionam como subsistemas passíveis de diferentes configurações (RENZO PIANO BUILDING WORKSHOP, 2015).

Figura 2- Plataforma e Carro conceitual VSS FIAT

Fonte: (LEWIN e BORROFF, 2010)

Figura 3 - Croqui e imagem do Museu Georges Pompidou

Fonte: (PIANO, 2014)

Outra questão fundamental, e mais recente, é a incorporação das necessidades do usuário durante o processo de criação e a capacidade de interatividade do indivíduo com o objeto fruto deste processo.

Nesta tese, o ambiente hospitalar, mais especificamente a unidade de internação, foi utilizada como referência para definir de forma precisa as necessidades do usuário, e dessa forma, tornar o produto e sua aplicação mais próxima e interativa possível. A seção a seguir apresenta, de forma sucinta, alguns momentos relevantes sobre a evolução do conceito de design e seu contexto histórico.

2.1 VITRUVIUS, WERKBUND E BAUHAUS

Resgatando a história sobre a evolução do conceito de design como diretrizes de projeto, encontra-se como primeiro documento escrito os “*Dez livros sobre construção*” de Vitruvius. Nele, o arquiteto romano aponta os fundamentos

pelos quais uma construção deve ser erigida. As categorias primárias abordadas por Vitruvius são: *Firmitas* (solidez), *Utilitas* (função) e *Venustas* (beleza). Segundo sua abordagem, cada uma destas categorias possui conteúdos próprios, mas que a boa construção deveria incorporá-las de forma harmônica (figura 4).

Figura 4 - Diagrama da tríade vitruviana

Fonte: Autor

Este antigo conceito de Vitruvius, apesar de simples, traz em sua essência a base pela qual todo design deveria ser concebido até meados do século XIX, levando em consideração os múltiplos desdobramentos necessários para cada uma destas categorias, tanto para uma edificação, como para um objeto. Apenas como exemplo, considera-se a categoria *Firmitas* em disciplinas como o sistema construtivo, materiais, isostática etc. Quanto à categoria *Utilitas*, desdobra-se em programa de necessidades ou função e, por último, entende-se *Venustas* como a estética oriunda da cultura e da sociedade na qual o produto ou construção seria inserida (EVERS, 2003).

Ao longo do tempo, o conceito vitruviano foi aplicado em diferentes contextos, e considera-se que em alguns momentos históricos uma das categorias foi predominante em relação às outras, como, por exemplo, na idade

média, época em que as igrejas góticas possuíam uma forte característica do sistema construtivo, sobressaindo assim a categoria *Firmitas* sobre as demais.

Durante o período do renascimento, uma importante mudança no arranjo da produção forçou a revisão do conceito vitruviano, principalmente no que se refere à relação entre os profissionais que geram conhecimento e aqueles que operam a produção de manufaturas ou construções. Antes desse período, de intensas mudanças nas artes, tanto a criação como a manufatura estavam concentradas na mesma pessoa, o artesão ou o mestre de obras. Cabia a este profissional conhecer todo o processo construtivo e ao mesmo tempo produzir inovações, projeto e produção integrados no mesmo arcabouço de conhecimento individual, *Savoir-faire*. O conhecimento gerado e os segredos da profissão eram incorporados e transmitidos por gerações através de grupos fechados conhecidos como Corporações de Ofício.

A partir do renascimento e de forma mais intensa no século XIX, com o início da industrialização, apresenta-se uma ruptura dessa estrutura e a dissociação entre projeto e produção. Neste contexto, surgem novos conceitos de design que formam a base do modernismo⁵ (MASI, 1999).

Ao longo do século XX, inúmeras escolas e correntes de design surgiram, não cabe nesta tese detalhar todo este processo, por outro lado é importante explorar os conceitos das principais escolas que estabeleceram as bases conceituais do design moderno, entre elas a *Werkbund* e a *Bauhaus*.

A *Werkbund*, fundada em 1907, nasceu como uma associação de artistas, empresários, designers, arquitetos e urbanistas alemães, com a finalidade de promover, criar e refletir sobre a cidade, arquitetura, design e produção artística, a partir das questões fomentadas pela rápida industrialização do início do século XX. O movimento promovia exposições e criava catálogos de produtos que seguiam o conceito de integrar a produção artística com a produção industrial alemã, reforçando a ideia de nação a partir do design e, ao mesmo tempo, promovendo a internacionalização do método industrial de produção em massa.

Quem quer que entenda bem o movimento do Werkbund sabe que este tem de ser por natureza ligado à terra e nacional (...). No entanto,

⁵ Sob o termo genérico Modernismo resumem-se as correntes artísticas que, na última década do século XIX, propõem-se a interpretar, apoiar e acompanhar o esforço progressista, econômico-tecnológico, da civilização industrial (ARGAN, 1988).

todo o trabalho cultural real tem significado internacional, (...) devido aos métodos através dos quais retira os seus frutos da terra natal. (...) Os métodos do Deutscher Werkbund são (...) de valor para todas as nações que tenham de resolver problemas semelhantes. (...) O movimento de espírito novo, que encontra a sua expressão neste grupo, estendeu as suas ondas por toda a Europa (Adolf Vetter, “Die Bedeutung des Werkbundgedankens für Österreich”, 1912) (SCHWARTZ, 2014).

Ainda:

A industrialização e a urbanização conduziram, a partir de meados do século XIX, a alterações profundas em todos os domínios da vida. Quem primeiro se rebelou contra a perda da qualidade artesanal e artística devido à produção industrial em massa de produtos segundo modelos padronizados de uma “indústria artística” foi o movimento inglês Arts-and-Crafts, que exigia um regresso ao modo de produção pré-industrial. As artes e ofícios deviam voltar a se unir, tal como nos grêmios ou nas oficinas da Idade Média, sem divisão do trabalho, em uma única pessoa. Os movimentos de reforma que, por volta de 1890, também começaram a surgir na Alemanha adotaram ideias da Inglaterra, em especial a ideia das oficinas, bem como a crença, propagada por William Morris e John Ruskin, na força moralizadora e educacional da atividade artística.

No entanto, o princípio orientador dos reformadores deixou de ser a história para passar a ser a vida, que deveria fornecer modelos e formas para todos os aspectos do design; em vez de se orientarem pelo passado, esforçavam-se por um melhoramento dos produtos industriais e das formas de produção. Através de associações de produção constituídas por artistas e artesãos, nas quais a concepção obedecia às exigências do processo de produção de acordo com a função, o material e a construção, deveria ser alcançada uma reforma das artes decorativas. Produtos de qualidade duradouros substituíram as mercadorias de massa e de moda baratas (SCHWARTZ, 2014, p. 20).

Em meados do século XX o alvo das pesquisas desenvolvidas pela *Werkbund* deixou de ser apenas o impacto da indústria sobre a manufatura, mas também a relação entre a manufatura e o meio ambiente, este viés ecológico surgiu de forma pioneira nos anos que se seguiram à segunda guerra mundial.

A *Bauhaus* (casa de construção), que também teve início em 1907, diferentemente da *Werkbund*, tem sua origem como uma escola formal, com o objetivo claro de formar designers e arquitetos em forte sintonia com a indústria e a tecnologia emergente na Alemanha do início do século XX. O postulado criado pelo seu primeiro diretor, o arquiteto Walter Gropius, expressa esse desejo: “*Arte e Técnica – uma nova unidade*”, talvez por este objetivo tão bem

definido, seu reconhecimento internacional é mais evidente do que a *Werkbund* no Brasil e no mundo. A escola passou por diversas fases e teve diferentes sedes, não é objeto desta tese esmiuçar cada uma das fases, mas pela figura 5 é possível perceber o fluxo de mestres durante os principais anos de sua atividade.

Figura 5 - Fluxo de Diretores, professores e mestres na Bauhaus durante 1919 – 1933.

Fonte: (WICK, 1989)

A *Bauhaus* apresentou inúmeras inovações, principalmente no método de ensino da arquitetura e do design, iniciando pela estrutura curricular (figura 6) e tendo como professores, em sua grande parte, artistas abstratos ou da pintura cubista, refutando de forma intencional a arte tradicional figurativa do século XIX.

Figura 6 - Estrutura curricular da Bauhaus.

Fonte: (WICK, 1989, p. 88)

O foco principal estava em usar a prática das oficinas como fonte de novas teorias e a integração de diferentes manifestações artísticas, como a pintura, teatro, plástica, fotografia, psicologia, comunicação visual, tecelagem, entre outras, a fim de criar a linguagem mais adequada para o modo de produção industrial. Outro objetivo principal era a criação de objetos voltados aos novos modos de vida da grande massa populacional, que deixava a vida do campo e se iniciava na vida urbana das “recém nascidas” metrópoles modernas.

As metas, além de inovadoras, eram ambiciosas e tinham dois objetivos fundamentais, como aponta Burdek (2006):

Por um lado deveria atingir, pela integração de todas as artes e as manufaturas debaixo do primado da arquitetura, uma nova síntese estética.

Pelo outro deveria atingir, pela execução de produção estética, as necessidades das camadas mais amplas da população, obtendo uma síntese social (BÜRDEK, 2006, p. 33).

A forte formação ideológica baseada em uma contundente crítica social, refutando o conservadorismo e propondo rupturas com ideais históricos da nação alemã, foi o motivo pelo qual a escola sofreu forte intervenção pelo regime Nazista e em 1933 a *Bauhaus* foi dissolvida.

No entanto, mesmo após sua dissolução, um esforço em resgatar a atividade de ensino sempre esteve presente, mas foi apenas na década de 1980, com a queda do muro de Berlim, que as condições para a reabertura da escola foram reunidas e as atividades acadêmicas floresceram novamente. Na década de 1990, a escola se tornou uma fundação e permanece em atividade ainda hoje, porém, não há dúvida que sua fase emblemática aconteceu principalmente nos anos anteriores ao regime Nazista.

O legado da Bauhaus para a produção cultural e de produtos é inegável, sua desintegração levou a emigração de professores e alunos, tanto para a Rússia, como para os Estados Unidos, além de outros países da Europa, disseminando a filosofia do design que influenciou todo o design do século XX e que ainda hoje é objeto de estudo e admiração.

A partir da década de 1970, abordagens mais abrangentes começaram a surgir, o design como integração da síntese cultural entre a sociedade, produtos de consumo e a manufatura se tornou insuficiente para resolver dilemas de uma sociedade na qual a quantidade e a velocidade da informação se tornaram frenéticas.

Nosso interesse existencial desloca-se, a olhos vistos, das coisas para as informações. Estamos todos impregnados dela. Estamos cada vez menos interessados em possuir coisas e cada vez mais querendo consumir informações.

[...] A classe trabalhadora, ou seja, os produtores de coisas, está se tornando minoria, enquanto os funcionários e os *apparatchiks*, esses produtores de não coisas, tornam-se maioria (FLUSSER, 2012, p. 55).

A tecnologia da informação e as questões ambientais ganharam peso, a voz do consumidor entrou de forma definitiva nas decisões corporativas. Termos como “*design thinking*”, compartilhamento de informação, abordagens centradas nas necessidades do ser humano, começaram a surgir e se expandiram para áreas de serviços, governamentais e não governamentais, extrapolando o ambiente da manufatura.

Entre as corporações que nasceram com o DNA desta nova era da informação e que mais divulgam a forma holística de produzir design está a IDEO, empresa internacional fundada em Palo Alto, Califórnia, em 1991. Com foco na questão da inovação, esta empresa atua com inúmeros parceiros em

diferentes lugares do mundo, abordando temas diversos e promovendo entre outras coisas a abordagem do design baseado no ser humano. Apenas como exemplo, a IDEO foi responsável pelo aprimoramento e viabilização do *mouse*, periférico fundamental de interface entre o homem e o computador, criado para a Apple. Este pequeno produto, o *mouse*, contribuiu de forma decisiva para chegada dos computadores pessoais nas casas das pessoas comuns, dando início a era digital de forma massificada.

Conforme aponta o presidente da IDEO, Tim Brown, o mais importante não é necessariamente o produto final, mas sim a abordagem que faz diante das questões. Brown (2008) aponta como um dos pioneiros do *design thinking*, o inventor e empreendedor Thomas Edison, que foi capaz de interpretar a questão da iluminação elétrica em sua época, não apenas como uma questão técnica, mas como uma tecnologia capaz de revolucionar a vida das pessoas. Nesta abordagem o foco não é apenas o produto, mas como este produto pode transformar a economia, a cultura e a vida das pessoas comuns. Ainda segundo Brown (2008), a sociedade contemporânea passa por novas mudanças baseadas na velocidade de informação e a abordagem design integral pode contribuir para a qualidade de vida no planeta.

Com as economias do mundo desenvolvido mudando de fabricação industrial para o trabalho do conhecimento e prestação de serviços, o terreno da inovação está em expansão. Os objetivos das economias emergentes não são mais apenas produtos físicos; eles são novos tipos de processos, serviços e interações, alimentados pela tecnologia da informação, entretenimento e formas de se comunicar e colaborar. Estas são exatamente os tipos de atividades centradas no homem, em que o *design thinking* pode fazer uma diferença decisiva (BROWN, 2008, p. 86).

Mais especificamente, na área de iluminação, outro nome expoente que atuou em design de forma integral foi Poul Henningsen. No século XX, em meio a grandes transformações sociais, ele foi capaz de inserir o conceito de percepção humana como ponto de partida para a criação de inovações em sua área de atuação. Apesar do termo *Design Thinker* ter aparecido pouco tempo após sua morte em 1967, Henningsen apresenta características marcantes em sua produção e método de trabalho que o fazem merecedor de tal designação.

2.2 DESIGN AUTORAL - POUL HENNINGSEN

Nas primeiras décadas do século XX, ao mesmo tempo em que existia o ensino formal na *Bauhaus*, o espírito da época contaminava designers independentes que tinham interlocução com o movimento moderno. Entre eles o designer Poul Henningsen, artista de múltiplas atividades e criador de luminárias emblemáticas do século XX.

2.2.1 Vida de Poul Henningsen

Poul Henningsen nasceu em 1894 em Ordrup na Dinamarca, estudou na Escola Técnica em Frederiksberg de 1911 a 1914, e logo em seguida na Escola Técnica em Copenhague de 1914 a 1917.

Apesar de não ter se graduado em arquitetura ou design, desde 1920 Poul Henningsen trabalhou como arquiteto independente, desenvolvendo projetos residenciais, e alguns projetos de interiores. Por um curto período de tempo, no início da Segunda Guerra Mundial, Poul Henningsen foi o arquiteto chefe da Tivoli Gardens em Copenhague, mas foi forçado a deixar a Dinamarca refugiando-se na Suécia, em função da ocupação alemã, e logo se tornou parte vital da colônia dinamarquesa de artistas naquele país.

Além de trabalhar como arquiteto, Poul Henningsen escreveu artigos para diversos jornais e revistas, escreveu poemas, e foi o editor da revista "*Kritisk Revy*" (*Revue Crítica*) atuando como um conceituado crítico da sociedade e da arquitetura.

Ao longo dos anos, o seu interesse profissional concentrou-se principalmente na iluminação. Sua colaboração ao longo da vida com a empresa Louis Poulsen Iluminação começou em 1925 e durou até sua morte em 1967 (LOUIS POULSEN, 2014).

A formação artística de Henningsen e sua estreita relação com a literatura, música e engajamento político fizeram dele um designer com uma visão ampla e eclética, sua genialidade está em conseguir criar pontes entre várias linguagens e transformá-las em objetos funcionais com forte apelo conceitual.

A luminária *PH 5 – Lamp* (figura 7) criada em 1925, tornou-se ao longo do século XX um ícone para designers de luminárias e uma das referências para o

design moderno. A razão para este sucesso pode ser observada pelas próprias características de design e pela postura inovadora do seu criador.

Figura 7 - Luminária PH Lamp.

Fonte: (HENNINGSEN, 2014)

Essas características estão também presentes no documentário *PH The Philosophy of Light* (1963) dirigido pelo próprio Henningsen, apresentando sua concepção de iluminação que permeou toda sua carreira como designer. Este capítulo faz uma leitura deste documentário extraindo as diretrizes do projeto de iluminação e, ao mesmo tempo, analisa o próprio documentário como objeto de criação.

A seguir, uma análise do documentário e dos princípios de design e iluminação abordados por Henningsen.

2.2.1.1 Estrutura do documentário: PH - Philosophy of Light⁶

O documentário possui 20 minutos de duração e alterna momentos de explanações do próprio Poul Henningsen, exemplos teóricos, exemplos práticos sobre mesas de luz, entrevista, imagens poéticas de paisagens, sons e declamação de poema.

Esta estrutura mostra a capacidade de transitar em diferentes linguagens. O autor quer mostrar a interface da sua concepção de iluminação e outras estruturas artísticas, para tanto ele usa recursos audiovisuais disponíveis na década de 1960.

⁶ Documentário criado em 1963 dirigido por Poul Henningsen em Copenhague para Louis Poulsen Iluminação.

Na primeira parte do documentário, em preto e branco, Henningsen explica a diferença entre a luz natural e a luz artificial. Desenhando sobre uma prancheta, ele mostra a alteração da luz natural durante o dia, expõe como a luz se transforma de uma temperatura de cor mais baixa para mais alta e como essa mudança qualifica a luz. Apesar de sutil, esta percepção sobre a qualidade da luz ao longo do dia é essencial como referência projetual para essa tese.

Após essa reflexão inicial, ele aponta para a necessidade de se pensar a luz artificial de forma independente da luz natural e não apenas como o prolongamento da luz do dia.

Em seguida, a questão do contraste da luz é colocada através de exemplos de como um elemento aparece na paisagem em relação ao fundo, ou como uma árvore se apresenta em uma paisagem de inverno onde o branco da neve prevalece, neste momento a luminária PH aparece na cena com um fundo negro.

Descendo uma escada, ao mesmo tempo que fala sobre a luz do fogo, Henningsen aponta para a qualidade da luz, em um tom poético.

Em seguida a imagem do fogo de uma lareira aparece e é desta forma que ele entra no próximo assunto. Comentando inicialmente sobre a lâmpada de filamento, ele mostra através de uma luminária PH (Pendente) criada em 1925 (figura 5) a estratégia do uso de refletores intercalados em volta do bulbo da lâmpada de filamento, de forma a se alcançar o efeito e a configuração de luz difusa e agradável da *PH Lampe*.

A forma de apresentação chama a atenção, uma luminária cortada transversalmente coberta com tecido de tal forma que ao ligar a luminária é possível visualizar a distribuição da luz no interior da mesma. Com este aparato ligado sobre uma prancheta, Henningsen explica de forma detalhada e muito didática a distribuição da luz e sua estratégia para alcançar a melhor qualidade possível através dos ângulos de reflexão.

Ao final da apresentação da *PH Lampe* na prancheta de luz, Henningsen introduz a questão da cor na iluminação. Ao mesmo tempo em que a fumaça de seu cigarro aparece na cena, ele lamenta a falta de percepção dos técnicos de iluminação sobre a cor. Sentado em uma banqueta de prancheta, ele fala, de forma quase nostálgica, da sorte que teve em aprender pintura aos 16 anos de idade e de conhecer a interação entre as cores quentes e frias.

Falar sobre pintura é a introdução do próximo tema, a cor. Neste momento, Henningsen altera o formato de apresentação do documentário e a cor passa a fazer parte das cenas.

Esta sutileza de iniciar o documentário em preto e branco enquanto comenta sobre o contraste e a reflexão da luz e mudar para filme colorido apenas enquanto comenta sobre a cor, revela seu domínio sobre o tema e sobre a linguagem do documentário.

Para mostrar a importância da cor como um elemento de construção da luz, Henningsen apresenta o tema sob três formas. A primeira é uma entrevista com o cenógrafo Svend Johansen, com o qual conversa em um clima descontraído. Johansen revela estratégias de colorir as cenas de teatro através da luz cênica complementando a cor da maquiagem e dos tecidos usados pelos atores. Henningsen aponta para o uso de cores como o vermelho, o laranja, o azul usados pelos pintores franceses.

A segunda forma de abordar o tema da cor é mostrando, em um gráfico feito à mão, a relação entre a percepção visual da cor e os gráficos de distribuição espectral da luz, fornecida por diferentes tipos de lâmpadas e tecnologias. É uma abordagem mais técnica e científica, mas ao final desta explicação técnica ele volta para a questão artística, abordando a cor da terceira forma, a cor como uma frequência e, desta forma, criando uma associação entre luz e som. Usando um piano, ele compara a frequência da luz com a frequência de notas musicais e sentado ao piano, Henningsen afina o instrumento com os tons da distribuição espectral da luz.

A cena seguinte é a junção dos sons do piano e imagens das luminárias em movimento, produzindo diferentes tons do branco, vermelho, laranja...

De forma quase abrupta, o documentário parte para o próximo tema, iluminação pública. Neste tema, Henningsen mostra através da mesa de luz com diferentes tipos de luminárias e de dois exemplos de iluminação pública com cenas externas noturnas, estratégias de qualificação da luz. Ao fim deste trecho ele mesmo comenta que ainda existe muito por fazer no que se refere à iluminação de ambientes externos.

Na última parte do documentário, Henningsen retoma o ponto de vista poético da luz e recita um poema sobre a *PH LAMPE*, escrito por Otto Gesteld.

Mais uma vez a sutileza e o domínio da linguagem audiovisual se mostram presente. No momento de recitar o poema, a luz se apaga e sua voz recitando o poema fica em evidência. De forma contrária, um poema sobre a luz é recitado no escuro, tal como fundo e figura ou *Gestalt*.

As figuras 8 à 10 apresentam a sequência das cenas do documentário e os pontos chave identificados.

Figura 8 – Quadro sequencial de imagens do documentário *Philosophy of Light - PH LAMP*.

Gráfico feito à mão sobre a qualidade da luz durante o dia.

Luminária PH Lampe – Gestalt.

Análise de tipos de lâmpadas.

Prancha de luz com a luminária em corte.

Comentário sobre a qualidade da luz da lareira.

Visão e contraste na paisagem.

Fonte: (LOUIS POULSEN, 2014)

Figura 9 - Quadro sequencial de imagens do documentário *Philosophy of Light - PH LAMP* (continuação)

Fonte: (LOUIS POULSEN, 2014)

Sons e luminárias.

Início do filme colorido e da questão da cor na luz.

Utilização do piano – criando uma relação entre frequência do som e frequência de luz.

Gráfico de percepção das cores sobreposto com a distribuição espectral da luz fluorescente.

Entrevista com o cenógrafo Svend Johansen.

Análise sobre luminárias para via pública.

Figura 10 - Quadro sequencial de imagens do documentário *Philosophy of Light - PH LAMP* (continuação)

Fonte: (LOUIS POULSEN, 2014)

Análise de iluminação externa.

Volta ao gráfico inicial.

Início da declamação do poema.

2.2.1.2 Princípios de iluminação abordados por Poul Henningsen

O documentário torna evidente que, para Henningsen, a iluminação artificial é fruto de uma compreensão das relações entre a luz e a sombra, estratégias de reflexão com o objetivo de evitar o ofuscamento, relação harmônica entre cores, tecnologia e inovação e, o mais importante, a experiência da percepção humana passando por sua cultura e formação artística e seu conhecimento sobre a percepção humana da luz e das cores.

Por outro lado, a própria estrutura do documentário mostra a necessidade de um conhecimento abrangente sobre linguagens de outras formas artísticas, entre elas a pintura, música, teatro e literatura. Neste sentido, a tecnologia e o conhecimento científico são conectados como meio para se alcançar um resultado artístico maior. A finalidade de se iluminar um ambiente ou de criar o desenho de uma luminária não é de apenas substituir a luz natural, mas também de criar uma percepção ambiental expressiva. O próprio título do documentário é uma pista clara deste entendimento. *PH – Philosophy of Light*, o termo filosofia aponta para importância dada ao aspecto qualitativo e não somente quantitativo ou técnico dos princípios que regem sua criação.

Este é o maior princípio deixado por Henningsen para os *lighting designers* e arquitetos que entendem a luz como um elemento estruturador do espaço e que se relaciona com diferentes áreas do conhecimento humano. Portanto, o foco é a qualidade da luz em função do ser humano, a luminária é apenas uma ponte para se alcançar este resultado, mostrando que sua concepção de design extrapola o produto, tal como preconiza o conceito de *design thinking*.

O legado deixado por Henningsen em seu documentário torna claro que o princípio gerador do design não é fruto apenas da tecnologia de uma época, mas da relação entre o homem e sua percepção com o ambiente. Por outro lado, o conhecimento técnico sobre as possibilidades que a tecnologia oferece é fundamental. Neste sentido, o capítulo seguinte trata da tecnologia de iluminação, abordando a tecnologia LED e suas implicações tanto para o setor de iluminação como para a criação de luminárias inovadoras.

3 TECNOLOGIA LED E ILUMINAÇÃO PARA AMBIENTE HOSPITALAR

3.1 TECNOLOGIA DE ILUMINAÇÃO LED – UMA BREVE REVISÃO

As primeiras pesquisas que levaram ao fenômeno luminoso do LED nasceram através da evolução das pesquisas sobre transmissão e recepção de ondas de rádio. Isso se explica em função do uso de cristais de Carborundum para o controle de frequências.

O pesquisador Henry Joseph Round, Pesquisador do Laboratório Marconi, foi um dos pioneiros nas pesquisas sobre recepção e transmissão de ondas de rádio. Em 1907, Round publicou a primeira nota científica sobre o fenômeno de eletroluminescência. Neste primeiro relato não existia nenhuma pretensão de realizar algum tipo de pesquisa mais profunda ou alguma aplicação sobre o fenômeno observado. A nota enviada ao jornal *Electrical World* apresenta apenas um breve relato sobre diferentes efeitos de luzes e cores produzidos quando aplicados diferentes correntes elétricas sobre o composto químico Carborundum. De forma equivocada, Round aponta para a possibilidade de ser um fenômeno termoelétrico. Naquela época, o efeito de eletroluminescência ainda não havia sido devidamente compreendido pela comunidade científica.

Para os editores da *Electrical World*: Srs: - Durante uma investigação da passagem assimétrica de corrente através de um contato de carborundum e outras substâncias um fenômeno curioso foi observado. Ao aplicar um potencial de 10 volts entre dois pontos do cristal de carborundum, o cristal apresentou uma luz amarelada. Apenas uma ou duas amostras brilharam de forma intensa numa tensão tão baixa, mas com 110 volts, um grande número de amostras brilharam. Em alguns cristais apenas as bordas iluminaram em outras brilharam uma luz verde amarelo, laranja ou azul. Em todos os casos testados o brilho parece vir do polo negativo, uma faísca azul-esverdeada brilhante que aparece no polo positivo. Em um único cristal, se o contato é feito perto do centro com o polo negativo e o polo positivo é colocado em contato em qualquer outro lugar, apenas uma seção do cristal irá brilhar onde quer que o polo positivo seja colocado.

Parece haver alguma ligação entre o efeito acima e a força eletromotriz produzida por uma junção de carborundum e outro condutor quando aquecido por uma corrente contínua ou alternada; mas a ligação pode ser apenas secundária como uma explicação óbvia da força eletromotriz, o efeito é apenas termelétrico. O escritor ficaria feliz de referenciar qualquer relato publicado de uma investigação

sobre este ou qualquer fenômeno semelhante (ROUND, 1907, p. sn, tradução autor).

Mais tarde, em 1927, o jovem e autodidata russo, Oleg Losev também percebeu o fenômeno, porém compreendeu o potencial do efeito luminoso inovador, gerando dezenas de patentes e explicando de forma detalhada o fenômeno através da teoria de quantum de Einstein. Infelizmente, sua vida foi interrompida de forma prematura aos 39 anos na ocasião do cerco a Leningrado em 1942 promovido pelo exército alemão. Apesar de pouco conhecido, Losev forneceu as bases e previu a enorme aplicação desta tecnologia.

Figura 11 - Gráfico das características I-V de um detector de carborundum, indicando o início da emissão de luz, publicado em 1928 por Losev (ZHELUDEV, 2007)

Em 1955, Rubin Branstein, da *Radio Corporation of America* realizou experiências com emissão de radiação infravermelha utilizando semicondutores GaAs (Gálio e Arsênio).

O pesquisador da GE, Nick Holonyak Jr., desenvolveu em 1962 o primeiro LED que emitia luz visível (vermelho), baseado na tecnologia GaAsP (Gálio, Arsênio e Fósforo).

Nas décadas de 1960 e 1970, empresas como a *Hewlett Packard* foram pioneiras na comercialização em larga escala de LEDs, tornando seu uso

difundido em vários produtos como indicadores de ligado/desligado de equipamentos eletrônicos, relógios e calculadoras.

Já na década de 1980, novas tecnologias de semicondutores permitiram sua miniaturização, possibilitando novos formatos e brilho mais intenso. Nesta época, os LEDs já eram utilizados em sinalização, porém ainda não emitiam luz em intensidade suficiente para o uso em iluminação arquitetônica.

Somente em 1993, em uma pequena empresa do Japão chamada NICHIA, o pesquisador Shuji Nakamura desenvolveu o primeiro LED de luz azul de alto brilho através do aperfeiçoamento do cristal formado pelo nitreto de gálio. Este aperfeiçoamento possibilitou a criação do LED branco, que é considerado um marco na indústria de iluminação. Recentemente, esta pesquisa lhe concedeu o Prêmio Nobel de física em 2014, junto com os pesquisadores Isamu Akasaki e Hiroshi Amano.

Na década de 1990, a indústria automobilística mundial interessou-se pelo uso da tecnologia a ponto de incluir os LEDs em diversos pontos dos automóveis, desde o painel às luzes de setas. Devido à elevada demanda proporcionada pela indústria automobilística, houve uma evolução das características destes componentes, como maior variedade de cores, brilho e potência, além do barateamento dos componentes em função da alta escala de produção.

No final da década de 1990 surgiram as primeiras luminárias de uso arquitetural produzidas em larga escala. Os modelos foram apresentados em feiras especializadas nos EUA e Europa (*Light Fair e Light & Building*) e eram do tipo balizadores de piso e luminárias de emergência. A partir do início do século XXI, a tecnologia LED foi disseminada e tornou-se cada vez mais presente em todos os equipamentos eletroeletrônicos substituindo as lâmpadas de bulbo com filamentos. O desenvolvimento de diferentes tecnologias LED não cessou e a partir de 2010 procurou-se obter mais rendimento do fluxo luminoso com mais eficiência. Pode-se destacar como vantagens desta tecnologia o baixo consumo de energia, a longa duração das lâmpadas LEDs, o baixo impacto ambiental, a economia na instalação, a baixa tensão de operação do sistema, a possibilidade de criar diferentes efeitos de cores e temperatura de cor branca em uma mesma luminária e, do ponto de vista da domótica, a maior vantagem é de ser possível controlar conjuntos de luminárias através de softwares. A figura 11 apresenta este percurso de desenvolvimento da tecnologia LED.

Figura 11 - Resumo da cronologia do desenvolvimento da tecnologia LED.

Fonte: (WEINERT, 2010)

A seguir, a figura 12, criada pela empresa Philips, mostra a evolução da tecnologia LED em seus produtos.

Figura 12 - Sequencia da evolução da forma do diodo emissor de luz.

Fonte (WEINERT, 2010)

3.2 PRINCÍPIOS DE GERAÇÃO DE FLUXO LUMINOSO PELA TECNOLOGIA LED

O LED é um diodo que produz energia luminosa, onde o processo de geração de luz acontece em função da liberação de energia através do fluxo de elétrons entre de dois materiais, um carregado positivamente e outro negativamente. O espaço físico onde ocorre esta passagem dos elétrons é chamado de junção **p-n**. Aplicando uma determinada corrente no diodo, os átomos são direcionados para a junção **p-n**, quando estes átomos se aproximam um dos outros, o material **n** doa seus elétrons para o material **p**. Aplicando-se uma carga negativa no material negativo, o fluxo de corrente se direciona para o material positivo. Os elétrons em excesso no material **p** decaem em sua camada de valência e geram energia em forma de fótons.

Figura 13 - Esquema da junção p-n em um LED.

Fonte: (ALEXANDRE e GOIS, 2006)

Existem basicamente três tecnologias de LEDs disponíveis no mercado internacional. A primeira tecnologia é dos LEDs de sinalização, a segunda de LEDs de alto brilho ou SMD e os LEDs orgânicos.

Os LEDs de sinalização possuem a dimensão em torno de 5mm em média e a sua construção é simples, tal como apresentado na Figura 14. A aplicação destes componentes já é muito difundida em equipamentos eletrônicos e displays desde a década de 1960. Sua montagem em circuitos impressos do tipo PCB (*printed circuit board*) comumente comercializada é formada por uma camada de fibra de vidro e resina epóxi e uma camada impressa com o circuito eletrônico e que necessita de furos para a fixação do componente. A apresentação deste tipo de LED pode variar quanto a dimensão, formato e cor.

Figura 14 - Estrutura do Led de baixa potência - indicadores.

Fonte: (PHILIPS, 2014)

Os LEDs de alto brilho são mais complexos em sua construção devido ao grau de energia liberada na junção **p-n**. Neste caso, é necessário incorporar na estrutura do LED a dissipação do calor, de tal forma que o calor seja transmitido para a placa de circuito impresso e depois liberado para o ambiente. Outra característica é a forma como esse LED é soldado na placa, no caso dos LEDs SMD (Dispositivo de montagem superficial) o componente é soldado na superfície da placa melhorando sua eficiência, pois permite seu uso em placas com múltiplas camadas de dissipação de calor além de dissipadores auxiliares na composição da luminária.

Figura 15 - Diagrama da junção p-n em um LED SMD.

Fonte: (PHILIPS, 2014)

O calor é o grande obstáculo para o bom funcionamento do LED de alto brilho, por este motivo o correto dimensionamento do dissipador de calor é fundamental para a longevidade do produto. Para auxiliar o designer de produtos com LEDs, os fabricantes fornecem ferramentas para esta fase de projeto. Com o gerenciamento de calor adequado, o LED pode alcançar mais de 100.000 horas de funcionamento. A tabela 1 mostra a relação entre a duração em horas e a temperatura de junção p-n. Quanto maior a temperatura de junção, menor é o tempo de “vida” do LED.

Tabela 1 - Relação entre temperatura de junção e horas de funcionamento.

T _j (°C)	Life (hours)	T _j (°C)	Life (hours)
25	234,000	85	29,500
30	191,000	90	25,700
35	157,000	95	22,300
40	129,000	100	19,500
45	107,000	105	17,100
50	90,000	110	15,100
55	75,000	115	13,300
60	64,000	120	11,700
65	54,000	125	10,500
70	46,000	130	9,300
75	39,600	140	7,500
80	34,000	150	6,000

Fonte: (ALEXANDRE e GOIS, 2006)

A cor da luz que será produzida pelo LED depende dos componentes pelos quais é formada a junção p-n. No quadro 1, mostra-se a correspondência entre as cores, comprimento de onda e os materiais correspondentes.

Quadro 1 - Correspondência entre o comprimento de onda da luz, cor e material semicondutor do LED.

Cor	Comp. de onda (nm)	Tensão (V)	Material Semicondutor
Infravermelho	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1,9$	Gallium arsenide (GaAs) Aluminium gallium arsenide (AlGaAs)
Vermelho	$610 < \lambda < 760$	$1,63 < \Delta V < 2,03$	Aluminium gallium arsenide (AlGaAs) Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP)
Laranja	$590 < \lambda < 610$	$2,03 < \Delta V < 2,10$	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP)
Amarelo	$570 < \lambda < 590$	$2,10 < \Delta V < 2,18$	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP)
Verde	$500 < \lambda < 570$	$2,18 < \Delta V < 4,0$	Indium gallium nitride (InGaN) / Gallium(III) nitride (GaN) Gallium(III) phosphide (GaP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Aluminium gallium phosphide (AlGaP)
Azul	$450 < \lambda < 500$	$2,48 < \Delta V < 3,7$	Zinc selenide (ZnSe) Indium gallium nitride (InGaN) Silicon carbide (SiC) as substrate
Violeta	$400 < \lambda < 450$	$2,76 < \Delta V < 4,0$	Indium gallium nitride (InGaN)
Ultravioleta	$\lambda < 400$	$3,1 < \Delta V < 4,4$	diamond (C) Aluminium nitride (AlN) Aluminium gallium nitride (AlGaN) Aluminium gallium indium nitride (AlGaInN)
Branco	Faixa do espectro visível	$\Delta V = 3,5$	Chip Azul ou UV com fósforo

Fonte: (ALEXANDRE e GOIS, 2006)

Na tecnologia LED, a luz branca é comumente formada de duas formas distintas.

A primeira e mais antiga técnica é baseada na mistura adicional das cores vermelha, verde e azul, tal como mostra a figura 16. Neste caso, é necessária a utilização de dispositivo ótico para alinhar os feixes de luz e de controladores eletrônicos para auxiliar a composição perfeita da adição de cores e, obviamente, um conjunto de LEDs para gerar diferentes comprimentos de ondas. A vantagem deste sistema é a possibilidade de geração de cores como no sistema RGB (*Red, Green, Blue*), de tal forma que a luz projetada seja a luz branca ou outras cores conforme a mistura for elaborada. A desvantagem para aplicação em projetos de arquitetura é que devido a sua construção, as bordas do feixe de luz projetada são frequentemente coloridas. Esta técnica é mais aplicada em displays e telas para geração de imagens.

Figura 16 – Sistema de luz branca por composição RGB

Fonte: (WEINERT, 2010)

A segunda forma de gerar a luz branca é usando o princípio da fotoluminescência, conforme ilustra a figura 17. Nesta configuração, uma camada fina de fósforo é aplicada à parte superior do LED azul. A luz azul, rica em energia, estimula a camada de fósforo emitindo luz amarela de baixa energia. Parte da luz azul é então transformada em luz branca através da adição da luz amarela com a azul. A temperatura da cor da luz branca pode variar com a quantidade do elemento fósforo. Diferentes temperaturas de luz branca podem ser formadas. Conforme o fabricante do LED, o designer pode especificar temperaturas entre 1800k (temperatura de cor fria “amarelada”) à mais de 7000k (temperatura de cor quente “branco azulado”). Apesar de simples, este sistema necessita de equipamentos de alta precisão para produzir o LED com a temperatura de cor exata, em função disso a produção deste tipo de LED em escala comercial só foi possível no início deste século.

Figura 17 - Sistema de luz branca através da fotoluminescência.

Fonte: (WHELAN, 2013)

O terceiro tipo de LED é o orgânico, ou OLED (figuras 18 e 19), e possui como característica principal sua composição com materiais poliméricos ou de moléculas orgânicas com alto teor de carbono. Em contraste com LEDs pontuais,

os OLEDs são construídos em camadas que fornecem uma fonte de luz difusa em uma área maior e que permite flexão do material. A tecnologia OLED está se desenvolvendo rapidamente e é cada vez mais usada em aplicações de visualização, tais como telefones celulares e em telas de Tv. No entanto, os OLEDs ainda não representam uma fonte prática de iluminação geral e arquitetônica. Avanços adicionais são necessários quanto à luz de saída, cor, eficiência, custo e tempo de vida. Um exemplo prático de sua utilização atual é a Tv em tela curva.

Figura 18 - Diagrama de construção de um OLED.

Fonte: (WHELAN, 2013)

Figura 19 - Filme de OLED.

Fonte (WHELAN, 2013)

Atualmente, a tecnologia de LED mais conveniente para a produção de luminárias com aplicação em projetos arquitetônicos é o SMD. No entanto, no projeto de uma luminária com esta tecnologia, o tipo de LED é um dos elementos que devem ser observados pelo designer. Para o projeto alcançar êxito é necessário definir o tipo de luminária consultando o projeto arquitetônico e o tipo

de tarefa que será desenvolvida no ambiente, drivers, gerenciamento de calor, ótica, controles e softwares (figura 20).

Figura 20 - Conjunto de características que fazem parte do projeto de uma luminária.

Fonte: (PHILIPS, 2014)

Os componentes podem variar de grau de importância em função do tipo de aplicação da luminária. No entanto, saber lidar com os componentes é fundamental. A Figura 21 representa o diagrama sequencial pelo qual a energia elétrica se transforma em energia luminosa dentro de uma luminária.

Figura 21- Diagrama de uma luminária com os sistemas integrados

Fonte: Autor, baseado em (WEINERT, 2010)

Na figura 21, de forma sequencial, a energia é convertida de corrente alternada para corrente contínua em baixa tensão através da fonte, geralmente 12V (1), depois controlada pelo driver de tal forma que apresente corrente e tensão constantes e adequadas ao conjunto de LEDs (2), nesse momento é possível inserir sensores e controladores de corrente para o conjunto de LEDs

(3), neste estágio o LED recebe energia elétrica e converte em luz (4) ao mesmo tempo este conjunto (fonte, driver, LED) gera calor que deve ser extraído através dos dissipadores para o ambiente (5), a luz gerada pelo LED então é orientada e mixada conforme a necessidade e utilização da luminária (6 e 7) e, finalmente, a luz deixa o conjunto ótico da luminária e ilumina o ambiente (WEINERT, 2010).

É importante frisar que, a luz gerada não contém infravermelho e por esse motivo não gera calor, como acontece com lâmpadas incandescentes ou mesmo ultravioleta, como as lâmpadas fluorescentes. De forma geral, as empresas que produzem LEDs, tais como a Osram, Philips, Cree e General Eletric, citam as seguintes características que justificam a mudança de tecnologia de iluminação arquitetônica:

1. Economia de energia (mais de 100 lumens por watt);
2. Durabilidade (50 mil horas - corresponde a 8 horas por dia durante 17 anos);
3. Reduzido impacto ambiental ao descarte;
4. Baixo custo de manutenção;
5. Ausência de ruído e efeito estroboscópico;
6. Possibilidade de configuração de diferentes temperaturas de cor branca na mesma luminária;
7. Maior conforto visual para o usuário final;
8. Formas inovadoras de desenho das luminárias;
9. Racionalização do consumo de energia;
10. Risco zero de contaminação por mercúrio em caso de quebra acidental de lâmpadas. No caso de hospitais que não possuem sistema de reciclagem ou parcerias com empresas recicladoras, o descarte é feito ou por incineração ou em lixo comum (RAPOSO, 2001) provocando grande probabilidade de contaminação e risco de doenças ligadas à intoxicação por mercúrio na população;
11. Economia no momento de descarte do produto. Alguns hospitais que possuem a certificação ISO14000 são obrigados a darem a destinação correta para as lâmpadas fluorescentes;
12. Economia de espaço, pois não há necessidade de estocar lâmpadas queimadas. Em um ambiente hospitalar cada metro quadrado é muito caro. Em hospitais que possuem parcerias com empresas de reciclagem existe a

necessidade de estocagem do produto queimado para a empresa recicladora retirar. Este espaço é caro e perigoso, pois as lâmpadas são frágeis e tóxicas no caso de quebra;

13. Oferecer aos profissionais de iluminação a possibilidade de racionalização dos projetos visando a eficiência de iluminação garantindo a qualidade e o cumprimento das normas de iluminação.

Outra importante característica da iluminação com tecnologia LED é a sua sintonia com componentes de controle que possibilitam maior interatividade com o usuário. A próxima seção trata desta questão da integração com sistemas cibernéticos atualmente aplicados em domótica.

3.3 CORRELAÇÃO ENTRE DOMÓTICA E FLEXIBILIDADE PARA CRIAÇÃO DE CENAS ATRAVÉS DA LUZ ARTIFICIAL

A expressão domótica é a junção de “*domus*” (casa) e robótica, portanto sistemas domóticos constituem da automação do ambiente arquitetônico de forma a interagir com as necessidades dos usuários. Os sistemas domóticos podem controlar desde o consumo de energia elétrica até o fluxo luminoso que está chegando em determinada superfície. O grau de automação depende do projeto de interatividade que se deseja e a disponibilidade de recursos para executar. Neste sentido, considera-se um sistema de iluminação que incorpore dados de entradas (sensores), um sistema de controle (softwares e hardwares) e uma saída (luminárias ou a iluminação do ambiente).

Para Poul Henningsen, as entradas em sistema de iluminação deveriam ser principalmente a relação entre a percepção humana e um conjunto de disciplinas técnicas, artísticas, psicológicas que constituem a forma como percebemos e a luz. Existe no princípio criativo de Poul Henningsen, a interdisciplinaridade e conversação entre diferentes áreas do conhecimento humano.

Criar sistemas de iluminação ou luminárias que considerem a qualidade da luz, a possibilidade de interação com o usuário e ao mesmo tempo sejam capazes de reagir de forma “inteligente” ao ambiente, vai além de um sistema de automação com sensores liga/desliga e dimerização. Para se alcançar um nível

mais elevado de interatividade é necessário observar o que os sistemas cibernéticos ligados à percepção humana tem a oferecer.

3.4 TECNOLOGIA LED DE ILUMINAÇÃO E A DOMÓTICA – SISTEMAS CIBERNÉTICOS E PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Algumas experiências no sentido de trazer interação luminosa com outras percepções humanas já foram realizadas desde a década de 1960, como é o caso do estudo performático de Gordon Pask, pesquisador da área de cibernética, usando o aparato MUSICOLOUR (figura 22). Desenvolvido em 1968, sua função didática era demonstrar as relações de interdependências e retroalimentação entre entradas de estímulos sonoros e efeitos luminosos. Este estudo não tinha a aplicação para a luz arquitetônica e nem tinha esta intenção. Por outro lado, apresenta de forma embrionária as possibilidades de se criar sistemas semelhantes com aplicação arquitetônica (HAQUE, 2007).

Figura 22 - Esquema do circuito Musicolour e equipamentos de Gordon Pask.

Fonte: (HAQUE, 2007, p. 59)

Este tipo de experimento envolvia grande quantidade de lâmpadas de diferentes cores e de processamento de informação, o que o tornava pouco prático naquela época. Até o surgimento da tecnologia LED e desenvolvimento de protocolos de comunicação entre equipamentos, a iluminação arquitetônica era muito limitada, pois o máximo de interação permitido pelo sistema se limitava a sensores liga e desliga ou a sistemas de dimerização precários, envolvendo muitas lâmpadas e complexos circuitos elétricos. Isto significa que o sistema não permitia a interação humana de forma satisfatória.

Além desta mudança do princípio tecnológico de geração de luz, outra mudança decorrente desta tecnologia é a possibilidade de criar sistemas digitais via softwares para o controle de iluminação. O controle via software possibilita a interação do sistema, aproximando os sistemas de iluminação aos sistemas cibernéticos, cuja interação e grau de inteligência é muito superior.

O designer neste novo sistema deixa de ser o especialista que desenvolve um sistema rígido de iluminação e passa a ser um condutor, que desenvolve sistemas de iluminação abertos, cujo usuário pode explorar, segundo suas experiências e necessidades, novas formas de percepção do espaço.

O quadro 2 mostra, à direita, as novas relações geradas pela iluminação LED, em contraposição à iluminação convencional de tecnologia anterior ao LED e aos sistemas de controle, à esquerda.

Quadro 2 - Quadro comparativo sobre o grau de interatividade entre a tecnologia LED e a convencional.

Fonte: Autor

A tecnologia LED de iluminação atual e a possibilidade de controle e análise da iluminação do ambiente tornam possível a concretização do ideal de Poul Henningsen, de gerar uma iluminação com forte componente qualitativo e interativo para o usuário.

As possibilidades são infinitas, a luz arquitetônica pode superar o papel de apenas revelar o ambiente e passa a gerar informação interagindo com o usuário.

Para tanto, os próprios fabricantes de sistemas de automação já possuem controladores que permitem graus diferentes de interação.

Controladores é o termo geral utilizado para interagir com luminárias de tecnologia LED, que podem ser simples dispositivos de liga/desliga e dimerização ou podem realmente criar cenas conforme a programação desejada. Para o caso de sistemas mais complexos, a indústria tem desenvolvido protocolos de comunicação para esta finalidade. O sistema mais difundido é o protocolo DMX que foi originalmente criado pela Comissão de Engenharia Americana para o Instituto de Tecnologia Teatral dos Estados Unidos (USITT) em meados da década de 1980. Este protocolo foi desenvolvido

para auxiliar a elaboração e controle de cenas em teatros e por este motivo é demasiadamente complexo, especializado e caro para a aplicação em ambientes arquitetônicos mais simples. Uma derivação deste sistema, o DMX 512, é uma simplificação do original e tem sido amplamente utilizado (WEINERT, 2010).

Além deste protocolo, a empresa Osram desenvolveu o sistema DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) e a Philips criou o protocolo KiNET para sua família de luminárias Kinetics.

Os exemplos desta forma interativa já começaram a aparecer, como é o caso do trabalho do artista plástico Javier Lloert, que desenvolveu uma interface via *bluetooth* que usa um quebra cabeça em forma de cubo para alterar a cor das fachadas de um edifício (LLOERT, 2013). Este trabalho faz parte da sua tese em arte eletrônica na Universidade de Linz na Áustria (figura 23).

Figura 23 - Edifício e Interface em forma de quebra cabeça - arte eletrônica.

Fonte: (LLOERT, 2013)

Este é um exemplo entre muitos outros que estão surgindo revelando a capacidade de interação da luz com o usuário.

Apesar de inovadoras, lúdicas e interessantes, estas intervenções com a luz no ambiente urbano não atuam diretamente na qualificação da luz com o propósito de auxiliar na percepção da luz como componente importante para a saúde física e psicológica dos usuários. Nesta tese, o foco é a qualificação da luz arquitetônica de tal forma que resulte em melhor qualidade de vida no ambiente construído.

Na indústria de iluminação, de alto grau de inovação, nota-se, nos últimos anos, a migração do uso de tecnologias convencionais para aquelas consideradas mais eficientes e interativas. No caso da empresa ERCO, que desenvolve luminárias e presta serviço de projetos de iluminação arquitetônica, desde 2015 adota apenas e exclusivamente a tecnologia LED para o desenvolvimento de suas luminárias e projetos de iluminação. Em seu site e publicações, fica evidente a grande evolução que esta tecnologia aliada a sistemas digitais de controle possibilitam. Em seu portfólio de projetos estão hotéis, museus, áreas corporativas, áreas comerciais, entre muitos outros ambientes onde a luz artificial atua de forma decisiva para qualificação do espaço.

Um belo exemplo desta atuação no espaço arquitetônico é o projeto de iluminação para o museu do Louvre na cidade de Lens, na França. Diferentemente do Museu do Louvre em Paris, em Lens o projeto arquitetônico tem como partido arquitetônico a ideia de integração da paisagem com o interior do edifício. Grandes painéis de vidro e iluminação zenital estão presentes em grande parte dos ambientes.

Figura 24 - Museu do Louvre em Lens, França. Painéis de vidro e integração com a paisagem.

Fonte: (ERCO, 2012)

A integração entre o projeto arquitetônico desenvolvido pelo escritório SANAA de Tóquio e o light designer Jeff Shaw da empresa de iluminação Arup

de Londres, em conjunto com a empresa Alemã ERCO formaram a equipe responsável por trazer a luz natural e sua harmonia com a luz artificial.

Neste projeto, aponta Shaw (ERCO, 2012), a tradição de criar ambientes escuros com iluminação toda controlada pela luz artificial foi quebrada e um dos grandes desafios foi a integração da luz artificial com a luz natural. Neste sentido, percebe-se a capacidade de controlar a luz através de sistemas inteligentes e com grande flexibilidade para atuar de forma integrada com a luz natural que possui grande variação durante o dia.

A época em que uma caixa de joia preta foi iluminada por um feixe focalizado no objeto isolado, flutuando na escuridão se foi. O pensamento dominante de hoje é, através da luz do dia permitir que os objetos se tornem parte do ambiente. As pessoas adoram a luz do dia, eles gostam da ligação com o exterior, se sentir bem durante o dia. A cor da luz é perfeita, suas propriedades de cor acentuam todas as cores do objeto de arte (ERCO, 2012).

Figura 25 - Iluminação interna Integração entre luz natural e artificial.

Fonte: (ERCO, 2012)

A luz natural usada em combinação com iluminação LED ajuda a economizar energia e custos, mas também permite novas opções de controle personalizadas que podem ser criadas. Este sistema de controle é fantasticamente adequado para o nosso museu. Ele é projetado inteiramente em torno de nossa coleção e nos permite usar faixas de luz, "Vincent Fourmestiaux, Chefe de Operações e Manutenção no Louvre, relata encantado. É preciso um tempo para configurar o sistema, mas no final as mesmas configurações de iluminação podem ser facilmente utilizadas para futuras exposições especiais (ERCO, 2012).

Figura 26 - Iluminação natural e artificial no interior do museu.

Fonte: (ERCO, 2012)

Neste projeto foram utilizadas variações da luz branca (temperatura de cor neutra, baixa e alta), além de diferentes tipos de distribuição da luz, para destacar as obras nas paredes e dispostas em mesas, além de trabalhar em conjunto com a luz natural. Na descrição técnica do projeto de iluminação é possível notar que foi utilizada apenas uma família de luminária com suas variações. Na figura 27, a luminária OPTEC é mostrada revelando parte de seus componentes internos, de tal forma que pode-se comparar com o esquema de luminária de tecnologia LED abordado na seção 3.1.2, figura 21.

Figura 27 - Luminária OPTEC

Fonte: (ERCO, 2012)

Os componentes são: (1) Conjunto ótico responsável pela distribuição e formato da luz com as seguintes variações: spot, spot oval, spot pontual ou aberto e *wallwash* (iluminação que banha toda a superfície da parede); (2) Modulo de LEDs em conjunto com lentes colimadoras, este componente também é responsável pelo tipo de luz que será produzido pela luminária podendo variar entre cores RGB ou temperaturas de cor quente, neutra ou fria; (3) Caixa de alumínio responsável pela dissipação do calor do conjunto de LEDs; (5) Driver dimerizável; (6) Circuito de controle do sistema DALI. A figura 28 traz algumas variações da família de luminárias OPTEC.

Figura 28 - Variações de luminárias da família OPTEC- ERCO.

Fonte: (ERCO, 2012)

O conjunto ótico formado por um conjunto de lentes colimadoras e outra camada de lentes que formam a distribuição da luz é uma técnica recorrente utilizada no design das luminárias ERCO, tal como mostra a figura 29. Neste sistema é possível ajustar a distribuição da luz alterando apenas a lente responsável pela distribuição da luz, tal como um projetor.

Figura 29 - Conjunto de lentes colimadoras e de distribuição de luz.

Fonte: (ERCO, 2012)

No museu do Louvre em Lens, revela-se a necessidade de ajustar a iluminação para condições específicas do espaço museológico, “afinando” a luz para cada tipo de exposição.

O caso específico do ambiente hospitalar, a questão não é apenas estética, além da percepção visual fatores fisiológicos são afetados pela qualidade da luz presente no ambiente. Na próxima seção esta questão será melhor detalhada.

3.5 INFLUÊNCIA DA LUZ E COMPRIMENTO DE ONDA SOBRE A PERCEPÇÃO E SAÚDE DO USUÁRIO

A luz, tanto natural quanto artificial, faz parte da paisagem perceptiva do indivíduo. Essa experiência é cíclica e pode ser dividida de uma forma geral sob dois aspectos básicos, o ciclo interno (endógeno) ao organismo e o ciclo de acontecimentos externos ao indivíduo (exógeno). O ciclo interno tem relação com a fisiologia do corpo e o indivíduo, em sua maior parte do tempo, não toma consciência destes acontecimentos, como por exemplo a secreção da melatonina produzida principalmente pela glândula pineal. Os acontecimentos externos ao indivíduo são mais perceptíveis e o indivíduo possui algum grau de domínio sobre os mesmos, como por exemplo, os horários do trabalho ou escolares. Estes marcadores sociais e temporais são objetos de estudos em diferentes áreas do conhecimento e são chamados de *Zeitgeber* (ASCHOF, 1960).

Estes dois ciclos se relacionam intimamente criando uma harmonia entre os acontecimentos fisiológicos do corpo e o ambiente no qual o indivíduo está inserido. Quando existe um descompasso entre o ciclo interno e o ambiente externo ocorrem consequências prejudiciais à saúde, que vão desde a fadiga diurna até a depressão grave. Pode-se observar este fenômeno através de situações já estudadas pela medicina, tal como a síndrome *Jet Lag* que é comum aparecer em indivíduos que fazem viagens intercontinentais com grandes diferenças de fuso horário. Nesse caso, o corpo que estava perfeitamente adaptado a um ciclo dia e noite é repentinamente exposto a outro ciclo atrasado ou adiantado em vários fusos horários. A consequência é a fadiga durante um período, até que o ciclo interno volte a se harmonizar com o ambiente externo, o que acontece por volta de dez dias.

O ciclo circadiano é fortemente influenciado pela ação do hormônio melatonina, responsável, entre outras coisas, pelo relógio biológico, através de um sistema fisiológico e bioquímico complexo que atua diretamente na relação entre estado de alerta e sono do indivíduo. Em indivíduos que não apresentam patologias, sua síntese no corpo humano é ampliada no período de ausência de luz e possui um ciclo de um dia, sua concentração aumenta após às 22:00 h e tem seu pico por volta das 4:00 h, caindo de forma drástica às 9:00 h.

De forma contrária, o hormônio responsável pelo estado de ânimo, a Serotonina, é principalmente secretada durante o dia e pode ser estimulada através de atividades físicas, gerando uma sensação de bem-estar. Da mesma forma, o hormônio Cortisol também é produzido durante o período diurno estimulando o indivíduo para atividades mais intensas e estressantes, sua concentração acontece na parte da manhã, conforme mostra a figura 30.

Figura 30 - Relação entre Temperatura corporal, melatonina e cortisona durante período de 48 horas.

Fonte: (BOMMEL, 2006)

Atualmente, as pesquisas sobre o ciclo circadiano e a relação com a luz vão muito além da variação claro ou escuro. Estudos recentes realizados no Instituto de Pesquisa sobre Iluminação (LCR) em Nova York apontam que o ciclo circadiano pode ser influenciado e modificado não só pela relação de claro e escuro, mas principalmente pela frequência da luz em que o indivíduo está exposto. As pesquisas apontam para o desenvolvimento de um modelo de resposta do ciclo circadiano em função da qualidade da fonte de luz.

Artigos recentes publicados pelo grupo de pesquisa do LCR apontam que o comprimento de onda curta atua de forma direta na supressão da melatonina, dispersando o sono e melhorando a visão e o estado de alerta.

Em alguns casos, a exposição a vários comprimentos de onda (cores) de luz de forma simultânea pode resultar em menos estimulação do sistema circadiano do que resultaria se qualquer cor fosse vista separadamente, um fenômeno conhecido como "oponência espectral". ...Assim, em princípio, o sistema circadiano pode ser capaz de distinguir entre luzes de cores diferentes (FIGUEIRO, 2013).

De forma mais detalhada, em uma das suas pesquisas, 13 pessoas saudáveis foram expostas a iluminação de dispositivos *tablets* com tela de iluminação própria, com a finalidade de leitura ou entretenimento, os participantes passaram por 3 condições de experimento, conforme figura 31.

Figura 31 - Condições de exposição a luz: sem filtro, com filtro laranja e com LED azul.

Fonte: (WOOD, REA, et al., 2013)

Na primeira condição, os participantes utilizavam óculos equipados com LEDs azuis que emitiam comprimentos de onda-curta de 470-nm. Este foi considerado o grupo positivo, pois se sabe que a luz azul fornece um forte estímulo para a supressão da produção da melatonina. Na segunda condição, o mesmo grupo foi equipado com óculos de cor laranja capaz de filtrar a luz de onda-curta, este foi chamado de grupo de controle escuro. A terceira condição não utilizou nenhum tipo de óculos emissor de luz ou filtro.

Os resultados revelaram que, após uma hora de exposição não houve alteração significativa na redução da melatonina em todos os grupos, porém após duas horas, houve uma redução considerável nos dois grupos que não utilizavam filtro para a luz de onda-curta.

A conclusão desta pesquisa aponta para o fato de que o tempo de exposição do ser humano a luz de ondas curtas de 470nm pode ser eficiente para a produção de melatonina e consequentemente alterar o ciclo circadiano dos usuários. Por outro lado, a conclusão também alerta para a necessidade da indústria desenvolver produtos "*circadian-friendly*", ou seja, produtos que sejam

amigáveis com relação ao efeito de produção ou supressão da melatonina nos indivíduos. A pesquisa ainda aponta para a necessidade de produtos que podem estimular a produção de melatonina durante o período da manhã, com a finalidade de estimular o estado de alerta e suprimindo no período da tarde e noite para promover o sono mais tranquilo e profundo (WOOD, REA, *et al.*, 2013).

Outros autores possuem uma abordagem mais detalhada e apontam no mesmo sentido, incluindo a temperatura de cor da luz branca e a quantidade de luz como elementos estimulantes para o mecanismo de estímulo e relaxamento do indivíduo. O cenário criado por (BOMMEL, 2006) exemplifica a distribuição da temperatura da luz branca e a quantidade de luz em Lux em um ambiente de trabalho, levando em consideração os marcadores temporais de início do trabalho, almoço relaxamento, volta ao trabalho, relaxamento e estímulo de bem-estar para volta a casa, conforme figura 32.

Figura 32 - Ciclo circadiano e distribuição da temperatura de cor ao longo do dia.

Fonte: (BOMMEL, 2006)

O tema do ciclo circadiano e sua resposta ao tipo de frequência luminosa é fundamental para a adequação da luminária em determinados ambientes com atividades noturnas, como é o caso de hospitais ou qualquer atividade de serviço 24h. As pesquisas do LCR já apontam para a necessidade de acrescentar este fator no design de novas luminárias, como aborda Figueiro (2013).

O conhecimento de que a luz pode ter um impacto em uma variedade de funções biológicas de maneiras ainda não totalmente compreendidas, tem levado a novas e excitantes pesquisas. Precisamos agora trazer este conhecimento para a prática. O primeiro passo é introduzir novas fontes luminosas e sistemas de iluminação para o mercado, o que irá facilitar a implementação deste "segundo tipo de luz" para o ambiente construído (FIGUEIRO, 2013, p.59).

3.6 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM AMBIENTES HOSPITALARES

Atualmente no Brasil as instalações de iluminação em ambientes hospitalares seguem a norma Iluminação de Ambientes de Trabalho ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

Por ser uma norma voltada exclusivamente para ambientes de trabalho, o foco é garantir segurança, desempenho e conforto visual aos usuários, mas principalmente aos trabalhadores. Apesar deste enfoque laboral, a norma apresenta conceitos extremamente relevantes no que se refere ao conforto visual e indica os principais parâmetros para projetar o projeto luminotécnico adequado. Os principais parâmetros de iluminação para ambientes internos apontados pela norma são (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013):

1. Distribuição da luminância;
2. Iluminância;
3. Ofuscamento;
4. Direcionalidade da luz;
5. Aspectos da cor da luz e superfícies;
6. Cintilação;
7. Luz natural;
8. Manutenção.

Apresentam-se a seguir, de forma resumida, as características destes parâmetros.

1.Distribuição da luminância. Esta característica aborda o nível de adaptação dos olhos em função da quantidade de luz distribuída no ambiente. Uma boa distribuição evita principalmente efeitos inconvenientes de contrastes excessivos e ofuscamentos. Deve-se ter em mente que a luminância é a luz refletida nas superfícies do ambiente, isto é, a luz que permite visualizar o entorno e as características dos objetos. Os raios de luz incidentes nas superfícies, chamado de Iluminância, não são visíveis (VIANA e GONÇALVES, 2007, p. 71).

2. Iluminância é a grandeza luminotécnica que define a quantidade de luz irradiada por fonte luminosa, relacionada à superfície de incidência. O nível de

Iluminância é dado pelo fluxo luminoso (lumens) por unidade de área (m^2), sua unidade de medida é o LUX.

3. Ofuscamento, segundo a norma, é a “sensação produzida por áreas excessivamente brilhantes ou diferenças excessivamente marcadas na luminância dentro do campo de visão de um observador” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). A classificação de ofuscamento gerado pelas fontes luminosas é definido pelo índice de ofuscamento unificado da Comissão Internacional de Iluminação (CIE) conhecido como UGR.

4.Direcionalidade é a forma como determinada fonte de luz pode ser utilizada para destacar objetos, revelar texturas ou criar cenas. A norma aponta também o termo “modelagem” para se referir à qualificação da direcionalidade da luz em um ambiente.

5. Aspectos da cor da luz e superfícies. Neste quesito a norma apresenta a aparência da cor da luz branca em função da temperatura de cor correlata expressa na unidade de medida em Kelvin (K), definindo a seguinte classificação:

Cores quentes: abaixo de 3300 k;

Cores Intermediárias: entre 3300 k a 5300 k;

Cores frias: acima de 5300k.

A norma aponta que a definição desta característica no projeto luminotécnico está em função de questões psicológicas, estéticas e que deve promover o efeito mais próximo da luz natural, mas não especifica de forma precisa como utilizar estas variações.

Quanto à reprodução das cores nas superfícies do ambiente, a norma define o índice de reprodução de cor (Ra), que tem como referência o valor 100 para o máximo de reprodução de cor possível e que atualmente não é possível alcançar com uma fonte luminosa artificial, este índice também pode ser apresentado com as iniciais CRI em alguns catálogos de especificação de lâmpadas ou fontes luminosas.

6. Cintilação é o efeito estroboscópico que uma fonte de luz pode provocar e que deve ser evitada utilizando instalações adequadas. No caso da tecnologia LED este efeito não existe.

7. Luz natural. A norma recomenda o uso da luz natural em função da suas qualidades, mas aponta para a correta distribuição no ambiente interno e alerta

para sua variação ao longo do dia, devendo-se evitar áreas de alto contraste, prevendo o uso de dispositivos de proteção para luz direta (brises, elementos vazados ou persianas).

8. Manutenção. O tempo de utilização e as condições ambientais em que as fontes luminosas operam interferem diretamente na eficiência e sobrevida do sistema de iluminação, por este motivo deve entrar no cálculo de iluminação o fator de manutenção, que leva em consideração as características particulares de cada projeto. As lâmpadas convencionais tanto de filamento quanto as fluorescentes apresentam um decaimento de seu fluxo luminoso bastante acentuado ao longo do período de utilização. Esta curva, no caso de luminárias com LEDs, é muito mais suave permitindo o tempo de manutenção muito superior em relação às demais fontes luminosas.

A norma leva em consideração quatro fatores de manutenção específicos, que somados formam o fator de manutenção, são eles: fluxo luminoso da lâmpada (FMFL), falha por envelhecimento da lâmpada (FSL), redução do fluxo luminoso em função do acúmulo de poeira (FML) e, finalmente, a redução da refletância em função do acúmulo de poeira nas superfícies da sala.

Os parâmetros abordados pela norma são organizados em uma tabela que contém inúmeras atividades laborais, apresentando os valores de iluminância mínimas (lux), índice de ofuscamento unificado (UGR), índice de reprodução de cor (Ra). No quadro 3 apresentam-se os valores para os locais de assistência médica e em destaque para as unidades de internação.

Quadro 3 - Índice de Iluminância para área Locais de Assistência Médica.

Locais de assistência médica	LUX	UGR	Ra	Observações
Salas de espera	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Corredores: durante o dia	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Corredores: durante a noite	50	2	80	Iluminância ao nível do piso.
Quartos com claridade	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Escritório dos funcionários	500	19	80	
Sala dos funcionários	300	19	80	
Enfermarias				
- Iluminação em geral	100	19	80	Iluminância ao nível do piso.
- Iluminação de leitura	300	19	80	
- exame simples	300	19	80	
Exames e tratamento	1000	19	90	
Iluminação noturna, iluminação de observação	5	19	80	

Continua

Continuação

Banheiros e toaletes para os pacientes	200	22	80	
Salas de exames em geral	500	19	90	
Exames do ouvido e olhos	1000		90	Luminária para exame local.
Leitura e teste da visão colorida com gráficos de visão	500	16	90	
Escâner com intensificadores de imagem e sistemas de televisão	50	19	80	Para trabalho com VDT, ver4.10.
Salas de dialise	500	19	80	
Salas de dermatologia.	500	19	90	
Salas de endoscopia	300	19	80	
Salas de gesso	500	19	80	
Banhos medicinais	300	19	80	
Massagem e radioterapia	300	19	80	
Salas pré-operatórias e salas de recuperação	500		90	
Cavidade cirúrgica	Especial			Em = 10000lux – 1000000lux
UTI				
- Iluminação em geral	100	19	90	No nível do piso.
- exame simples	300	19	90	No nível do leito.
- exame e tratamento	1000	19	90	No nível do leito.
- observação noturna	20	19	90	
Dentistas				
- Iluminação em geral	500	19	90	Convém que a iluminação seja isenta de ofuscamento para o paciente.
- No paciente	1000		90	Luminária para exame local.
- Cavidade cirúrgica	5000		90	
- Branqueamento dos dentes	5000		90	Tcp > 6000k.
Inspeção de cor (laboratórios)	1000	19	90	Tcp> 5000K.
Salas de esterilização	300	22	80	
Salas de desinfecção	300	22	80	
Salas de autópsia e necrotérios	500	19	90	
Mesa de autópsia e mesa de dissecação	5000		90	Valores maiores que 5000 lux podem ser necessários.

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 21-22)

A norma aponta para valores mínimos de Iluminância, índice de reprodução de cor e UGR, mas a qualidade da iluminação do ambiente é fruto da compreensão das várias condicionantes presentes em cada projeto.

Apenas cumprir os valores apontados pela tabela não significa que o projeto tem boa qualidade de iluminação. No caso de ambientes hospitalares, essa premissa se mostra evidente, pois observando-se apenas a iluminância definida para a unidade de internação (células em destaque na tabela 3), não verificam-se as condições em que o observador, no caso o paciente, está sujeito.

Reforçando esta observação em avaliação pós-ocupação, Costa e Ceolim (2013) apontam:

Os hospitais costumam ser ambientes em que a obtenção de um sono de boa qualidade constitui um desafio. O sono no hospital pode não ser repousante nem restaurador e as razões para tal podem ser categorizadas em três grupos de fatores: ambientais (por exemplo, ruídos altos e iluminação excessiva), fisiológicos ou orgânicos (tais como dor e náuseas) e psicológicos (dentre eles, ansiedade e angústia).

Os fatores responsáveis pelo sono perturbado em maior proporção de pacientes foram a iluminação excessiva (34,2%), o recebimento de cuidados pela equipe de enfermagem (33,3%) e os distúrbios orgânicos como dor e fadiga (26,5%) (COSTA e CEOLIM, 2013, p. 47).

Conforme aponta a pesquisa, os fatores ambientais, principalmente iluminação excessiva, deveriam ser mitigados, pois os fatores orgânicos e de cuidados da equipe médica não são tangíveis pelo projeto de iluminação. Por outro lado, a iluminação adequada pode contribuir para o bem-estar e diminuição do estresse, contribuindo de forma significativa para a recuperação do paciente.

Na unidade de internação é usual a utilização de no mínimo dois tipos de fontes de iluminação, uma geral situada no forro ou teto e outra na parede situada na parte superior do leito, outras fontes para iluminação localizada para exames, observação e vigília também são empregadas.

Segundo Peccin (2002), grande parte do desconforto visual do paciente é causado pelo efeito de ofuscamento em seu campo visual. Para tanto é recomendado o uso de difusores de luz nas fontes luminosas.

Nos hospitais, o ofuscamento do sistema de iluminação artificial decorre de duas causas básicas: a luminância excessiva da fonte de luz e a localização das luminárias no campo visual do paciente...(deitados e reclinados no leito).

[...]As refletâncias especulares são outra fonte potencial de ofuscamento da iluminação artificial. Elas são o resultado da luminância das fontes de luz refletidas em superfícies polidas (PECCIN, 2002, p. 47).

Por outro lado, através da tecnologia LED pode-se desenvolver luminárias que atuem de forma dinâmica, pois em alguns momentos o grupo de usuários formado por médicos e enfermeiros necessita de iluminação mais intensa e que

realmente provoque certo desconforto ao paciente, mas na maior parte do tempo a luminária pode ser ajustada para iluminação mais confortável para o paciente e visitantes de forma individualizada.

No caso da unidade de internação, UTI, salas de exames, fica evidente que as necessidades são específicas, dificultando a especificação das fontes de luz. Para suprir esta necessidade se faz necessário o desenvolvimento de novas linhas de luminárias com maior qualidade voltada para uso hospitalar e maior capacidade de configurações. Neste sentido, o próximo capítulo aborda a questão da qualidade e como este enfoque pode auxiliar no desenvolvimento de novos produtos.

4 CONCEITOS DO PLANEJAMENTO DA QUALIDADE

Assim como o conceito de design pode sofrer variações dependendo da área de abordagem, a palavra qualidade também possui diferentes interpretações. De forma geral existem duas vertentes dominantes: uma que identifica a qualidade do ponto de vista objetivo e quantificável e outra do ponto de vista subjetivo e de difícil mensuração. Por exemplo, pode-se analisar qualidades da luz natural em um ambiente arquitetônico sob as características da sua faixa espectral, fluxo luminoso ou sua geometria. Por outro lado, é muito mais difícil identificar os efeitos psicológicos desta mesma luz sob a percepção do ser humano, cultura, memória afetiva que são características subjetivas.

Com o objetivo de minimizar os efeitos da interpretação pessoal sobre as diretrizes de design que foram criados neste trabalho, tomou-se como referência o método que parte das necessidades do usuário para chegar às qualidades necessárias para formação das diretrizes de design. Este método é fruto do desenvolvimento do conceito do termo qualidade na área de manufatura industrial, dessa forma, faz-se necessário contextualizar este conceito para, em seguida, aplicar o método escolhido.

No início da produção industrial o conceito de qualidade estava ligado ao produto e à excelência fabril ou na dimensão técnica do mesmo, essa interpretação durou aproximadamente até a década de 1940. Através deste conceito, um produto seria considerado de qualidade se fosse bem construído e funcionasse de forma adequada. Podemos interpretar esse momento da indústria como uma fase de amadurecimento técnico, pois ainda não era tão simples construir carros ou outros bens de consumo que não quebrassem com certa frequência. O período da segunda guerra mundial forçou o aprimoramento técnico de máquinas, melhorando o funcionamento, a precisão mecânica e a durabilidade dos bens de consumo, além de melhorias significativas do processo de produção (GOMES, 2004).

Nas décadas de 1950 e 1960 surgem novos enfoques sobre o conceito da qualidade desenvolvidos pelos chamados “gurus da qualidade”, que identificam a qualidade como a satisfação das necessidades do cliente. Neste momento a qualidade técnica não é o fator preponderante, mas o que define a qualidade do produto é a satisfação do consumidor. A partir da década de 1970, definições

complementares sobre a qualidade foram desenvolvidas seguindo principalmente três correntes. A primeira definia a qualidade como uma “adequação ao uso”⁷, a segunda como a “conformidade com requisitos”⁸ e a terceira como “a perda, mensurável, que um produto impõe à sociedade após o seu embarque (após deixar a empresa), com exceção das perdas causadas por sua função intrínseca.”⁹ (TOLEDO, BORRÁS, *et al.*, 2013).

Estas interpretações da qualidade ampliam o conceito de produto, saindo do objeto para a ideia de relação, isto é, uma experiência que o consumidor estabelece com determinado objeto.

Figura 33 - Relação entre produto e usuário.

Fonte: (TOLEDO, BORRÁS, *et al.*, 2013, p. 3)

Ao mesmo tempo em que o conceito de qualidade evoluiu, novos métodos de gerenciamento da produção foram criados com o objetivo de garantir melhorias contínuas. O processo de produção e de criação de novos produtos foram destrinchados, revelando etapas e múltiplas relações entre as mesmas.

Não cabe nesta tese explorar todos os métodos, pois esta área é tão vasta e específica quanto a história da própria indústria. Mas cabe neste trabalho,

⁷ Definição da qualidade segundo Juran.

⁸ Definição da qualidade segundo Crosby.

⁹ Definição da qualidade segundo Taguchi.

introduzir em função do método que será utilizado para a criação de diretrizes de design.

Segundo Miguel (2008), de uma forma geral, o planejamento da qualidade pode ser dividido em oito etapas, apresentadas na figura 34. Estas oito etapas são constantemente retroalimentadas, motivo pelo qual o processo de gerenciamento é dinâmico e muitas vezes complexo, devido a quantidade de informação envolvida.

Figura 34 - As oito etapas do planejamento da qualidade.

Fonte: (CHENG, SCAPIN, et al., 1995)

Essas etapas formam esquemas cíclicos, que de forma simplificada, representam as ações de: Planejamento - Desenvolvimento de lote piloto – Produção e manutenção da qualidade e satisfação do cliente. Este ciclo é conhecido de PDCA (*Plan-Do-Check-Action*). Em função desta forma global de interpretação da criação de produtos, ferramentas e métodos específicos foram elaborados, tanto para o gerenciamento, quanto para o desenvolvimento de inovações em produtos já existentes. O quadro 4 apresenta o resumo desses métodos.

Quadro 4 - Exemplos de métodos e técnicas utilizadas no desenvolvimento de produtos.

Sigla	Definição
DFM/DFA	Métodos que levam em consideração a função, forma, material, fabricação e a montagem de cada componente de modo a desenvolver um produto funcional simples, minimizando os custos do produto em relação à manufatura e à montagem.
DOE	Consiste numa série de ferramentas estatísticas voltadas para planejamento e avaliação de experimentos; dentre as ferramentas podem ser citadas a análise de variância (ANOVA) e arranjos ortogonais.
FMEA	Método analítico para identificar e documentar de forma sistemática falhas em potencial, de maneira a eliminá-las ou reduzir a probabilidade de ocorrência.
FTA	Método analítico para identificar as possíveis razões e analisar possíveis falhas em sistemas, componentes e processos.
QFD	Método para traduzir os requisitos dos clientes em especificações (características da qualidade) de um produto.
VE/VA	Método analítico para avaliar a distribuição dos custos por valor de cada função do produto / componente.

Fonte: (MIGUEL, 2008, p. 45)

Como é possível observar, cada método apresenta enfoques distintos, como a forma, materiais, custos, falhas de processo, satisfação do cliente.

Para esta tese o enfoque é claramente a satisfação dos grupos de usuários, pois como já foi abordado anteriormente, o design adequado deve levar em consideração o usuário e sua relação com o espaço e a iluminação do lugar.

Neste sentido, foi definido que o método mais conveniente para gerar diretrizes de design é o método do desdobramento da função qualidade ou QFD, que será melhor investigado no capítulo 5. Antes porém, será apresentado na seção 4.1 a experiência da empresa Light Insight em desenvolver produtos através do método de desenvolvimento integrado do produto, tal experiência serviu de fonte de referência para os dados de entrada para o método QFD.

4.1 APLICAÇÃO DA TEORIA DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTO EM EXPERIÊNCIAS ANTERIORES

Esta seção tem o objetivo de apresentar a experiência de aplicação da teoria de desenvolvimento integrado de produto pela qual o autor passou nos anos de 2010 e 2011, atuando como sócio e diretor de criação da empresa Light Insight Iluminação (LI), e promover ao final uma reflexão sobre a aplicação dessa metodologia.

O projeto de desenvolvimento de novos produtos utilizando o desenvolvimento integrado só foi possível por meio do programa oferecido pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), chamado PRIME (Primeira Empresa Inovadora), que teve como objetivo estimular empresas recém-criadas e que tinham o caráter inovador em seus produtos a atingirem melhorias de qualidade e consolidação de seus produtos ou serviços. A empresa LI apresentou em sua proposta ao PRIME, entre outras demandas, a necessidade de desenvolver uma metodologia para a criação de novos produtos. Em 2010 a LI foi contemplada pelo programa PRIME e a partir daquele momento começou a desenvolver em conjunto com a empresa Hight Think Consultoria o estudo para a implantação do desenvolvimento integrado de produtos.

O processo de implantação do desenvolvimento integrado de produto durou cerca de 10 meses, para tanto foi necessário formar uma equipe que se reunia, quase semanalmente, para gerar uma cultura de gestão e incorporar o conceito de desenvolvimento integrado na criação de novos produtos.

A experiência promoveu para o diretor de criação a incorporação da metodologia de desenvolvimento integrado de produto, alinhando o planejamento de plataforma de novos produtos ligados à produção de luminárias com tecnologia LED, incorporando o planejamento estratégico de marketing e as tecnologias produtivas utilizadas pela empresa.

Foi utilizado como referência teórica principal o livro *Gestão de Desenvolvimento de Produtos* (ROZENFELD, FORCELLINI, *et al.*, 2006).

4.1.1 Incorporação do Método de Desenvolvimento Integrado do Produto

Anteriormente à aplicação do modelo de desenvolvimento integrado do produto, o design era gerado de forma independente e autoral, dessa forma não

permitia o entendimento de famílias de produtos ou não atendia de forma clara e objetiva às intenções estratégicas e de marketing desenvolvidas na empresa.

Dentre as características principais percebidas pela equipe de projeto na abordagem de Desenvolvimento Integrado do Produto (ROZENFELD, FORCELLINI *et al.*, 2006), podemos apresentar como os mais relevantes para aquele momento da empresa:

O desenvolvimento de produtos é visto como um processo. A P&D e o desenvolvimento de produtos são inseridos na estratégia geral da empresa e de sua cultura. O uso de projetos plataforma e modularizados para criar grande variedade de produtos, atendendo aos diferentes segmentos, com baixo investimento. O desenvolvimento de tecnologias e de produtos é visto como fundamental para a estratégia e a capacidade competitiva da empresa, e faz parte das preocupações maiores da alta administração. Há simultaneidade e superposição de informações e de atividades (ROZENFELD, FORCELLINI, *et al.*, 2006, p.19).

O método de aplicação deste processo na empresa seguiu três fases, conforme figura 35: (1) Aquisição de informações da estratégia e do mercado, (2) Análise das características e competitividade do produto e (3) Planejamento da Plataforma de Novos Produtos.

Figura 35 - Fases da implantação do desenvolvimento integrado do produto na empresa LI

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Na primeira fase foi realizado o levantamento e análise das informações estratégicas do negócio e do mercado relacionadas a luminárias com LEDs. Na segunda fase foram analisadas as características do produto da empresa para definição da sua competitividade frente aos concorrentes e para avaliação das características prioritárias para atender às necessidades do mercado e do negócio. Por fim, na terceira fase foi definido o planejamento de lançamento da plataforma dos novos produtos no mercado, de acordo com as características prioritárias do produto e as estratégias do negócio e de mercado.

Na seção seguinte o caminho percorrido em cada fase do desenvolvimento das luminárias e suas implicações.

4.1.2 FASE 1 – Direcionadores estratégicos de mercado e negócio

A oportunidade observada naquele momento decorria da possibilidade de mudança do padrão tecnológico de iluminação arquitetônica, de lâmpadas convencionais (incandescentes, halógenas e fluorescentes) para LEDs de alto brilho.

As informações de mercado e das estratégias do negócio relacionadas aos novos produtos foram obtidos através do levantamento estratégico do setor de iluminação fornecido pela Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX, 2005), além de visitas em feiras do setor e no próprio mercado, visitando lojas e sites nacionais e do exterior.

Segundo o relatório da OIDA (*Optoelectronics Industry Development Association*) de 2007, as vendas mundiais de LEDs de alta potência para o mercado de iluminação ultrapassaram US\$ 300 milhões e com expectativa de superar US\$ 3 bilhões em 2017. Tratava-se de um fenômeno mundial que deveria seguir a mesma trajetória no Brasil.

No mercado brasileiro verificou-se, naquela época, pouca aplicação de LEDs de alto brilho em luminárias portáteis de alto padrão, o que justificava o interesse da empresa em atuar nesta lacuna de mercado.

Existiam outros segmentos também relacionados com o negócio de iluminação, no entanto, a empresa não os considerava em seu foco de atuação. Alguns exemplos são: lustres, arandelas, spots e plafons. Este segmento possui maior complexidade de produção e inserção no mercado, pois requer maiores investimentos, tem menores margens de lucro e menor valor agregado, algumas vezes, próximos de commodities e já tinham grandes empresas do setor ocupando o espaço, tais como a Osram ou Philips.

Naquele momento, em 2010, não foram encontrados dados atualizados de produção e vendas relacionados às lâmpadas convencionais ou LEDs na indústria de iluminação. Os dados mais recentes eram os da Pesquisa do IBGE de 2005, que reporta o valor das vendas inserido na classe de atividade e

descrição dos produtos lustres, luminárias, abajures e outros aparelhos de iluminação elétrica.

Por outro lado, o levantamento da Abilux, de 2005, sobre o Estágio Tecnológico do Setor de Iluminação, trazia dados relevantes e estratégicos para a empresa. A seguir apresentamos alguns dados sobre a atuação dos designers no setor de iluminação. Estes dados ainda não foram atualizados em 2016.

De acordo com o levantamento, a maioria das empresas, 71%, atribuíam grande importância à aplicação do design no desenvolvimento de seus produtos, 15% davam grau de importância médio e 14% se dividem em pouca, nenhuma e não responderam. Outro dado importante é o fato de que 79% dos responsáveis pela criação dos produtos pertenciam ao quadro de colaboradores internos das empresas.

Apenas com esses dados seria possível acreditar que o setor era bem apoiado na questão do design. No entanto, ao analisar-se a formação dos responsáveis pela área de design observa-se um fato preocupante, pois 75% dos profissionais não possuíam formação para esta atividade e dividiam-se em engenheiros 34%, técnicos 16%, administradores 15%, tecnólogos 3%, e outros 15%. Além desses dados, observou-se que 79% das empresas nunca contrataram o serviço de design para o desenvolvimento de produtos.

Portanto, apesar da grande importância dada à área de design, não é possível afirmar que o design como ferramenta de desenvolvimento de projetos fosse aplicado de forma coerente nas empresas. Muitas vezes, a visão de empresários sobre a ação do designer se restringia ao empacotamento do produto em uma casca.

Além da análise do levantamento do setor, foi realizada uma visita à feira ExpoLux 2010, visando verificar a situação e identificar as tendências do setor de iluminação, especialmente, para as luminárias de mesa, de piso e abajur. Com base nesta visita, foram observados “direcionadores de mercado”, isto é, características dos produtos observados no mercado que em comparação com os produtos da LI já estavam presentes ou deveriam estar no futuro nos segmentos de luminárias de mesa, abajur e luminária de chão, conforme o quadro 5.

Quadro 5 - Tabela de direcionadores de mercado (Características existentes e futuras)

Direcionadores de mercado	Segmento	Tempo
Acabamentos em acrílico, cromado, cores (branco/preto) - combinação alumínio acrílico	Todos	Presente
Combinação dos materiais alumínio e acrílico	Todos	Presente
Uso de LED como fonte de luz	Todos	Atual-Futuro
Presença de interatividade com o usuário (dimerização intensidade e cor de luz)	Todos	Futuro
Livre deslocamento da luminária (sem-fio)	Mesa e Abajur	Futuro
Uso de fontes de energia alternativas (ex. USB)	Todos	Presente-Futuro
Capacidade de direcionamento da fonte de luz	Mesa e Abajur	Presente
Uso de botão de acionamento na base	Mesa	Presente
Uso de botão de acionamento no fio	Abajur	Presente
Uso de botão de acionamento no chão para pisar	Chão	Presente
Foco da luz dispersa	Mesa	Presente
Estrutura em haste, base e cúpula	Abajur	Presente
Cúpulas grandes, em torno de 60cm	Abajur	Presente
Ausência de modularização	Todos	Presente

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Além dos direcionadores de mercado a empresa tinha o compromisso de apresentar em seus produtos as seguintes características gerais:

1. Características funcionais: conforto visual, qualidade de iluminação, ergonomia, interação produto/usuário (*user-friendly*);
2. Características subjetivas: aconchego, bem-estar, beleza, exclusivo;
3. Características de identidade: status, a identificação com a marca, sofisticação, respeito ao meio ambiente, criativa, inovadora.

Para atingir com sucesso a implementação dessas características de forma integral, foi importante elaborar o modelo de negócio posicionando a marca LI em três fundamentos que deveriam permear todas as ações da empresa, são elas:

1. Design: Não limitado a forma do produto, pois, pretendia responder a questões funcionais, ergonômicas, do meio ambiente, da economia de energia, de durabilidade ao expressar o estado da técnica. Deveria, também, utilizar

elementos de linguagem das luminárias na comunicação do produto com conceitos subjetivos.

2. Tecnologia: Uso de LEDs de alta potência e funcionalidades relacionadas à interatividade produto-usuário, inovadoras em luminárias.

3. Sustentabilidade: Expressa não só pelo uso de madeira com documentação de origem florestal nos produtos como, também, em todas as práticas de gestão do negócio.

4.1.3 FASE 2 – Características e competitividade do produto

Esta fase foi marcada pela sua intensa atividade criativa envolvendo diferentes aspectos do produto e do negócio.

A modelagem funcional auxilia o time de projeto a descrever os produtos em um nível abstrato, possibilitando a obtenção da estrutura de produto sem restringir o espaço de pesquisa a soluções específicas. Os modelos funcionais permitem que o produto seja representado por meio das suas funcionalidades, ou seja, por meio das suas funções – tanto aquelas realizadas externamente ao produto em sua interação com o ambiente quanto as funções internas ao produto, realizadas pelas suas partes (ROZENFELD, FORCELLINI *et al.*, 2006, p. 237).

Inicialmente foram identificadas as dimensões de desempenho dos produtos da empresa por meio da realização de um *brainstorming* auxiliado por um quadro visual, conforme figura 36. Este processo teve como finalidade modelar funcionalmente o produto.

Figura 36 - Quadro de brainstorming.

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Foram identificadas as seguintes dimensões de desempenho do produto, conforme quadro 6.

Quadro 6 - Dimensões de desempenho do produto.

Dimensões	Descrição
Custo do produto	Compreende a soma dos custos incorridos na produção do produto (custos diretos: matéria prima, mão de obra, produção etc; e custos indiretos: desenvolvimento, administração, vendas, infraestrutura etc).
Efeito de Iluminação	Percepção do usuário em relação as características da iluminação (forma, cor, intensidade, etc.) gerada pelo produto
Fabricação	Tipos de processo utilizados na fabricação, montagem e embalagem da luminária e seus componentes.
Durabilidade	Tempo que o produto permanece em perfeito funcionamento sem manutenção
Forma	Características visuais do produto
Eco-design	Utilização de conceitos e soluções com menor impacto ambiental
Manutenção	Correção ou troca de componentes do produto que não estão executando sua função de forma adequada
Embalagem	Solução de embalagem para distribuição do produto
Regulamentação	Normas e procedimentos que orientam o desenvolvimento, fabricação e comercialização do produto
Funcionalidade	Tipo de iluminação gerada pelo produto (escritório, residência, comercial etc)

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Em seguida, a partir dessas dimensões foram definidos os atributos dos produtos da empresa e suas possíveis variações, conforme quadro 7. Neste momento também foram analisadas as características dos produtos desenvolvidos, que estão descritos no anexo I.

Quadro 7 - Atributos de produto.

Atributos	Descrição	Variações
Material	Tipos de materiais predominantes no produto	Madeira, alumínio, acrílico
Acabamento	Tipo de acabamento dados aos materiais do produto	Madeira: verniz francês, selador, cera, verniz comum. Metais: adonisado, cromado, escovado; Pintura
Características do Conjunto Ótico	Tamanho e forma do conjunto ótico do produto	Circular, linear, retangular
Efeito de luz	Forma e intensidade de propagação da luz	Difuso, prismático, focado, indireta
Fonte de Luz	Tipo de tecnologia usada para geração da luz	Incandescente, fluorescente, LEDs, OLEDs
Características da Estrutura	Conceito funcional utilizado na estrutura do produto	Integral, modular, com articulações, com ou sem base independente
Configuração do driver	Localização e quantidade de Leds	Interno, externo ou integrado no conjunto ótico, com ou sem caixa, para 3 leds, para 4 leds, para 6 leds
Interatividade com usuário	Opções de interação do produto com o usuário	Dimerização da intensidade luminosa, da temperatura de cor. Deslocamento da luminária por bateria (portabilidade da luminária), Teclas sensíveis ao toque (touchscreen)
Geometria	Conceito de formas usados no produto	Retângulo, círculo, quadrado, triângulo, trapézio, etc.
Processo de Fabricação/Montagem	Processos de manufatura e montagem	Corte, furação (com e sem rosca), fresa, torneamento, pintura (por banho, selador, verniz).
Componentes Elétricos	Soluções elétricas usada no produto	Fios internos, externos, fonte chaveada, plugues, bateria, interruptor, botão
Embalagem	Solução de embalagem usada no produto	Papel ondulado, espuma, isopor, plástico bolha, saco de ar
Características na embalagem	Tamanho e forma do produto dentro da embalagem	Integral, pré-montado, dobrado, desmontado
Volume (dimensões)	Tamanho do produto montado e em funcionamento	Pequena (mesa), média e grande (chão)
Preço Venda	Preço de venda do produto para o cliente final	-

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Para a realização da análise competitiva do produto foram (1) definidos os concorrentes e os respectivos produtos para análise, (2) avaliados os atributos e tecnologias dos produtos dos concorrentes e, por fim, (3) realizada a análise

comparativa entre os produtos dos concorrentes e os produtos da empresa. Os quadros 8, 9 e 10 mostram a análise por tipo de produto (Luminária de Mesa, Luminária Abajur e Luminária de Chão). Os atributos em destaque foram considerados fatores importantes de diferenciação entre as luminárias em função das análises obtidas em visitas ao mercado e análise de produtos concorrentes.

Quadro 8 - Análise competitiva do produto tipo luminária de mesa.

Atributos de produto	LI N.15	Itis (Naoto Fukasawa)	Led it be	Herman Miller
Material	base madeira, estrutura acrílico e difusor alumínio	Base em zamac (liga de zinco, magnésio, alumínio e cobre); estrutura metal ?, difusor policarbonato e metal	estrutura metálica	Base e estrutura em alumínio
Acabamento	selador na madeira	metal pintado de branco ou preto (pintura eletrostática)	metal pintado (várias opções de cores)	alumínio pintado (várias opções de cores)
Características do Conjunto Ótico	circular - 8 cm	circular - 12 cm	circular - parece pequeno (em torno 3-4 cm)	retangular
Efeito de Luz	focado	?	bem focado	?
Fonte de Luz	3 LEDs - 1,3W - branco neutro	1 (um) LED - 5W - branco/quente	1 (um) LED - 1W	20 TopLeds - X W
Características da Estrutura	Integral: base, estrutura e conjunto ótico. Uma articulação vertical no conjunto ótico	base, estrutura e conjunto ótico. Duas articulações: vertical no conjunto ótico, e vertical na base	base, estrutura e conjunto ótico. Estrutura tubular flexível	base gira 180°, inclina 25,5° para frente e 23° para trás. Folha superior se articula a um ângulo de 210°.
Configuração do driver	driver interno na base	?	driver interno na base	?
Interatividade com usuário	não possui	dimerização (controle intensidade de luz)	não possui	dimerização (controle intensidade e tipo de luz branca)
Geometria	base trapézio, estrutura retangular, conjunto ótico circular	base circular, estrutura tubular, conjunto ótico circular	base cilindro chanfrado, estrutura tubular curva, conjunto ótico cilindro chanfrado	base circular chanfrado, estrutura folha c/ curva, conjunto ótico retangular
Componentes Elétricos	1 fio externo para ligação na energia, interruptor no fio	1 fio externo para ligação na energia, interruptor na base. Proteção IP 20; Classe III	1 fio externo para ligação na energia, interruptor na base	1 fio externo para ligação na energia, interruptor na base
Volume (dimensões)	35cm x 13 cm largura x 26 cm profund.	40cm altura; 35 cm inclinada; 51 cm dobrada. 12 cm diâmetro cj. ótico	?	?
Preço na loja	R\$ 1.119,42	Loja Gabriel Monteiro: R\$ 2850,00. No site loja.inexistencia.com: R\$ 665,47 + aduadeira	R\$ 1.010,00	R\$ 2.000,00
Vendido no Brasil	sim	sim	sim	sim

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Quadro 9 - - Análise competitiva do produto tipo luminária abajur.

Atributos de produto	LighInsight N.14	Califórnia Pássaro (Art Maison)	Folha (Art Maison)	Hanna PR (TYG)
Material	base e estrutura madeira, difusor acrílico	base e estrutura em madeira, difusor tecido laminado	tecido laminado - corte a laser	acrílico
Acabamento	selador na madeira	? Opções de cores: Mogno, marfim, branco, preto, areia, magnólia	? Opções de cores: Mogno, marfim, branco, preto, areia, magnólia	preto ou branco
Características do Conjunto Ótico	linear	?	?	?
Efeito de luz	difuso, indireta	difuso, indireta	difuso, indireta	indireta
Fonte de Luz	4 LEDs - 1,3W - branco neutro	incandescente ?	incandescente ?	1 pl eletrônica E-27 15w
Características da Estrutura	Integral: base, estrutura e conjunto ótico. Não há articulações	Integral: base, estrutura. Não há articulações	Integral: estrutura, difusor. Não há articulações	Integral: base e estrutura. Não há articulações.
Configuração do driver	driver externo	-	-	-
Interatividade com usuário	não possui	não possui	não possui	não possui
Geometria	base e estrutura retangular, conjunto ótico linear	base circular, estrutura e difusor cilíndrico	cilíndrica	cubo
Componentes Elétricos	1 fio externo para ligação na energia, 1 fio externo luminária-driver, interruptor no driver	1 fio externo para ligação na energia, interruptor ?	1 fio externo para ligação na energia, interruptor ?	1 fio externo para ligação na energia, interruptor ?
Volume (dimensões)	42 cm altura, 23 cm Largura, 7,5 cm profundidade	35 cm x 55 cm	25 x 60 cm	30 x30 x 25 cm altura
Preço na loja	R\$ 1.096,12	R\$ 1.490,00	R\$ 1.130,00	?
Vendido no Brasil	sim	sim	sim	sim

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Quadro 10 - Análise competitiva do produto tipo luminária de chão.

Atributos de produto	LighInsight N.12	Noblesse (Newline) Nacional	Salomé (Bertolucci) Nacional	Cadmo Floor (Artemide)
Materia	base e estrutura madeira, difusor tecido	base latão, estrutura em madeira	base e estrutura em madeira, difusor tecido (jacquard creme ou vermelho)	Base em zamac (liga de zinco, magnésio, alumínio e cobre). Estrutura em alumínio
Acabamento	selador na madeira	Madeira: acabamento imbuia com verniz castanho.Latão cromado.	Madeira: acabamento tipo carvalho	preto ou branco
Características do Conjunto Ótico	linear	?	?	?
Efeito de luz	difuso, indireta	indireta	indireta	indredta para cima, difusa na vertical
Fonte de Luz	6 LEDs - 1,3W - branco neutro	1 halógena palito de 300 W	1 E7 - 100 W	1 x 300W max halogena R7 e 1 x 60W max incandescente E27
Características da Estrutura	Integral: base, estrutura e conjunto ótico. Não há articulações	Integral: base, estrutura e conjunto ótico. Não há articulações	Integral: base, estrutura e conjunto ótico. Não há articulações	Integral: base, estrutura e conjunto ótico. Não há articulações
Configuração do driver	driver interno	-	-	-
Interatividade com usuário	não possui	não possui	não possui	dimerização da intensidade luminosa, seletor (switch) para direcionamento da luz
Geometria	base quadrada, estrutura retangular, conjunto ótico linear	base quadrada, estrutura linear com curva	base retangular, estrutura retangular vazada	base circular, estrutura cilíndrica vazada
Componentes Elétricos	1 fio externo para ligação na energia, interruptor na estrutura	1 fio externo para ligação na energia, interruptor no fio externo	1 fio externo para ligação na energia, interruptor no fio externo	1 fio externo para ligação na energia, interruptor ? Proteção IP 20.
Volume (dimensões)	1,70 m altura, 46 cm largura, 40 cm profundidade	1,765 m altura, largura: profundidade 5 cm: Base: 30 x 30 cm	1,78 altura. Base: ? . Diâmetro da cúpula: 54 cm	1,74 altura. Base 32 cm diâmetro
Preço na loja	R\$ 3.067,06	R\$ 1313,00 (15/04/2008)	R\$ 1.800,00	No site loja.inexistencia.com: R\$ 2831,37 + aduadeira
Vendido no Brasil	sim	sim	sim	sim (La Lampe)

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Por fim, a partir dos direcionadores de mercado e do negócio, foram definidos os atributos de produtos considerados importantes para o tipo de produto comercializado pela empresa. Essa prioridade representava os atributos

que deveriam ser atentados durante o planejamento da plataforma de novos produtos, conforme quadro 11.

Quadro 11 - Atributos Priorizados.

Atributos Produto	Prioridade Mercado	Prioridade Negócio
Material	Alta	Alta
Acabamento	Alta	Média
Características do Conjunto Ótico	Baixa	Baixa
Efeito de luz	Alta	Média
Fonte de Luz	Média	Alta
Características da Estrutura	Alta	Alta
Driver	Média	Alta
Interatividade com usuário	Alta	Alta
Geometria	Alta	Alta
Processo de Fabricação/Montagem	Baixa	Alta
Componentes Elétricos	Baixa	Alta
Embalagem	Baixa	Baixa
Características na embalagem	Baixa	Média
Volume (dimensões)	Média	Baixa
Preço Venda	Alta	Alta

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

4.1.4 FASE 3 – Planejamento da plataforma de novos produtos

A definição da plataforma de produtos utilizou como estrutura um quadro de planejamento de mercado e produto, segundo a estrutura apresentada no quadro 12.

Quadro 12 - Estrutura do quadro de planejamento da plataforma de produtos.

		2010	2011	2012
Linhas de Mercado	Aconchegante			
	Alta Tecnologia			
	Minimalista			
	Orgânico			
Linhas de Produto	Luminárias de Mesa			
	Luminárias Abajur			
	Luminárias de Chão			
Atributos de Produto	Material			
	Acabamento			
	Acabamento			
	Fonte de Luz			
	Driver			
	Características da Estrutura			
	Interatividade com usuário			
	Efeito de Luz			

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Este quadro foi utilizado durante o processo de construção da plataforma dos novos produtos, e foi realizada de forma interativa com os participantes da empresa e consultores. Algumas questões consideradas no planejamento da plataforma foram:

- 1.Capacidade de desenvolvimento de novos produtos;
- 2.Estratégia de lançamento no mercado;
- 3.Fatores de diferenciação entre os produtos;
- 4.Plataforma tecnológica comum entre os produtos;
- 5.Necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias;
- 6.Alinhamento com datas de eventos relacionados com o lançamento dos novos produtos.

Na estrutura do quadro de planejamento, foram utilizadas três camadas: atributos de produto, linhas de produto e linhas de mercado. Os atributos de produto são resultados da etapa de análise das características do produto. As linhas de produto representavam as linhas já existentes na empresa: luminárias de mesa, luminárias abajur e luminárias de chão. E as linhas de mercado definem a linguagem visual dos produtos.

No caso das linhas de mercado, essas ainda não estavam definidas, portanto foi feita uma atividade de definição. Essa definição consistiu em uma proposta inicial para o direcionamento dos novos produtos em relação à segmentação no mercado. No entanto, essa deveria ser atualizada com a evolução das tendências do mercado e do posicionamento estratégico da empresa. O quadro 13 descreve as linhas de mercado definidas.

Quadro 13 - Linhas de Mercado.

Linha de Mercado	Descrição
Linha Aconchegante	Luz mais quente, madeira, tecido, maior tamanho e maior peso
Linha Alta Tecnologia	Luz mais fria (azulada), combinação alumínio + acrílico, luz focada, movimentação do foco de luz, funcionalidades tecnológicas (touchscreen, wireless, USB), volumes pequenos, hastes finas
Linha Minimalista	Funções básicas, leveza, transparência, integralidade + unidade (um ou poucos materiais), formar puras (único tipo de forma), única fonte de luz mais forte
Linha Orgânica	Uso de regras de forma relacionadas a natureza (fibonacci, lei áurea, proporção pi), uso de design "brasileiro" por meio da utilização de materiais orgânicos

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

O planejamento da plataforma de desenvolvimento de novos produtos desenvolvida para a empresa está representado no quadro 14. No anexo II encontra-se uma descrição dos conceitos dos novos produtos propostos para a plataforma.

Quadro 14 - - Quadro de planejamento - Plataforma de novos produtos.

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

4.1.5 Reflexão sobre os resultados obtidos pela aplicação do desenvolvimento integrado de novos produtos

A aplicação dos conceitos de gestão de desenvolvimento integrado do produto, gerou na equipe de projeto uma visão ampla e metodológica das etapas de projeto, além de definir com maior precisão as características principais e diretrizes de projeto que deveriam ser respeitadas para os novos produtos. Este processo foi enriquecedor e apresentou frutos de forma efetiva. Logo nos primeiros produtos desenvolvidos através desta plataforma, a empresa recebeu a premiação Abilux Design de Luminárias, da Associação Brasileira de Iluminação, com os produtos Light Insight N°15 (primeiro lugar) e Light Insight N°14 (segundo lugar), além de ter sido convidada para participação em exposições de design no Museu da Casa Brasileira em São Paulo e recebida a premiação de Empresa Inovadora em 2011 pela CNI (Confederação Nacional das Indústrias).

Após esse processo a empresa passou a competir de forma direta com produtos chineses que entraram no mercado através de empresas já estabelecidas no setor, que deixaram de desenvolver novos produtos e passaram a importar produtos acabados, provocando assim uma enorme barreira para os produtos da LI se consolidarem no mercado. No segundo semestre de 2011, os diretores da empresa resolveram encerrar as atividades.

Apesar da empresa não ter se consolidado no mercado brasileiro, foi observado que a aplicação da gestão de desenvolvimento de novos produtos e da criação da plataforma de novos produtos aumentou consideravelmente a qualidade dos produtos, além de fornecer informações relevantes para tomadas de decisões de design. Dessa forma, a quantidade de informação gerada pela plataforma de novos produtos abriu a possibilidade de buscar ferramentas de gestão da qualidade para orientar de forma mais adequada o processos de criação fornecendo ao designer maior domínio sobre os dados e o processo em andamento.

O capítulo seguinte apresenta o método de desdobramento da qualidade para gerar diretrizes de design que poderão ser utilizadas pela indústria de iluminação e mais especificamente luminárias com tecnologia LED.

5 METODOLOGIA QFD

O método de desenvolvimento integrado do produto se mostrou eficiente para a realidade da empresa Light Insight Iluminação e para o detalhamento dos componentes dos produtos que seriam desenvolvidos.

Neste trabalho entende-se que antes de aplicar o desenvolvimento integrado do produto é necessário entender as necessidades dos usuários com ênfase no grupo de pacientes, aproximando ao conceito de *design thinking* apresentado anteriormente. Assim, foi aplicado o método QFD que é um método que tem por objetivo transformar as necessidades dos clientes em requisitos técnicos do produto.

O QFD auxilia os projetistas no trabalho em equipe por meio da busca pelo consenso nas diferentes definições sobre o produto. Possibilita o estabelecimento de relações entre necessidades dos clientes e requisitos do projeto, documentar dados de benchmarking, das especificações por meio da definição de valores-meta associados aos requisitos de projeto, verificar os conflitos entre os requisitos de projeto e as dificuldades técnicas associadas a cada requisito (ROZENFELD, FORCELLINI, *et al.*, 2006, p. 227).

O método é formado por um conjunto de matrizes que relacionam às necessidades do cliente, requisitos do produto, comparação com os produtos concorrentes entre outros quesitos. Na figura 37 apresenta-se de forma esquemática a primeira matriz, denominada Casa da Qualidade.

Figura 37 - Matriz da casa qualidade do QFD .

Fonte: Autor baseado em (ROZENFELD, FORCELLINI, et al., 2006, p. 227)

Na figura 37, a célula 1 corresponde às várias expectativas do usuário, a 2 corresponde ao grau de importância dado para cada quesito das expectativas, no campo 3 é inserido o estágio atual dos produtos que estão no mercado, no item 4 será definido os requisitos técnicos do produto. A correlação entre os requisitos apresentados pelos clientes e os do produto são gerados através da matriz de correlação na célula 5. A quantificação dos requisitos irá formar o conjunto de especificações do produto a ser desenvolvido. Na célula 7, “telhado” da casa, serão geradas as interações entre os requisitos do produto (ROZENFELD, FORCELLINI, *et al.*, 2006).

Este modelo teórico deve ser adaptado de acordo com o problema em questão, conforme o exemplo da Casa Qualidade para a melhoria da porta de carro, ilustrado na figura 38.

Figura 38 - Exemplo da Matriz da casa qualidade para a melhoria da porta de um carro – QFD.

Fonte: (MARTINS e LAUGENI, 2005)

5.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO QFD PARA DIRETRIZES DE LUMINÁRIAS EM AMBIENTE HOSPITALAR

O método de Desdobramento da Função Qualidade tem como premissa a satisfação do cliente, neste sentido entender as necessidades do usuário é fundamental. Por este motivo, com a finalidade de aplicar este método, foi adotado o ambiente hospitalar e em especial a unidade de internação e seus grupos de usuários, como forma de obter necessidades tangíveis para a aplicação do método.

As necessidades dos usuários podem ser coletadas de diversas formas, desde questionários para grupos específicos ou através de reclamações obtidas no canal de informações com o cliente.

Para a aplicação do QFD de forma plena, seria necessário implementar o método dentro de uma empresa de luminárias junto com a equipe de

desenvolvimento de produto, com maior destaque a análise de produtos das empresas concorrentes, adequação de produção conforme a tecnologia utilizada pela empresa, análise de custos, além da implantação do produto dentro do ambiente hospitalar e sua avaliação pós ocupação com os próprios usuários.

O método QFD foi utilizado tendo como objetivo principal o entendimento com maior precisão das relações entre necessidade dos usuários e os quesitos técnicos. Neste sentido, o campo de maior importância dentro da matriz QFD foi a Matriz de Relacionamentos (item 5 da Figura 37), pois a partir das relações entre as características técnicas e as necessidades dos usuários é possível criar diretrizes de design consistentes para o desenvolvimento do produto de forma conceitual.

A figura 39 mostra o caminho desenvolvido para se alcançar tanto as diretrizes de design, quanto o desenvolvimento do projeto do modelo conceitual da luminária.

Figura 39 - Sequência de atividades para implementação do método QFD.

Fonte: Autor

No ambiente hospitalar há quatro grupos de usuários. Os pacientes, a equipe médica, funcionários e visitantes. O grupo dos pacientes e visitantes necessita de iluminação aconchegante e acolhedora. O grupo de médicos, enfermeiros e funcionários necessita de iluminação funcional, eficiente e estimulante. Esta divergência de necessidades exige um projeto de iluminação bem elaborado, normalmente criado por arquitetos especialistas em iluminação. Estes profissionais, altamente qualificados, possuem carência quanto a tipos de luminárias para diferentes necessidades em um único projeto, e que sejam eficientes e ambientalmente corretas. Conforme aponta Akao (1996), o uso da tabela ou matriz da qualidade tem por função principal transformar a qualidade

exigida do cliente (mundo do cliente) em características técnicas (mundo da tecnologia) mensuráveis de tal forma que possam ser expressas em unidades de medidas.

Existem algumas formas para se obter informações dos clientes tais como pesquisas de mercado, questionários, promoções com cadastros, entre outras. Neste trabalho, as informações sobre as necessidades dos clientes ou grupo de usuários foram obtidas através de artigos publicados que abordam a questão do ambiente hospitalar, além de visitas no ambiente hospitalar e a própria experiência do autor. Neste sentido, a maior parte das informações não foram obtidas de forma direta, mas sim através de análises de múltiplas fontes especializadas. Esta abordagem encontra consonância com o próprio entendimento sobre a análise da qualidade exigida dos clientes. Segundo Akao (1996, p.47), “deve-se pesquisar e identificar não apenas as exigências evidentes, mas também as exigências latentes, para definir que tipo de “coisa (objeto)” deve ser produzida”.

Atualmente, a iluminação de ambientes hospitalares é realizada com luminárias convencionais usando, na maior parte, a tecnologia de lâmpadas fluorescentes, halógenas e atualmente tecnologia LED. Porém, mesmo a tecnologia LED utilizada não contempla todas as possibilidades de interação que a tecnologia permite, funcionando apenas como uma substituição da tecnologia convencional.

Em de ambientes hospitalares, as vantagens da tecnologia LED devem ser acompanhadas do design apropriado, tendo como objetivo atender às seguintes necessidades:

1. Criar ambiência acolhedora;
2. Promover a relação de confiança e segurança;
3. Permitir acessibilidade e inclusão;
4. Auxiliar na redução de stress;
5. Promover senso de lugar e orientação espacial;
6. Aprimorar a recuperação do paciente;
7. Melhorar a produtividade da equipe;
8. Aumentar a eficiência e diminuir o custo de manutenção;
9. Reduzir o consumo de energia (DALKE, LITTLE, *et al.*, 2006).

A tecnologia LED possibilita criar luminárias com a configuração da temperatura de cor da luz branca ou até mesmo da cor, através da combinação RGB de cada luminária de forma individual ou em grupos, por meio de automação através de protocolos de comunicação, como foi apresentado anteriormente. Assim, é possível gerar uma gama enorme de combinações de cenas, tornando o ambiente hospitalar mutável do ponto de vista da percepção visual, diminuindo a monotonia presente nos projetos de iluminação presos às configurações da instalação elétrica.

A aplicação do método QFD para fornecer diretrizes de design visa a exploração do método como uma forma viável para gerar soluções e inovações em design de luminárias. Ao mesmo tempo visa responder às necessidades de iluminação hospitalar por meio de uma metodologia de gestão de design, considerando as necessidades visuais de pacientes, funcionários, equipe médica e visitantes, seguindo a tendência crescente de humanização do ambiente hospitalar.

A matriz QFD foi formada com o conjunto de requisitos extraídos de pesquisas já realizadas para ambientes hospitalares.

Em 2010, estudo realizado em um hospital no interior de São Paulo elencou um conjunto de fatores que reduzem a qualidade do sono dos pacientes durante o período que estão em recuperação. As conclusões apontam que grande parte dos pacientes relata que a qualidade do sono foi prejudicada em função da quantidade excessiva de luz. Segundo a pesquisa, “os fatores responsáveis pelo sono perturbado em maior proporção de pacientes foram a iluminação excessiva (34,2%), o recebimento de cuidados da equipe de enfermagem (33,3%) e os distúrbios orgânicos como dor e fadiga (26,5%)” (COSTA e CEOLIM, 2013, p. 51).

Além dessa conclusão, o estudo aponta para os efeitos prejudiciais da falta de sono adequado neste período de recuperação, como já relatado nesta tese, a questão do ciclo circadiano e seus efeitos fisiológicos no corpo humano.

Para sistematizar as necessidades dos usuários, foram extraídos dos artigos palavras ou expressões que traduzem as necessidades dos pacientes, além de necessidades latentes observadas pelo autor. No entanto, se a iluminação está adequada para o ambiente, conforme aponta a norma NBR 8995-1, talvez a questão não seja a quantidade de luz, mas sim a forma como a

luz está distribuída no ambiente. Assim, o designer pode concluir que a melhor solução não seria diminuir a quantidade de luz, mas sim especificar uma luminária que distribua a luz de forma mais adequada sem provocar ofuscamento ao campo visual do paciente, no momento em que não está recebendo cuidados médicos.

Segundo Akao (1996), as necessidades latentes são aquelas que o usuário ainda não é capaz de traduzir de forma técnica e que devem ser interpretadas pelo designer conforme sua experiência. Dessa forma, e com o repertório acumulado, foi desenvolvida a matriz de correlações entre as necessidades exigidas pelo usuário e as características de qualidade da luminária, conforme descrito na próxima seção.

5.2 DIRETRIZES DE DESIGN GERADAS PELA MATRIZ QFD

A formatação da matriz QFD seguiu a correlação entre dois conjuntos de características. O primeiro conjunto foi formado pela qualidade exigida por todos os grupos de usuários (pacientes, médicos/enfermagem, visitantes, funcionários). O segundo conjunto foi formado pelas características de qualidade compostas por características da luz que podem ser mensuradas e fazem parte da luminária.

O primeiro conjunto, exigências do usuário, foi dividido em dois níveis de exigências. O primeiro nível foi formado por expressões e palavras que definem suas exigências de forma latente abrangente. O segundo nível foi formado por 17 necessidades interpretadas pelo autor, baseado nas expressões, mas neste nível o conjunto de necessidades foi repetido para todos os grupos de usuários, tal como mostra o quadro 15.

Quadro 15 - Organização do conjunto de necessidades dos usuários (ambiente hospitalar).

Necessidades dos grupos de usuários		
Grupo de usuários	1 nível	2 nível
Pacientes		1. Iluminação suave
		2. Iluminação que ofereça localização temporal (ciclo circadiano)
	Redução de stress	3. Iluminação que permita localização espacial
	Iluminação que auxilie em sua recuperação	4. Não emita ruído (nível sonoro do reator ou driver)
	Conforto visual	5. Iluminação que permita reduzir a monotonia do ambiente
	Redução de monotonia	6. Evitar ofuscamento
	Fácil de mudar de tipo de luz	7. Iluminação que permita facilidade de diagnóstico (cianose)
	Ciclo dia e noite	8. Iluminação concentrada para leitura
		9. Iluminação que permita leitura adequada de letras pequenas ex: rótulos
		10. Iluminação que transmita sensação de segurança
		11. Iluminação que permita localizar sujidades
		12. Iluminação uniforme em todos ambientes
		13. Facilidade de instalação
		14. Facilidade de manutenção
		15. Facilidade de higienização
		16. Fácil interatividade
		17. Permitir direcionamento da luz
Sub Total		
Médicos / Enfermagem	Eficiência para o diagnóstico	1. Iluminação suave
	Confortável para leitura de letras pequenas e equipamentos	2. Iluminação que ofereça localização temporal (ciclo circadiano)
	Que auxilie na localização de veias e artérias	3. Iluminação que permita localização espacial
	Fácil de configurar / automático	4. Não emita ruído (nível sonoro do reator ou driver)
		5. Iluminação que permita reduzir a monotonia do ambiente
		6. Evitar ofuscamento
		7. Iluminação que permita facilidade de diagnóstico (cianose)
		8. Iluminação concentrada para leitura
		9. Iluminação que permita leitura adequada de letras pequenas ex: rótulos
		10. Iluminação que transmita sensação de segurança
		11. Iluminação que permita localizar sujidades
		12. Iluminação uniforme em todos ambientes
		13. Facilidade de instalação
		14. Facilidade de manutenção
		15. Facilidade de higienização
		16. Fácil interatividade
		17. Permitir direcionamento da luz
Sub Total		
Visitantes	Redução de stress	1. Iluminação suave
	Conforto visual	2. Iluminação que ofereça localização temporal (ciclo circadiano)
	Facilidade para alterar o tipo de luz	3. Iluminação que permita localização espacial
		4. Não emita ruído (nível sonoro do reator ou driver)
		5. Iluminação que permita reduzir a monotonia do ambiente
		6. Evitar ofuscamento
		7. Iluminação que permita facilidade de diagnóstico (cianose)
		8. Iluminação concentrada para leitura
		9. Iluminação que permita leitura adequada de letras pequenas ex: rótulos
		10. Iluminação que transmita sensação de segurança
		11. Iluminação que permita localizar sujidades
		12. Iluminação uniforme em todos ambientes
		13. Facilidade de instalação
		14. Facilidade de manutenção
		15. Facilidade de higienização
		16. Fácil interatividade
		17. Permitir direcionamento da luz
Sub Total		
Funcionários	Facilidade de manutenção	1. Iluminação suave
	Facilidade de limpeza	2. Iluminação que ofereça localização temporal (ciclo circadiano)
	Facilidade de configuração / automático	3. Iluminação que permita localização espacial
		4. Não emita ruído (nível sonoro do reator ou driver)
		5. Iluminação que permita reduzir a monotonia do ambiente
		6. Evitar ofuscamento
		7. Iluminação que permita facilidade de diagnóstico (cianose)
		8. Iluminação concentrada para leitura
		9. Iluminação que permita leitura adequada de letras pequenas ex: rótulos
		10. Iluminação que transmita sensação de segurança
		11. Iluminação que permita localizar sujidades
		12. Iluminação uniforme em todos ambientes
		13. Facilidade de instalação
		14. Facilidade de manutenção
		15. Facilidade de higienização
		16. Fácil interatividade
		17. Permitir direcionamento da luz
Sub total		

Fonte: Autor.

O segundo conjunto de itens foi formado por características da qualidade do produto, e define as propriedades que devem ser mensuradas ou definidas de forma objetiva, conforme apresentado no quadro 16.

Quadro 16 - Conjunto de características objetivas e mensuráveis aplicadas ao projeto da luminária.

Media / Alta quantidade de Luz	Qualidade da Luz
Media / Baixa quantidade de Luz	
Iluminação com baixa temperatura de cor	Temperatura de cor da luz branca
Iluminação com alta temperatura de cor	
Alto índice de reprodução de cor	Índice de reprodução de cor
Baixo grau de interatividade	Interatividade
Alto grau de interatividade	
Distribuição de luz horizontal	Angulo de inclinação
Distribuição de luz vertical	
Iluminação direta	Iluminação direta / indireta
Iluminação indireta	
Luz com feixe de luz aberto	Distribuição da luz
Luz com feixe de luz concentrado	
Forma complexa	Forma / numero de superficies
Forma simples	
Painel de controle (botões de controle)	Facilidade de operação / numero de controles
Controle eletrônico driver e controladores	Drivers

Fonte: Autor.

Após definidos os dois conjuntos de características, foi realizada uma relação entre as características do primeiro conjunto com as características do segundo conjunto, definindo graus diferentes de importância para cada relação em cada grupo de usuários. Conforme aponta Akao (1996), em seu método ele usa figuras como triângulos, círculos e pontos, cada um com pesos diferentes de importância.

Na matriz realizada nesta tese, optou-se por utilizar números para definir o grau de importância das relações, sendo 1 para baixa correlação, 2 para relação moderada e 3 para forte relação. Quando não existe correlação a célula não tem nenhum valor associado. Dessa forma, pode-se ao final da atribuição de valores

manipular os dados e analisar de forma direta as características mais relevantes por grupo e pela soma dos grupos. Importante salientar que a quantidade de pontos atribuída por cada qualidade exigida é somada em função das características da qualidade. Entretanto, o mais relevante não é o valor absoluto da pontuação final, mas a relação entre as características, formando uma hierarquia de parâmetros de design.

A tabela 2 apresenta todas as relações geradas para os grupo de usuários formados pelos Pacientes, Médicos/Enfermagem, Visitantes e Funcionários.

Tabela 2 - Matriz QFD. Correlação entre Características da qualidade e qualidade exigida.

Qualidade Exigida			Características da qualidade																		
			Qualidade da Luz		Temperatura de cor da luz branca		Índice de reprodução de cor		Interatividade		Angulo de inclinação		Iluminação direta / indireta		Distribuição da luz		Forma / numero de superfícies		Drivers		
		Media / Alta quantidade de Luz	Media / Baixa quantidade de Luz	Iluminação com baixa temperatura de cor	Iluminação com alta temperatura de cor	Alto índice de reprodução de cor	Baixo grau de interatividade	Alto grau de interatividade	Distribuição de luz horizontal	Distribuição de luz vertical	Iluminação direta	Iluminação indireta	Luz com feixe de luz aberto	Luz com feixe de luz concentrado	Forma complexa	Forma simples	Panel de controle (botões de controle)	Controle eletrônico driver e controladores			
Necessidades dos grupos de usuários																					
Grupo de usuários	1 nível	2 nível																			
Pacientes		1. Iluminação suave		3	3	2	1			3	1		3	2					3	21	
		2. Iluminação que ofereça localização temporal (ciclo circadiano)	2	2	3	3	1		3	2	2	1	2	1	1				3	29	
		3. Iluminação que permita localização espacial	2	1			2		2	1		3	2						1	14	
	Redução de stress	4. Não emita ruído (nível sonoro do reator ou driver)																	3	3	
	Iluminação que auxilie em sua recuperação	5. Iluminação que permita reduzir a monotonia do ambiente	2	2	3	3	2		3	2	2	1	2	1					3	26	
	Conforto visual	6. Evitar ofuscamento	1	3						3	1	1	3	3	1			1	1	17	
	Redução de monotonia	7. Iluminação que permita facilidade de diagnóstico (cianose)																	0	0	
	Fácil de mudar de tipo de luz	8. Iluminação concentrada para leitura		2	1	1	1	1	2		2	1	1		3				1	16	
	Ciclo dia e noite	9. Iluminação que permita leitura adequada de letras pequenas ex: rótulos	2	2			2					1		1						8	
		10. Iluminação que transmita sensação de segurança	2		1	2	3		2			1	3	2	2		3	3		24	
		11. Iluminação que permita localizar sujidades																		0	
		12. Iluminação uniforme em todos ambientes	1	2				1	2	2	2	1	2	1	1			1		16	
		13. Facilidade de instalação																		0	
		14. Facilidade de manutenção															1	1	1	3	
		15. Facilidade de higienização																		0	
		16. Fácil interatividade	2	2	2	2				3	2	2	1	2	1	1		3	3	3	29
		17. Permitir direcionamento da luz	1							3	3	3	2	3		3		1	3	1	23
	Sub Total	15	19	13	13	10	2	20	19	16	10	24	13	13	0	8	15	19	229		
Médicos / Enfermeiros	Eficiência para o diagnóstico	1. Iluminação suave																	1	1	
	Confortável para leitura de letras pequenas e equipamentos	2. Iluminação que ofereça localização temporal (ciclo circadiano)	2	2	3	3	1		3	2	2	1	2	1	1			3	3	29	
	Que auxilie na localização de veias e artérias	3. Iluminação que permita localização espacial																	1	1	
	Fácil de configurar / automático	4. Não emita ruído (nível sonoro do reator ou driver)																	3	3	
		5. Iluminação que permita reduzir a monotonia do ambiente																		0	
		6. Evitar ofuscamento	1	2					2	3			3	3	1				2	17	
		7. Iluminação que permita facilidade de diagnóstico (cianose)			2	2	3		1			3	1	1	3		3	3		22	
		8. Iluminação concentrada para leitura																	1	1	
		9. Iluminação que permita leitura adequada de letras pequenas ex: rótulos	3	1	1	1	2		3		3	1	1		3		3	3		24	
		10. Iluminação que transmita sensação de segurança																		0	
		11. Iluminação que permita localizar sujidades	3				3					2		2	2					12	
		12. Iluminação uniforme em todos ambientes	2	1								1	3	2	1			3		13	
		13. Facilidade de instalação																		0	
		14. Facilidade de manutenção																1	1	1	3
		15. Facilidade de higienização	3		2	2	3		3	1	3			2	3		3	3	3	28	
		16. Fácil interatividade	3				3					3			3		3	3	3	21	
		17. Permitir direcionamento da luz	3																	1	4
	Sub Total	20	6	8	8	15	0	12	6	5	13	10	11	17	0	13	21	14	179		
Visitantes	Redução de stress	1. Iluminação suave		3	3	2	1			3			3	2					1	18	
	Conforto visual	2. Iluminação que ofereça localização temporal (ciclo circadiano)																		0	
	Facilidade para alterar o tipo de luz	3. Iluminação que permita localização espacial	2	1			2			2	1		3	2					1	14	
		4. Não emita ruído (nível sonoro do reator ou driver)																	3	3	
		5. Iluminação que permita reduzir a monotonia do ambiente	2	2	3	3	2		3	2	2	1	2	1					3	26	
		6. Evitar ofuscamento	1	3						3	2	1	3	3	1			1	1	18	
		7. Iluminação que permita facilidade de diagnóstico (cianose)																	0	0	
		8. Iluminação concentrada para leitura		2	1	1	1	1	2		1	2	1		3				1	16	
		9. Iluminação que permita leitura adequada de letras pequenas ex: rótulos	2	2					2				1		1					8	
		10. Iluminação que transmita sensação de segurança	2		1	2	3		2		1	3	2	2		3	3			24	
		11. Iluminação que permita localizar sujidades																		0	
		12. Iluminação uniforme em todos ambientes	1	2				1	2	3	2	1	3	3	1				2	21	
		13. Facilidade de instalação																		0	
		14. Facilidade de manutenção																2	2	2	6
		15. Facilidade de higienização																		0	0
		16. Fácil interatividade	2	2	2	2				3	2	2	1	2	1	1		3	3	3	29
		17. Permitir direcionamento da luz	1	1						3	3	3	3	3		3		1	3	1	25
	Sub Total	13	18	10	10	9	2	17	18	13	11	23	14	12	0	9	14	15	208		
Funcionários	Facilidade de manutenção	1. Iluminação suave																	1	1	
	Facilidade de limpeza	2. Iluminação que ofereça localização temporal (ciclo circadiano)																	3	3	
	Facilidade de configuração / automático	3. Iluminação que permita localização espacial																	1	1	
		4. Não emita ruído (nível sonoro do reator ou driver)																	3	3	
		5. Iluminação que permita reduzir a monotonia do ambiente																		0	
		6. Evitar ofuscamento																		0	
		7. Iluminação que permita facilidade de diagnóstico (cianose)																		0	
		8. Iluminação concentrada para leitura																		0	
		9. Iluminação que permita leitura adequada de letras pequenas ex: rótulos	3				3					1	1			3	3			14	
		10. Iluminação que transmita sensação de segurança																		0	
		11. Iluminação que permita localizar sujidades	3		2	2	3		3	1	1	2	1	2						20	
		12. Iluminação uniforme em todos ambientes	2									2	2	3	1			3	3	16	
		13. Facilidade de instalação	3															3	3	12	
		14. Facilidade de manutenção																3	3	9	
		15. Facilidade de higienização	3		2	2	3		3	1	3	3		2	3		3	3	3	31	
		16. Fácil interatividade	3									2	2	1	2	1	3		3	3	21
		17. Permitir direcionamento da luz	3									2	2	1	2	1	3		3	1	21
	Sub total	17	0	4	4	9	0	6	4	6	9	6	8	7	3	18	15	18	134		

1- Fraca Correlação
2- Média Correlação
3- Forte Correlação

65	43	35	35	43	4	55	47	40	43	63	46	49	3	48	65	66
108		70		43		59		87		106		95		51	65	66

Fonte: Autor.

Visando explorar os dados obtidos pela matriz QFD, foram criadas mais duas tabelas, de tal forma que se torna possível visualizar claramente as relações. Na tabela 3, é possível notar a relevância de cada qualidade exigida, tanto por grupo individual, como pela soma geral de todos os grupos. Também é possível dosar o peso para cada grupo de forma independente. Neste exemplo, o peso dado para cada grupo é igual a 1, isto é, não há diferenciação entre usuários.

Tabela 3- Variação da Matriz QFD com a possibilidade de definir pesos para cada grupo.

	Pacientes	Médicos / Enfermeiros	Visitantes	Funcionários	Qualidade Exigida pela soma dos grupos de usuários
1. Iluminação suave	21	1	18	1	41
2. Iluminação que ofereça localização temporal (ciclo circadiano)	29	29	0	3	61
3. Iluminação que permita localização espacial	14	1	14	1	30
4. Não emita ruído (nível sonoro do reator ou driver)	3	3	3	3	12
5. Iluminação que permita reduzir a monotonia do ambiente	26	0	26	0	52
6. Evitar ofuscamento	17	17	18	0	52
7. Iluminação que permita facilidade de diagnóstico (cianose)	0	22	0	0	22
8. Iluminação concentrada para leitura	16	1	16	0	33
9. Iluminação que permita leitura adequada de letras pequenas ex: rótulos	8	24	8	14	54
10. Iluminação que transmita sensação de segurança	24	0	24	0	48
11. Iluminação que permita localizar sujidades	0	12	0	20	32
12. Iluminação uniforme em todos ambientes	16	13	21	16	66
13. Facilidade de instalação	0	0	0	12	12
14. Facilidade de manutenção	3	3	6	9	21
15. Facilidade de higienização	0	28	0	31	59
16. Fácil interatividade	29	21	29	3	82
17. Permitir direcionamento da luz	23	4	25	21	73
Peso dado aos grupos de usuários					
	1	1	1	1	

Fonte: Autor.

Nesse caso, o grau de importância para cada qualidade exigida fica ordenada de forma decrescente, conforme apresentado no gráfico 1. Esta classificação é de extrema relevância, pois auxilia de forma direta em decisões de design que deverão ser tomadas no processo de criação das luminárias ou sistema de iluminação.

Gráfico 1 - Classificação das qualidades exigidas com pesos iguais para todos os grupos de usuários.

Fonte Autor.

Pode-se ainda, com os dados apresentados, definir um grupo como principal ao qual deverá ser dado maior ênfase. Na unidade de internação, o grupo que deveria receber maior atenção é o grupo de pacientes, por este motivo, o peso dado para o grupo foi igual a 5. Dessa forma, obtém-se a tabela 4.

Tabela 4 - Variação da Matriz QFD com ênfase para o grupo de usuários Pacientes.

	Pacientes	Médicos / Enfermeiros	Visitantes	Funcionários	Qualidade Exigida pela soma dos grupos de usuários
1. Iluminação suave	105	1	18	1	125
2. Iluminação que ofereça localização temporal (ciclo circadiano)	145	29	0	3	177
3. Iluminação que permita localização espacial	70	1	14	1	86
4. Não emita ruído (nível sonoro do reator ou driver)	15	3	3	3	24
5. Iluminação que permita reduzir a monotonia do ambiente	130	0	26	0	156
6. Evitar ofuscamento	85	17	18	0	120
7. Iluminação que permita facilidade de diagnóstico (cianose)	0	22	0	0	22
8. Iluminação concentrada para leitura	80	1	16	0	97
9. Iluminação que permita leitura adequada de letras pequenas ex: rótulos	40	24	8	14	86
10. Iluminação que transmita sensação de segurança	120	0	24	0	144
11. Iluminação que permita localizar sujidades	0	12	0	20	32
12. Iluminação uniforme em todos ambientes	80	13	21	16	130
13. Facilidade de instalação	0	0	0	12	12
14. Facilidade de manutenção	15	3	6	9	33
15. Facilidade de higienização	0	28	0	31	59
16. Fácil interatividade	145	21	29	3	198
17. Permitir direcionamento da luz	115	4	25	21	165
Peso dado aos grupos de usuários					
	5	1	1	1	

Fonte: Autor.

O gráfico 2 apresenta os resultados da tabela 4 organizados por grau de importância.

Gráfico 2 - Classificação das qualidades exigidas com peso maior para o grupo de pacientes.

Fonte: Autor.

Depois da classificação das qualidades exigidas, seguiu-se a classificação das características de qualidade, que definem de forma mais objetiva as diretrizes de design. Para tanto, foi elaborada, a partir da Matriz QFD, outra matriz com foco nas características da qualidade, conforme tabela 5.

Tabela 5 - Variação da Matriz QFD - Características da qualidade e ênfase no grupo de pacientes.

	Pacientes	Médicos / Enfermeiros	Visitantes	Funcionários			
Media / Alta quantidade de Luz	75	20	13	17	125	244	Qualidade da Luz
Media / Baixa quantidade de Luz	95	6	18	0	119		
Iluminação com baixa temperatura de cor	65	8	10	4	87	174	Temperatura de cor da luz branca
Iluminação com alta temperatura de cor	65	8	10	4	87		
Alto índice de reprodução de cor	50	15	9	9	83	83	Índice de reprodução de cor
Baixo grau de interatividade	10	0	2	0	12		
Alto grau de interatividade	100	12	17	6	135	147	Interatividade
Distribuição de luz horizontal	95	6	18	4	123		
Distribuição de luz vertical	80	5	13	6	104	227	Ângulo de inclinação
Iluminação direta	50	13	11	9	83	242	Iluminação direta / indireta
Iluminação indireta	120	10	23	6	159		
Luz com feixe de luz aberto	65	11	14	8	98	199	Distribuição da luz
Luz com feixe de luz concentrado	65	17	12	7	101		
Forma complexa	0	0	0	3	3	83	Forma / número de superfícies
Forma simples	40	13	9	18	80		
Painel de controle (botões de controle)	75	21	14	15	125	125	Facilidade de operação / número de controles
Controle eletrônico driver e controladores	95	14	15	18	142	142	Drivers
Peso dado aos Grupos							
	5	1	1	1			

Fonte: Autor

Da mesma forma, o gráfico 3 apresenta a organização dos dados das Características da Qualidade conforme grau decrescente de relevância.

Gráfico 3 - Classificação das Características da Qualidade com peso maior para o grupo de pacientes.

Fonte: Autor.

A partir dos dados obtidos e pela análise dos gráficos gerados é possível definir as diretrizes de design que servirão de base para o projeto da luminária.

Do ponto de vista da qualidade exigida pelo grupo de pacientes, as principais características obtidas foram:

1. Fácil Interatividade;
2. Iluminação que ofereça localização temporal (ciclo circadiano);
3. Permitir direcionamento da luz;
4. Iluminação que permita reduzir a monotonia do ambiente;
5. Iluminação que transmita sensação de segurança.

Transformando essas exigências em características da qualidade teremos:

1. Iluminação indireta;
2. Controlador eletrônico com drivers e controladores;
3. Alto grau de interatividade;
4. Painel de controle;
5. Distribuição horizontal da luz.

No capítulo seguinte serão utilizados esses dados para gerar, em ambiente paramétrico, a base conceitual de uma luminária para a unidade de internação em ambiente hospitalar.

6 DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE LUMINÁRIA BASEADA EM DIRETRIZES QFD E EM MODELO PARAMÉTRICO

6.1 INTRODUÇÃO AO AMBIENTE PARAMÉTRICO

A análise e implementação das diretrizes de design das luminárias envolveram quatro fases distintas. A primeira fase consistiu da incorporação do sistema BIM (*Building Information Modeling*) para a construção do modelo virtual como ferramenta de análise de projetos de iluminação. A segunda fase foi a análise do ambiente da unidade de internação através de visita em uma unidade em um hospital particular e consulta bibliográfica sobre projetos de arquitetura hospitalar. A terceira fase foi a construção do modelo em um software paramétrico que permitisse avaliar o desempenho das luminárias atualmente instaladas. A quarta e última fase, corresponde ao desenvolvimento da luminária de tecnologia LED utilizando como referência as diretrizes de design obtidas pelo método QFD.

6.1.1 Fase 1 – Incorporando o BIM como sistema de modelagem virtual

Parâmetros de projetos podem ser criados e alterados conforme a conveniência para o estudo e a necessidade do projeto. Neste sentido, foi utilizado o programa REVIT da Autodesk para transformar diretrizes de design em parâmetros de projeto. Este programa permite, entre outras facilidades, desenvolver parâmetros dentro do ambiente de projeto arquitetônico integrando o projeto de componentes¹⁰ ao projeto do ambiente e, desta forma, abraçar todas as variáveis presentes no desenvolvimento do produto, gerando além de tabelas quantitativas, a representação em três dimensões e representações planas 2D.

O nome *Revit* vem da junção das palavras *instant review*, que em português quer dizer revisão instantânea. Essa característica é muito relevante para o arquiteto ou designer que atua na elaboração e criação de ambientes, pois cria um fluxo de trabalho em que inúmeras versões do projeto podem ser avaliadas através de parâmetros, embutidos nos próprios componentes inseridos no projeto.

¹⁰ O termo componente para o programa REVIT é aplicado a qualquer objeto adicionado no projeto arquitetônico, como por exemplo: luminárias, móveis, louças, veículos, interruptores etc.

A partir do modelo BIM gerado pelo REVIT, as diretrizes dos componentes podem ser organizadas em “famílias, tipos e instâncias”, permitindo maior domínio sobre alterações de parâmetros relevantes.

Os parâmetros de “famílias” de componentes permitem definir parâmetros mais gerais do objeto, por exemplo, no caso de um pilar em um projeto arquitetônico podemos definir seu material – por exemplo, “Pilar de concreto”

Os “tipos” definem parâmetros mais específicos, seguindo o mesmo exemplo do pilar, o tipo poderia abrir duas possibilidades – por exemplo, “Pilar de concreto com perfil circular” e outro tipo como “Pilar de concreto com perfil quadrado”.

Seguindo este raciocínio, o designer abre a possibilidade de criar uma quantidade infinita de tipos de famílias de pilares. Os tipos são acessados durante o projeto através de um catálogo de fácil utilização.

Caso em um determinado projeto um dos pilares não se encaixe no conjunto de tipos de pilares que foram criados, existe a possibilidade de alterar os parâmetros de um único pilar de forma individual acessando os parâmetros de instância do tipo pilar sem comprometer os demais tipos já incorporados no projeto. O diagrama da figura 40 mostra um exemplo de uma possível organização de uma família de pilares.

Figura 40 - Exemplo básico de configuração entre Famílias, Tipos e Instâncias no programa Revit.

Fonte: Autor.

Essa mesma lógica pode ser utilizada para qualquer componente de construção. Nesta tese, essa lógica foi utilizada para a concepção de diretrizes das luminárias baseadas nas diretrizes fornecidas pelo método QFD no capítulo anterior.

Um dos princípios fundamentais da tecnologia BIM é a contínua possibilidade de alteração de diretrizes de projeto durante sua elaboração, permitindo a criação de parâmetros em diferentes níveis de acesso para o designer ou arquiteto que utilizar o conjunto de arquivos gerados e compartilhados. Na figura 41 apresentam-se algumas possibilidades de parametrização e seus níveis para o componente Luminária.

Figura 41 - Exemplo de organização possível para parâmetros em Famílias, Tipos e Instâncias de Luminárias.

Fonte: autor

Seguindo as diretrizes construídas durante a elaboração desta pesquisa e gerando os parâmetros no programa *REVIT*, é possível criar uma luminária conceitual e gerar simulações no ambiente virtual, obtendo imagens para avaliações qualitativas e quantitativas.

Como referência para a construção virtual do ambiente de leito hospitalar foi utilizado o livro de referência *Manual de Arquitetura Hospitalar* (GOES, 2004) e visitas técnicas em um hospital particular da cidade de São Carlos.

6.1.2 Fase 2 – Análise do ambiente da unidade de internação

O ambiente virtual foi desenvolvido levando em consideração o padrão de leito de recuperação (GOES, 2004) e de acordo com a visita em um hospital particular na cidade de São Carlos – SP.

Os padrões de ambientes hospitalares de enfermaria podem ser classificados em 4 tipologias, A, B, C e D, conforme a figura 35 (GOES, 2004).

Figura 42 – Tipologias de unidades de internação. A,B,C,D

Fonte: (GOES, 2004, p. 72,73)

A tipologia A apresenta as seguintes características: maior ventilação e iluminação; isolamento dos pacientes; menor ruído de origem da circulação; menor circulação interna; limpeza dos sanitários apresentam menor incômodo para os pacientes; menor perímetro para a composição geral do edifício.

A tipologia B é a menos indicada, pois: aumenta o perímetro do prédio; aumenta o incômodo para os pacientes durante a limpeza dos sanitários; diminui a ventilação e a área de iluminação e o ruído da área de circulação é mais intenso.

A tipologia C é a menos utilizada e apresenta maior problema na circulação interna para o trânsito de macas, porém, apresenta maior área de iluminação e ventilação.

A tipologia D é muito semelhante à tipologia A, com a desvantagem da circulação interna ser prejudicada pelo volume dos sanitários e pelo aumento do ruído proveniente da área de circulação. Dessa forma, a tipologia A apresenta maior vantagem sobre as demais (GOES, 2004).

A utilização da tipologia A possibilita a configuração do andar tipo, tal qual é apresentado na figura 43.

Figura 43 - Exemplo de andar tipo para 20 leitos e corredor interno.

Fonte: (GOES, 2004, p. 77)

Em visita realizada ao hospital particular na cidade de São Carlos, foi observado que a tipologia utilizada na unidade de internação é justamente a A (figura 44), conferindo melhor qualidade de circulação e proteção contra ruídos oriundos da circulação externa. Também foram observadas as fontes luminosas formadas por luminárias de teto e de parede, conforme figuras 45, 46 e 47.

Figura 44 - Unidade de internação do tipo A. Unidade de internação em hospital particular na cidade de São Carlos.

Fonte: Autor.

Figura 45 - Iluminação de teto e iluminação de parede.

Fonte: Autor

Figura 46 - Iluminação de parede na unidade de internação.

Fonte: Autor.

Figura 47 - Iluminação de teto com divisória parcialmente aberta.

Fonte: Autor

6.1.3 Fase 3 - Construção do modelo virtual

Tendo adquirido o repertório, foi criado o ambiente virtual considerando características fundamentais para a avaliação do projeto de iluminação, tais como: dimensões do ambiente, cores das paredes, mobiliário, equipamentos,

tipos de luminárias e especificação de lâmpadas. As figuras 48 e 49 mostram a planta e a perspectiva isométrica do ambiente virtual.

Figura 48 - Planta da unidade de internação.

Fonte: Autor.

Figura 49 - Perspectiva isométrica da unidade de internação.

Fonte: Autor.

O método usado para avaliar a iluminação utiliza como referência a abordagem apresentada pela empresa ERCO, que entende que a imagem

realista somada à análise quantitativa de “cores falsas”¹¹ é uma forma abrangente para se avaliar a qualidade de iluminação em um ambiente (figura 50).

A simulação quantitativa é utilizada para a análise de uma concepção da iluminação. Ela determina os valores numéricos fisicamente corretos para tarefas visuais específicas. A simulação também ajuda a verificar a conformidade com os requisitos especificados pelas normas, como a uniformidade de iluminação. Um outro método de visualização eficaz é diagramas de cores falsas que permite visualizar níveis de iluminância através de uma escala de cores.

A simulação de luz para representações qualitativas concentra-se em retratar a atmosfera. A perspectiva espacial fornece uma imagem precisa e útil para a apresentação do projeto de iluminação. O grau de detalhamento pode incluir ilustrações foto realistas (ERCO, 2012, trad. autor).

Figura 50 - Exemplo de utilização de cores falsas para representação de níveis de iluminância no ambiente.

Fonte: (ERCO, 2012)

O desenvolvimento do ambiente virtual envolveu a criação de mobiliário e luminárias que correspondessem àquelas utilizadas no ambiente real. Após a conclusão desta fase iniciou-se a fase de simulações, começando com a análise da iluminação natural do ambiente. A análise de iluminação natural foi realizada utilizando a posição geográfica e implantação conforme a unidade de internação visitada e teve o objetivo de analisar a uniformidade da iluminação no interior do

¹¹ O método de cores falsas cria uma equivalência entre as cores apresentadas na imagem e a quantidade de iluminância na superfície. É um método quantitativo que revela a distribuição da luz no ambiente.

ambiente (figura 51). Para tanto, foi estipulado, como exemplo, o horário de 13h no solstício de inverno (21/06).

Figura 51 - - Modelo da unidade de Internação sem cobertura e com representação da trajetória aparente do sol.

Fonte: Autor.

Quanto à iluminação natural, foi possível observar que existe uma variação muito grande de iluminância entre o leito que está próximo e mais distante da janela. Esta característica é acentuada pelo fato de se utilizar uma cortina para fins de privacidade, que elimina parcialmente a iluminação natural no leito mais distante da janela. As simulações de imagens realistas e cores falsas apresentadas nas figuras 52, 53, 54 mostram essa situação.

Figura 52 - Simulação de iluminação natural (solstício de inverno 13h) com separação entre leitos.

Figura Fonte: Autor.

Figura 53 - Simulação Iluminação natural (solstício de inverno 13h) sem separação entre leitos.

Fonte: Autor.

Figura 54a - Simulação de iluminação natural (solstício de inverno 13h) com separação entre leitos e cores falsas.

Fonte Autor.

Figura 54b - Simulação de iluminação natural (solstício de inverno 13h) sem separação entre leitos e cores falsas.

Fonte Autor.

Apesar da iluminação natural não ser o foco neste trabalho, fica clara a necessidade de se ajustar a iluminação natural para adequar a uniformidade de iluminância no ambiente, de tal forma a minimizar o efeito de excesso de luz no leito próximo à janela. Este leito chega a mais de 7000 lux, em contraste com o leito mais distante que recebe cerca de 550 lux, usando a cortina de separação entre leitos. Outra conclusão importante é a necessidade do uso de iluminação artificial para uniformizar o nível de iluminância para este tipo de configuração de unidade de internação.

Seguindo a construção do ambiente virtual, foi desenvolvida a modelagem de duas luminárias, conforme as informações colhidas na visita à unidade de internação.

Para a luminária de teto utilizou-se duas lâmpadas tubulares fluorescentes com luminária refletora sem aletas, conforme figura 55.

Figura 55 - Modelagem da luminária de teto (Imagem extraída diretamente do programa Revit)

Fonte: Autor.

A distribuição da luz utilizou o arquivo fotométrico (.ies) da luminária com as mesmas características de refletores de alumínio, temperatura de cor de 6500k e potência de 30w. Estes dados foram inseridos como parâmetros de famílias no *REVIT*, conforme figura 56.

Figura 56 - REVIT. Janela de configuração de parâmetros de Família da luminária de teto.

Fonte Autor.

A construção da luminária de parede seguiu o mesmo método de modelagem, mas utilizou-se como fonte de iluminação, o arquivo fotométrico da lâmpada Fluorescente compacta da OSRAM e temperatura de cor de 2700K, conforme figura 57.

Figura 57 - Revit. Janela de configurações de parâmetros da luminária de parede existente.

Propriedades de tipo

Família: Carregar...

Tipo: Duplicar...

Renomear...

Parâmetros de tipo

Parâmetro	Valor
Fabricante	
Comentários de tipos	
Tipo de imagem	
URL	
Descrição	
Código de montagem	
Custo	
Descrição de montagem	
Marca de tipo	
Número OmniClass	23.80.70.00
Título OmniClass	Lighting
Nome do código	
Fotométricos	
Arquivo de rede fotométrica	1x4 2Lamp.ies
Fator de perda de luz	1
Intensidade inicial	23.00 W @ 60.87 lm/W
Cor inicial	2700 K
Troca de temperatura da cor de lâmp	<Nenhum>
Filtro de cor	Branco
Ângulo de inclinação	90.00°
Definição da fonte luminosa (família)	Ponto+Teia fotométrica

<< Visualizar OK Cancelar Aplicar

Fonte: Autor.

A figura 58 apresenta a disposição das luminárias existentes e suas distribuições fotométricas.

Figura 58 - Modelo REVIT com as luminárias e exibição da distribuição fotométrica de cada luminária, exibição com linhas ocultas.

Fonte: Autor.

Após a modelagem e configuração dos parâmetros das luminárias obtiveram-se os resultados descritos a seguir.

Aparentemente, observando a imagem foto realista (figura 59), a iluminação parece adequada. Entretanto, observa-se pela imagem de cores falsas (figura 60), a quantidade excessiva de luz sobre os leitos, de 700 lux a 800 lux, reforçando, dessa forma, a queixa de luz excessiva relatada pelos pacientes, conforme já apresentado anteriormente.

Figura 59- Imagem foto realista gerada pelo REVIT.

Fonte: Autor.

Figura 60 – Renderização por iluminância através de Imagem de cores falsas. REVIT.

Fonte: Autor

Além desta análise com todas as fontes de luz ligadas, também analisou-se de forma individualizada o conjunto de luminárias, observando a diferença de temperatura de cor e nível de iluminância. As figuras 61 e 62 representam a iluminação pelo teto.

Figura 61 - Imagem foto realista - iluminação exclusiva da luminária de teto.

Fonte: Autor.

Figura 62 - - Imagem de cores falsas - iluminação exclusiva das luminárias de teto.

Fonte: Autor.

Com estas imagens é possível notar que mesmo sem a iluminação de parede, a quantidade de luz que chega ao leito é alta, alcançando mais de 700lux (figura 62). As figuras 63 e 64 representam a iluminação de parede ou arandela.

Figura 63 - Imagem foto realista - Iluminação exclusiva da luminária de parede.

Fonte: Autor

Figura 64 - Imagem de cores falsas - Iluminação exclusiva da luminária de parede.

Fonte: Autor.

Quando a luz da parede é utilizada, a iluminação sofre uma queda acentuada chegando em torno de 200lux. Dessa forma, oferece maior conforto ao paciente, mas, ao mesmo tempo, com a instalação fixa das luminárias, não é possível criar uma passagem gradual da luz mais ofuscante para a luz mais suave.

O próximo passo foi o desenvolvimento de uma luminária que pudesse contribuir para o bem-estar do paciente levando em consideração os resultados obtidos pela matriz QFD.

6.1.4 - Desenvolvimento da luminária com tecnologia LED utilizando como referência as diretrizes de design obtidas pelo método QFD

A Matriz QFD permitiu concluir que as características mais relevantes para este projeto de luminária são: a interatividade, a capacidade de oferecer iluminação indireta ou suave e ao mesmo tempo direcionável respeitando o ciclo circadiano, oferecendo luz com diferentes temperaturas de cor.

Com o foco principalmente nessas características, foi desenvolvida uma luminária conceitual com o nome de “CIRCADIAN” que permitisse atender às principais necessidades observadas na matriz QFD (figura 65).

Figura 65 - Croquis de estudo – Luminária “Circadian” - LEDs com diferentes temperaturas de cor.

Fonte: Autor.

A forma tradicional de iluminação em uma unidade de internação utiliza duas fontes separadas com direção e características diferentes de luz para iluminar. A instalação é fixa, limitando a interatividade com os grupos de usuários.

Na proposta da luminária “Circadian” foi concebida uma fonte única de luz para cada leito, permitindo através de controle remoto interagir com a luz, através das seguintes funções:

- **Direcionalidade e temperatura de cor:** A luminária seria composta por um conjunto de LEDs, agregados de tal forma que poderiam ser acionados em 3 grupos distintos e de forma gradual. O primeiro grupo de LEDs teria a temperatura de cor de 2700k e seria direcionado para a parte mais alta do ambiente, simulando o final de tarde ou início da manhã, quando a luz se distribui no ambiente de forma horizontal, conceito apresentado pelo light designer Poul Henningsen.

O segundo grupo de LEDs teria a temperatura de cor de 4000K, sendo uma cor neutra, simulando o meio da manhã ou meio da tarde e seria inclinada entre 45° e 60° evitando o ofuscamento no campo visual do paciente. Esta configuração poderia ser utilizada pelos visitantes na maior parte do tempo.

O terceiro grupo de LEDs seria de 6500 K e teria uma inclinação de 90°, simulando a luz ao meio do dia. A forma gradual de passagem de um grupo de LEDs para outro poderia, ao longo do dia, auxiliar na percepção das horas em sintonia com o ciclo circadiano. Esta configuração provocaria maior ofuscamento ao paciente, mas teria sua utilização em casos específicos para exames ou quando fosse necessária maior acuidade visual pela equipe médica. A distribuição da geometria da luz através dos arquivos fotométricos se daria de forma radial em uma distribuição dos LEDs em forma de prato, conforme mostra o corte da luminária na figura 66.

Figura 66 - Corte da luminária "Circadian" com a distribuição fotométrica dos LEDs.

Fonte Autor.

Automação e interatividade – A automação poderia ser realizada de diversas formas, desde um simples controle remoto com tecnologia de infravermelho, permitindo assim o uso de *smartphones* para controlar via aplicativos gratuitos disponíveis na internet, ou através de protocolos de comunicação, tal como o sistema DALI ¹² fornecido pela OSRAM. Outra possibilidade interessante seria a configuração da luz através de rádio frequência, sistema conhecido como RFID (*Radio Frequency Identification*) e, dessa forma, reagir ao grupo de usuário que estiver próximo da luminária. Por exemplo, o crachá do grupo de médicos poderia conter uma etiqueta RFID que, ao se aproximar do leito do paciente, configuraria a luminária acionando o segundo e terceiro grupo de LEDs (4000 K e 6500K), evitando contatos desnecessários em interruptores. Finalmente, a possibilidade seria configurar a luminária em um ciclo de 24 horas passando de um conjunto de LEDs para outro de forma gradual, auxiliando e estimulando o sistema fisiológico do ciclo circadiano. A implementação desta interatividade deverá ser concebida com um grupo interdisciplinar capaz de apresentar soluções para estas possibilidades.

Materiais e manutenção: Em princípio, a tecnologia LED não necessitaria de manutenção quanto à troca de fontes luminosas, pois como já foi apresentado anteriormente, a tecnologia LED permite uma vida útil de utilização da luminária

¹² O sistema DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) é um protocolo de comunicação para controle de dispositivos de iluminação desenvolvidos pela empresa OSRAM.

superior a 50.000 horas, equivalente a 15 anos de uso, com uma média de acionamento de 8 horas por dia. Para a luminária “Circadian”, este tempo poderia ser ampliado, pois nem sempre os grupos de LEDs seriam acionados ao mesmo tempo e, desta forma, haveria revezamento de acionamento dos mesmos. A manutenção mais importante seria a limpeza do acrílico difusor de luz. Neste caso, a forma simples e curvada do acrílico difusor de luz permitiria fácil limpeza pois não apresentaria frisos ou ranhuras, tal como acontece com luminárias tradicionais equipadas com aletas difusoras. No interior da luminária, o suporte em forma de prato seria de alumínio permitindo tanto a fixação dos LEDs como a dissipação do calor.

Forma e construção: A forma simples e circular possibilita o emprego de tecnologia tradicional para a construção das peças principais, tal como o “Vacum Form”, que utiliza um molde em uma caixa de vácuo, para a modelagem do acrílico difusor de luz e o “repuxo de alumínio” que utiliza um torno e um molde para manufaturar a forma desejada. A dimensão pequena do LED permite o agrupamento de conjuntos de LEDs em ângulos diferentes e, desta forma, direciona a luz para pontos estratégicos.

LEDs e colimadores: Uma especificação importante para a luminária seria o tipo de LED e sistema primário de direcionamento de luz, conhecido como lentes colimadoras. Para alcançar o efeito desejado de direcionamento e mudança de temperatura de cor foram realizadas simulações com diferentes tipos de LEDs e lentes colimadoras. Estas simulações foram realizadas no ambiente virtual do REVIT e os arquivos fotométricos foram extraídos da empresa de lentes LEDIL, e de LEDs CREE que disponibilizam os arquivos fotométricos e especificações importantes, como fluxo luminoso, índice de reprodução de cor e dimensões diretamente em seus sites.

Especificação dos LEDs: A especificação do LED seguiu principalmente a análise da distribuição do comprimento de onda em relação à sua temperatura de cor e fluxo luminoso, além do índice de reprodução de cor. Diversos modelos de LEDs e de diversos fabricantes foram avaliados. No caso do LED CREE da família XLAMP – XP-G (figura 67), observou-se uma relação adequada de fluxo luminoso e distribuição do comprimento de onda e dimensões.

Figura 67 - Imagem e dimensões do LED CREE - XP-G.

Fonte: (CREE, 2016)

O gráfico 4 revela que conforme a temperatura de cor da luz branca aumenta, existe uma concentração maior de radiação nas ondas curtas, faixa de 450nm. Conforme já foi apresentado na seção 3.2, a exposição por mais de duas horas do indivíduo sob esta faixa de radiação luminosa será mais eficiente para a supressão da melatonina, auxiliando no despertar ou estado de alerta do paciente (FIGUEIRO, 2013).

Gráfico 4 - Distribuição do comprimento de onda e fluxo luminoso - LED CREE XP-G

Fonte: (CREE, 2016, p. 7)

Por outro, lado quando se utilizam LEDs com temperatura de cor mais baixa, maior será a concentração de ondas na faixa de 600nm, não comprometendo ou inibindo a produção de melatonina, e, desta forma, contribui para maior relaxamento e tranquilidade do sono do paciente e acompanhante.

Quanto ao índice de reprodução de cor, característica fundamental para o diagnóstico visual por parte da equipe médica e enfermeiros, foi especificado o conjunto de LEDs com CRI ou Ra de 90, conforme destacado em amarelo nas tabelas de especificação dos LEDs (quadro 17). Este índice de CRI ou Ra é superior àquele especificado pela norma ABNT NBR 8995-1, que define o valor mínimo de 80.

Quadro 17 - Montagem de tabela de especificações de temperatura de cor, Fluxo luminoso e índice de reprodução de cor do LED CREE - XP-G

Chromaticity		Minimum Luminous Flux (lm) @ 350 mA			Order Codes			
Kit	CCT	Code	Flux (lm) @ 85 °C	Flux (lm) @ 25 °C*	70 CRI Typical	70 CRI Minimum	80 CRI Minimum	90 CRI Minimum
E8	2700K	R5	139	152			XPGDWT-H1-0000-00HE8	
		R4	130	142			XPGDWT-H1-0000-00GE8	
		R3	122	133			XPGDWT-H1-0000-00FE8	
		R2	114	124				XPGDWT-U1-0000-00EE8
		Q5	107	117				XPGDWT-U1-0000-00DE8
		Q4	100	109				XPGDWT-U1-0000-00CE8
E5	4000 K	S4	164	179	XPGDWT-01-0000-00LE5	XPGDWT-B1-0000-00LE5		
		S3	156	170	XPGDWT-01-0000-00KE5	XPGDWT-B1-0000-00KE5		
		S2	148	161	XPGDWT-01-0000-00JE5	XPGDWT-B1-0000-00JE5	XPGDWT-H1-0000-00JE5	
		R5	139	152		XPGDWT-B1-0000-00HE5	XPGDWT-H1-0000-00HE5	
		R4	130	142			XPGDWT-H1-0000-00GE5	
		R3	122	133				XPGDWT-U1-0000-00FE5
		R2	114	124				XPGDWT-U1-0000-00EE5
		Q5	107	117				XPGDWT-U1-0000-00DE5
E0	>6500 K	S4	164	179	XPGDWT-01-0000-00LE0	XPGDWT-B1-0000-00LE0		
		S3	156	170	XPGDWT-01-0000-00KE0	XPGDWT-B1-0000-00KE0	XPGDWT-H1-0000-00KE0	
		S2	148	161	XPGDWT-01-0000-00JE0	XPGDWT-B1-0000-00JE0	XPGDWT-H1-0000-00JE0	
		R5	139	152			XPGDWT-H1-0000-00HE0	
		R4	130	142				
		R3	122	133				XPGDWT-U1-0000-00FE0
		R2	114	124				XPGDWT-U1-0000-00DE0

Fonte: (CREE, 2016)

Especificação das lentes colimadoras: A definição das lentes colimadoras seguiu a diretriz da direcionalidade e foi formada por 2 tipos de lentes. O primeiro grupo, responsável pela luz mais suave, com distribuição horizontal para o alto do ambiente foi formada pela lente LEDIL C14607 (Figura 68), com distribuição fotométrica apresentada no gráfico 5.

Figura 68 - Lente colimadora Ledil C14607.

Fonte: (LEDIL , 2015)

Gráfico 5 - Dados Fotométricos lente colimadora Ledil c14607.

Fonte: (LEDIL , 2015)

Transferindo estes dados como características de projeto para o programa *REVIT* tem-se a janela de parâmetros da figura 69.

Figura 69 - Configuração dos parâmetros de fotometria para a lente colimadora Ledil C14607.

Fonte: Autor.

O segundo grupo de LEDs, responsável pela temperatura de cor neutra de 4000 K, foi formada pela mesma lente colimadora, porém instalada em ângulo de 60°, evitando ofuscamento no campo visual do paciente.

O terceiro conjunto de LEDs, responsável pela distribuição de luz no leito do paciente, foi formado por uma lente colimadora Ledil CS 14597 (figura 70), capaz de abrigar um conjunto de 12 LEDs com a distribuição fotométrica apresentada no gráfico 6.

Figura 70 - Lente colimadora Ledil CS 14597.

Fonte: (LEDIL , 2015)

Gráfico 6 - Dados Fotométricos lente colimadora Ledil CS 14597.

Fonte: (LEDIL , 2015)

Transferindo estes dados como características de projeto para o programa REVIT, tem-se a janela de parâmetros da figura 71.

Figura 71 - Configuração dos parâmetros de fotometria para a lente colimadora Ledil CS14597.

Fonte: (LEDIL, 2015)

A partir destas configurações é possível criar simulações para extrair resultados qualitativos através de imagens realistas, e resultados quantitativos por meio de imagens com “cores falsas” representando o nível de iluminância no ambiente.

6.1.5 Simulação de iluminação utilizando a luminária “Circadian”

Observando as diretrizes geradas pelo método QFD e a configuração gerada pela forma com a qual foi desenvolvida a luminária “Circadian”, podemos prever quatro situações distintas. A primeira situação seria a iluminação artificial promover a luz relaxante e suave, através da distribuição horizontal e na parte superior do ambiente. Para esta situação a temperatura de cor do LED utilizado é de 2700 K, formando a sensação de final de tarde início da noite. Também poderia ser empregada em uma situação em que não se deseja a supressão da melatonina e, desta forma, contribuir para sensação de sono tranquilo.

A figura 72 mostra a simulação da unidade de internação utilizando imagem realista, enquanto a figura 73 mostra a imagem em “cores falsas”, revelando a distribuição da iluminância no ambiente.

Figura 72 –Renderização foto realista- Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian 2700K.

Fonte: Autor.

Figura 73 - Renderização com “cores falsas” iluminância. Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian 2700K.

Fonte: Autor.

A segunda situação prevê a iluminação com uma temperatura de cor neutra de 4000K e com a distribuição da luz principalmente na área central do plano vertical das paredes. Esta situação evita o ofuscamento no campo visual do paciente, mas, ao mesmo tempo, cria uma sensação mais estimulante, permitindo ao paciente executar tarefas simples, tais como, alimentar-se, ler ou assistir Tv. Conforme mostra as figuras 74 e 75, a quantidade de luz se concentra na superfície da parede acima do paciente, substituindo, desta maneira, a luminária arandela normalmente empregada para este tipo de unidade de internação. A primeira vantagem desta configuração é a eliminação de instalação elétrica nas paredes da unidade.

Figura 74 – Renderização foto realista - Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian 4000K.

Fonte: Autor.

Figura 75 - Renderização com “cores falsas” iluminância. Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian 4000K.

Fonte: Autor.

A terceira situação prevê a iluminação concentrada no leito do paciente. Neste caso, a luz tem o objetivo estimular visualmente o paciente. Apesar do ofuscamento causado pela luz é necessário lembrar que com a temperatura de cor de 6500K e comprimento de onda na faixa de 450nm, conforme apresentado na seção 3.2, começa ocorrer a supressão da melatonina e, por consequência, o estímulo para sensação de alerta. Esta fonte de luz poderia ser empregada em momentos em que a luz natural se apresente em pouca quantidade na unidade de internação, situações em que mesmo de dia o clima chuvoso ou nublado, por exemplo, poderia contribuir para um quadro de depressão acentuado. Pelas figuras 76 e 77 percebe-se também que é a situação em que existe maior quantidade de luz sobre o paciente, chegando a 290lux.

Figura 76 – Renderização foto realista - Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian 6500K.

Fonte: Autor.

Figura 77 - Renderização com “cores falsas” iluminância. Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian 6500K.

Fonte: Autor.

Além das três situações apresentadas, é importante salientar que a luminária “Circadian” permite a configuração individual dos grupos de LEDs e, dessa forma, criar cenários intermediários com acionamento gradual para cada grupo de temperatura de cor e direcionalidade.

Na quarta situação, todos os grupos de LEDs são acionados em sua capacidade máxima ao mesmo tempo. Pelas figuras 78 e 79 é possível notar que a quantidade de luz é alta, mais de 800 lux no leito e 400 lux ao redor. Provavelmente esta situação poderia ser usada para o momento de limpeza ou manutenção da unidade de internação, pois seria possível identificar facilmente áreas de sujidades com a temperatura de cor variando de 2700K a 6500K e uma iluminância em média de 400 lux no ambiente.

Figura 78 - Renderização foto realista - Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian – Todos grupos de LEDs acionados.

Fonte: Autor.

Figura 79 - Unidade de Internação - Simulação luminária Circadian. “Cores Falsas” e todos grupos de LEDs acionados.

Fonte: Autor.

O mais importante seria a capacidade desta luminária permitir que a configuração da luz fosse mais adequada para o grupo de usuário mais relevante no momento, através de um sistema de controle remoto, permitindo maior interatividade e atendendo às expectativas que a luz artificial deve cumprir no ambiente hospitalar.

A luminária “Circadian”, proposta nesta tese, é apenas uma possibilidade levando-se em consideração o conjunto de diretrizes extraídas do método QFD.

7 CONCLUSÕES

Esta tese apresentou diretrizes de design para a concepção de luminárias com tecnologia LED, focando o ambiente hospitalar e em especial a unidade de internação e as necessidades dos pacientes. Essas diretrizes foram elaboradas a partir da contextualização do conceito de design como processo de criação, passando pelas escolas de design como a Bauhaus e Werkbund, observando-se o método holístico de um dos grandes light designers do século XX, Poul Henningsen, em sintonia com o desenvolvimento tecnológico apresentado por grandes empresas de iluminação, como a ERCO e adotando a metodologia QFD aliado aos princípios do *Design Thinking* que foca, principalmente, nas necessidades dos usuários para buscar soluções criativas.

Conforme apresentado, os estudos sobre a influência da qualidade da luz, em especial a temperatura de cor da luz branca e seu impacto no comportamento fisiológico no corpo humano são parâmetros fundamentais no desenvolvimento de novas luminárias com tecnologia LED. No caso de ambientes hospitalares, este quesito se torna mais relevante, pois é justamente neste ambiente em que a luz pode influenciar de forma positiva ou negativa para o bem-estar do usuário que se encontra em situação de fragilidade.

Adaptando o método Desdobramento da Função Qualidade, QFD, desenvolvido na área de engenharia de produção, foi possível organizar e classificar o grau de relevância de múltiplas variáveis presentes em um projeto de iluminação no ambiente hospitalar. Características da qualidade e exigências dos usuários foram dispostos em uma matriz de relações que vislumbrou a interatividade e a qualidade da luz, além do ciclo circadiano, como elementos preponderantes para formulação de uma luminária conceitual.

Do ponto de vista da qualidade exigida pelo grupo de pacientes, as principais características da luminária foram:

1. Permitir fácil interatividade;
2. Iluminação que ofereça localização temporal (ciclo circadiano);
3. Permitir direcionamento da luz;
4. Iluminação que permita reduzir a monotonia do ambiente;
5. Iluminação que transmita sensação de segurança.

Essas exigências foram transformadas nas seguintes características da qualidade:

1. Iluminação indireta;
2. Controlador eletrônico com drivers e controladores;
3. Alto grau de interatividade;
4. Controle de fácil utilização;
5. Distribuição horizontal da luz.

Com o objetivo de experimentar as diretrizes apresentadas pelo método QFD, uma luminária foi desenvolvida no ambiente virtual com a capacidade de transformar as principais diretrizes de design em parâmetros de projeto, tais como: a temperatura de cor, a direcionalidade da luz, o fluxo luminoso, distribuição da luz e a própria forma da luminária. Utilizando o programa *Revit* da empresa de softwares Autodesk e arquivos fotométricos da empresa LEDIL e dados fornecidos pela empresa de LEDs CREE, foi possível criar o ambiente virtual de uma unidade de internação hospitalar e simular diferentes configurações de iluminação, supondo diferentes situações em que o paciente pode se encontrar.

Os resultados analisados em imagens foto realísticas e de distribuição da iluminância em cores falsas apresentaram maior variação de cenários de iluminação, além de cumprir os quesitos verificados no método QFD. Ainda foi possível eliminar uma das luminárias (luminária de parede) presente no sistema convencional de iluminação de unidades de internação.

Essa tese não pode ser entendida como o final do processo de criação deste tipo de luminária, mas sim o início. Estudos na área de fisiologia e ciclo circadiano ainda estão em andamento, e, por este motivo, podemos ainda incorporar conceitos mais profundos que relacionam o ciclo circadiano e os marcadores de tempo social conhecidos como *Zeitgeber*.

REFERÊNCIAS

ABILUX. **Levantamento do estágio tecnológico do setor de iluminação**. Associação Brasileira da indústria de iluminação. São Paulo, p. 87. 2005.

ABREU, F. D. S. QFD - desdobramento da função qualidade - estruturando a satisfação do cliente. **Rev. adm. empres.**, São Paulo, v. 37, p. 47-55, abr 1997.

AKAO, Y. **Introdução ao Desdobramento da Qualidade**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1996.

ALEXANDRE, R.; GOIS, A. **Workshop - Leds na iluminação arquitetural**. [S.l.]: [s.n.], 2006.

ARAUJO, J. F.; MARQUES, N. Cronobiologia: Uma multidisciplinaridade necessária. **Margem**, São Paulo, 30 jun 2002. 95-112.

ARGAN, G. C. **Arte Moderna**. São Paulo: Cia das Letras, 1988.

ASCHOF, J. Exogenous and endogenous components in circadian rhythms. **Cold Spring Harbor Symposia Quantitative Biology**, v. 25, p. 11–28., 1960.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Iluminação de ambientes de trabalho NBR 9895 1**. 1. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013.

BAXTER, M. **Projeto de produto - Guia prático para design de novos produtos**. 2°. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

BOMMEL, W. J. M. Non-visual biological effect of lighting and practical meaning for lighting for work. **Applied Ergonomics**, v. 37, p. 461-466, Julho 2006.

BROWN, R. E.; BASHEER, R.; MCKENN, J. Control of sleep and wakefulness. **Physiological Review**, Massachusetts, 2013. 1087–1187.

BROWN, R.; BASHEER, R.; MCKENN, J. CONTROL OF SLEEP AND WAKEFULNESS. **Physiological Review**, Massachusetts, 2012. 1087-1187.

BROWN, T. Design Thinking. **Harvard Business Review**, p. 84-95, junho 2008.

BÜRDEK, B. **Design História, Teoria e Prática do Design de Produtos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

CHENG, L. C. et al. **QFD Planejamento da qualidade**. Belo Horizonte: Littera Maciel, 1995.

COSTA, S. V. D.; CEOLIM, M. F. Fatores que interferem na qualidade do sono de pacientes internados. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 47, p. 46-52, 2013. ISSN 1.

CREE. **XLamp XP-G LEDs - Product Family DATA SHEET**. Durham: [s.n.], 2016.

DA COSTA, S. V.; CEOLIM, M. F. Fatores que interferem na qualidade do sono de pacientes internados. **Revista da escola de Enfermagem da USP**, v. 47, p. 46-52, 2013. ISSN 1.

DALKE, H. et al. Colour and Lighting in Hospital Design. **Optics & Laser Technology**, v. 38, p. 343-365, 2006.

DIAS, M. V. et al. Iluminação e saúde humana: estado da arte em dispositivos de medição de luz no nível dos olhos. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, São Paulo, v. 21, n. 36, p. 210-227, fev 2015.

ECKEL-MAHAN, K.; SASSONE-CORSI, P. METABOLISM AND THE CIRCADIAN CLOCK CONVERGE. **Physiol Review**, California, 2013. 107-135.

ERCO. Louvre Lens. **Erco Discovering Light Culture**, 2012. Disponível em: <<http://www.erco.com/projects/culture/louvre-lens-5853/en/>>. Acesso em: 25 jul. 2016.

EVERS, B. Prefácio. In: BIERMANN, V., et al. **Teoria da Arquitetura**. Koln: Tschen, 2003. p. 845.

FIGUEIRO, M. An Overview of the Effects of Light on Human Circadian Rhythms. **Journal of Light & Visual Environment**, New York, 7 Novembro 2013. 51-61.

FLUSSER, V. **O mundo codificado**. 3°. ed. São Paulo: Cosac Naify, 2012.

FONSECA, I. et al. Influência da iluminação no estado fisiológico e psicológico do usuário, Maceió, n. X Encac, 2005.

GOES, R. **Manual prático de arquitetura hospitalar**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

GOLOMBEK, D.; ROSENSTEIN, R. Physiology of Circadian Entrainment. **Physiol Review**, Buenos Aires, Julho 2010. 1063–1102.

GOMES, P. J. P. A evolução do conceito de qualidade: dos bens manufaturados aos serviços de informação. **Cadernos BAD**, 2004. 6-18.

GRANDIN, L. D.; ALLOY, L.; ABRAMSON, L. Y. The social zeitgeber theory, circadian rhythms, and mood disorders. **Clinical Psychology Review**, 2006. 679-694.

HAQUE, U. **The Architectural Relevance of Gordon Pask**. Londres: John Wiley & Sons, 2007.

HARB, F.; HIDALGO, M. P.; MARTAU, B. Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms. **Chronobiology international**, v. 32, p. 368-375, 2015.

HENNINGSEN, P. Louis Poulsen. **Louis Poulsen**, 2014. Disponível em: <<http://www.louispoulsen.com/int/products/indoor/pendants/ph-5-ph-50.aspx>>. Acesso em: 1 janeiro 2014.

HOFFMANN, et al. Effects of Light With Reduced Short Wavelength Components on Parameters of Circadian Rhythm and Performance in an Experimental Night Shift Model. **The Open Physiology Journal**, Austria, p. 34-43, 2008.

JIANG, H. et al. A methodology of integrating affective design with defining engineering specifications for product design. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 8, p. 2472-2488, 2015.

KNAUERT, M. P.; HASPEL, J.; PISANI, M. Sleep Loss and Circadian Rhythm Disruption in the Intensive Care Unit. **Clinics in Chest Medicine**, v. 36, p. 419-429, Jun 2015.

LEWIN, T.; BORROFF, R. **How to design cars like a pro**. Minneapolis: Motorbooks, 2010.

LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO. **Relatório de Desenvolvimento de Plataforma de novos produtos**. Light Insight Iluminação. São Carlos, p. 153. 2010.

LIMA, M. R. C. D.; RAMÓN SAN MARTÍN. Análise experimental da influência da luz nas emoções de estudantes universitários, Natal, n. X Encac, 2009.

LLOERT, J. **Design Boom**, 2013. Disponível em: <<http://www.designboom.com/technology/puzzle-facade-turns-architecture-into-a-playable-rubiks-cube-12-09-2013/>>. Acesso em: 1 Junho 2014.

LÖBACH, B. **Design industrial - Bases para a configuração dos produtos industriais**. 4ª. ed. São Paulo: Blucher, 2001.

LOUIS POULSEN. Louis Poulsen. **Site da Louis Poulsen**, 2014. Disponível em: <<http://www.louispoulsen.com/int/about-us/designers/poul-henningsen/>>. Acesso em: 1 Janeiro 2014.

MARTAU, B. T.; SCARAZZATO, P. S. **Impactos não visuais da iluminação**, Natal, 2009.

MARTINS, P.; LAUGENI, F. **Administração da Produção**. 5ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MARTYNHAK, B. J.; FLÁVIO AUGUSTINO BACK; FERNANDO LOUZADA. The biological value of the circadian period. **Revista da Biologia**, São Paulo, dez. 2012. 58-61.

MASI, D. D. **A sociedade pós Industrial**. São Paulo: Senac, 1999.

MIGUEL, P. A. C. **Implementação do QFD para o desenvolvimento de novos produtos**. São Paulo: Atlas, 2008.

PECCIN, A. **Iluminação Hospitalar**. Porto Alegre: Dissertação, 2002. 185 p.

PH The Philosophy of Light. Direção: Poul Henningsen. Produção: Poul Henningsen. [S.l.]: Louis Poulsen. 1963.

PHILIPS. Philips Lumileds. **Philips**, 2014. Disponível em: <<http://www.philipslumileds.com/technology/thermal>>. Acesso em: 1 janeiro 2014.

PIANO, R. Renzo Piano Building Workshop, 2014. Disponível em: <<http://www.rpbw.com/project/3/centre-georges-pompidou/#>>. Acesso em: 1 janeiro 2014.

RAPOSO, C. **Contaminação ambiental provocada pelo descarte não controlado de lâmpadas de mercúrio no Brasil**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2001.

ROUND, H. J. A note on carburundum. **Eletical World**, Nova York, v. 49, p. 309, Fevereiro 1907.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produto - Uma referencia para melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SCHWARTZ, F. J. **As Novas Formas da Cultura na Era Industrial**, 2014. Catalogo de apresentação da exposição Deutscher Werkbund - 100 anos de Arquitetura e Design na Alemanha.

TOLEDO, J. C. D. et al. **Qualidade Gestão e Métodos**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2013.

TROCHE, G. **Desenhos Invisíveis**. São Paulo: Lote 42, 2014.

VANDEZANDE, J.; KRYGIEL, E.; READ, P. **Mastering Autodesk Revit Architecture 2015**. indianapolis: Sybex, 2015.

VIANA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. 3. ed. são Paulo: Geros, 2007.

WEINERT, J. **Led Lighting Explained - Understanding led sources, fixtures, applications and opportunities**. Massachusetts: Philips Color Kinetics, 2010.

WHELAN, M. edisontechcenter. **edisontechcenter**, 2013. Disponível em: <<http://www.edisontechcenter.org/LED.html#oled>>. Acesso em: 1 Outubro 2014.

WICK, R. **Pedagogia da Bauhaus**. São Paulo: [s.n.], 1989.

WOOD, B. et al. Light level and duration of exposure determine the impact of self-luminous tablets on melatonin suppression. **Applied Ergonomics**, v. 44, p. 237-240, Março 2013.

YU, S. et al. Incorporating Quality Function Deployment with modularity for the end-of-life of a product family. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 423-430, 2015.

ZAHABI, N.; SHAH, Z. A study of home automation. **International Journal of Research and Analytical Reviews**, 19 junho 2016. 70-75.

ZAKAUSKAS, A.; SHUR, M.; GASKA, R. **Introduction to Solid State Lighting**. Nova York: Wiley, 2002.

ZHELUDEV, N. The life and times of the. **Nature Photonics**, v. 1, p. 189-192, Abril 2007.

LUO, X. G. et al. QFD-Based Product Planning With Consumer Choice Analysis. **Systems, Man, and Cybernetics: Systems, IEEE Transactions on**, v. 45, n. 3, p. 454-461, 2015.

APÊNDICE

Apêndice I: Produtos em 2010

Luminária Light Insight N.3:

Luminária de mesa para uso em escritório e home office. Base composta por peça de madeira envernizada. Conjunto ótico formado por 3 LEDs e 3 lentes em linha em uma estrutura de alumínio e acrílico. Acionamento por driver incorporado na luminária. Articulação: em dois eixos permitindo o direcionamento do foco de luz em qualquer direção.

Figura 80 - Luminária Light Insight N.3.

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Luminária Light Insight N.5:

Luminária de mesa para uso residencial (abajur). Base, estrutura e difusor compostos por 4 peças acrílico usinadas. Conjunto ótico formado por 4 leds em uma estrutura de alumínio. Acionamento por driver fora da luminária.

Figura 81 Luminária Light Insight N.5

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Luminária Light Insight N.7:

Luminária de mesa para uso em escritório e home office. Base composta por peça de alumínio e madeira envernizada. Conjunto ótico formado por 3 leds e 3 lentes em uma estrutura de alumínio e acrílico. Acionamento por driver fora da luminária. Articulação: em dois eixos permitindo o direcionamento do foco de luz em qualquer direção.

Figura 82 – Luminária Light Insight N.7

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Luminária Light Insight N.12:

Luminária de mesa para uso em escritório e home office. Base composta por peça de madeira envernizada. Conjunto ótico formado por 3 leds e 3lentes formando um círculo em uma estrutura de alumínio e acrílico. Acionamento por driver incorporado na luminária. Articulação: 3 articulações permitindo maior regulagem da posição da fonte de luz em relação ao plano de trabalho.

Figura 83 – Luminária Light Insight N.12

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Luminária Light Insight N.14:

Luminária de chão para uso residencial ou comercial em hall de entrada, restaurantes. Base formada por mdf revestido com lâmina de madeira e hastes de madeira envernizadas. Difusor formado por uma peça de cúpula de tecido. Conjunto ótico formado por 6 leds em uma estrutura de alumínio. Acionamento por driver incorporado na luminária.

Figura 84 – Luminária Light Insight N.14

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Luminária Light Insight N.4

Luminária de mesa para uso residencial (abajur). Base formada por 3 peças de madeira envernizadas. Difusor formado por uma peça de acrílico leitoso. Conjunto ótico formado por 4 leds em uma estrutura de alumínio. Acionamento por driver fora da luminária.

Figura 85 – Luminária Light Insight N.4

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Luminária Light Insight N.15

Luminária de mesa para uso em escritório e home office. Base composta por base de madeira envernizada e haste de acrílico transparente verde. Conjunto ótico formado por 3 leds e 3 lentes em uma estrutura de alumínio e acrílico. Acionamento por driver incorporado na luminária. Articulação em um eixo permitindo o direcionamento do foco de luz em apenas uma direção.

Figura 86 – Luminária Light Insight N.15

Fonte: (LIGHT INSIGHT ILUMINAÇÃO, 2010)

Apêndice II: Descrição da visão inicial dos conceitos dos novos produtos

Conceito N. Y (novo produto)	
Descrição do Mercado Alvo	
Linha de Mercado:	Aconchegante
Proposta de Benefícios:	Luz mais quente (amarelada) Madeira Tecido Maior tamanho Maior Peso
Visão dos Requisitos do Mercado:	padrão tamanho abajur luz amarelada normas segurança
Estimativa Preço Venda Final:	R\$ 1.000,00
Descrição do Produto	
Linha de Produto:	Abajur
Plataforma Tecnológica:	Led + possibilidade de dimerização automática ou manual
Visão dos Componentes Críticos:	Tecido, Driver, Conjunto Ótico, Embalagem
Meta Custo Produção:	R\$ 250,00

Conceito N. 4 v2 (melhoria de produto)	
Descrição do Mercado Alvo	
Linha de Mercado:	Alta Tecnologia
Proposta de Benefícios:	Proposta Atual N.4 + Dimerização intensidade
Visão dos Requisitos do Mercado:	normas segurança
Estimativa Preço Venda Final:	R\$ 3.600,00
Descrição do Produto	
Linha de Produto:	Abajur
Plataforma Tecnológica:	Led
Visão dos Componentes Críticos:	Tecido, Driver, Conjunto Ótico, Embalagem
Meta Custo Produção:	R\$ 900,00

Conceito N. X (novo produto)	
Descrição do Mercado Alvo	
Linha de Mercado:	Minimalista
Proposta de Benefícios:	Mobilidade - funções básicas - Leveza (alumínio) - Transparência (acrílico) - Integralidade + Unidade (um ou poucos materiais) - Formas puras (único tipo de forma) - Única Fonte de Luz mais forte
Visão dos Requisitos do Mercado:	normas segurança
Estimativa Preço Venda Final:	
Descrição do Produto	
Linha de Produto:	Abajur
Plataforma Tecnológica:	Led + Driver Móvel
Visão dos Componentes Críticos:	Bateria, Driver, Conjunto Ótico, Embalagem
Meta Custo Produção:	

Conceito N. Z (novo produto)	
Descrição do Mercado Alvo	
Linha de Mercado:	Alta Tecnologia
Proposta de Benefícios:	Dimerização Dupla (cor + intensidade) Interatividade USB + PC (software incluso) Luz mais fria (azulada) Alumínio + acrílico Luz focada + movimentação do foco de luz Volumes Pequenos + Hastes Finas
Visão dos Requisitos do Mercado:	normas segurança
Estimativa Preço Venda Final:	R\$ 2.000,00
Descrição do Produto	
Linha de Produto:	Mesa
Plataforma Tecnológica:	Led + Dimerização + Interatividade USB/PC
Visão dos Componentes Críticos:	Driver (energia+dimerização+USB), Alumínio (peças padrão),
Meta Custo Produção:	R\$ 500,00

Proposta N. Z v2 (melhoria de produto)	
Descrição do Mercado Alvo	
Linha de Mercado:	Alta Tecnologia
Proposta de Benefícios:	N Z + TouchScreen
Visão dos Requisitos do Mercado:	normas segurança
Estimativa Preço Venda Final:	R\$ 2.500,00
Descrição do Produto	
Linha de Produto:	Mesa
Plataforma Tecnológica:	Led + Dimerização + Interatividade USB/PC + TouchScreen
Visão dos Componentes Críticos:	Driver (energia+dimerização+USB), TouchScreen, Alumínio (peças padrão),
Meta Custo Produção:	R\$ 625,00

Conceito N. W (novo produto)	
Descrição do Mercado Alvo	
Linha de Mercado:	Minimalista
Proposta de Benefícios:	Articulação de Altura (adequação ambiente) - funções básicas - Leveza - Transparência - Integralidade + Unidade (um ou poucos materiais) - Formas puras (único tipo de forma) - Única Fonte de Luz mais forte
Visão dos Requisitos do Mercado:	normas segurança
Estimativa Preço Venda Final:	R\$ 2.000,00
Descrição do Produto	
Linha de Produto:	Chão
Plataforma Tecnológica:	LED
Visão dos Componentes Críticos:	Driver, Estrutura Modular (facilidade de transporte)
Meta Custo Produção:	R\$ 400,00

Conceito N. W v2 (novo produto)	
Descrição do Mercado Alvo	
Linha de Mercado:	Minimalista
Proposta de Benefícios:	Articulação de Altura (adequação ambiente) Dimerizacao Automatica - funções básicas - Leveza - Transparência - Integralidade + Unidade (um ou poucos materiais) - Formar puras (único tipo de forma) - Única Fonte de Luz mais forte
Visão dos Requisitos do Mercado:	normas segurança
Estimativa Preço Venda Final:	R\$ 2.500,00
Descrição do Produto	
Linha de Produto:	Chão
Plataforma Tecnológica:	LED + Dimerizacao Automatica
Visão dos Componentes Críticos:	Driver, Estrutura Modular (facilidade de transporte)
Meta Custo Produção:	R\$ 450,00

Conceito N. K (novo produto)	
Descrição do Mercado Alvo	
Linha de Mercado:	Orgânica
Proposta de Benefícios:	Usar proporção áurea na forma Material Orgânico = fibra + madeira Design "brasileiro"
Visão dos Requisitos do Mercado:	normas segurança
Estimativa Preço Venda Final:	R\$ 2.500,00
Descrição do Produto	
Linha de Produto:	Chão
Plataforma Tecnológica:	LED
Visão dos Componentes Críticos:	Driver, Estrutura Modular (facilidade de transporte), Material Orgânico
Meta Custo Produção:	R\$ 500,00