

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA:
ELETRÔNICA/TELECOMUNICAÇÕES

DANILLO DO VALLE
EDGAR ZENO PAUL JR
JEAN FILIPE KUHNE

ILTEL:
Iluminação Temática a Led

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2013

DANILLO DO VALLE
EDGAR ZENO PAUL JR
JEAN FILIPE KUHNE

ILTEL:
Iluminação Temática a Led

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado à disciplina de Projeto Final 2 do curso de Engenharia Industrial Elétrica: ênfase em Eletrônica / Telecomunicações do Departamento de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção de grau de engenheiro eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Benvenuti Borba

CURITIBA
2013

DANILLO DO VALLE
EDGAR ZENO PAUL JR
JEAN FILIPE KUHNE

ILTEL:
ILUMINAÇÃO TEMÁTICA A LED

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Eletricista com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Curitiba, 03 de maio de 2013.

Prof. Dr Rubens Alexandre de Faria

Prof. Dr. Gustavo Borba
Orientador

Prof. Tasso Graeff Arnold

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus que iluminou nosso caminho durante esta jornada, e nos integrou em uma equipe unida em todos os momentos do desenvolvimento, apesar de todas as dificuldades.

Agradecemos aos nossos queridos familiares: Sr. José Maria Muchenski do Valle e Sra. Maria Cristina de Paula e Silva do Valle, pais do Danilo; Sr. Edgar Zeno Paul e Sra. Marilene F. Benâncio Paul, pais do Edgar; Sr. Mauri Antônio Kühne e Sra. Rosana Pecini, pais do Jean, que no decorrer do curso e do projeto nos estimularam e apoiaram de modo constante com suas palavras apoio, coragem e perseverança.

Ao Prof. Dr. Gustavo Benvenuti Borba, orientador da equipe, que contribuiu com o desenvolvimento do projeto, nos contagiando com sua empolgação, fornecendo conselhos para a elaboração da documentação e preciosas orientações para os conceitos técnicos aplicados ao projeto.

Ao professor Wolney Betiol, que orientou no desenvolvimento do modelo de negócios e na gestão econômica financeira, trazendo sempre a expectativa do mercado e se valendo de ferramentas inovadoras.

À banca, composta pelos professores Prof. Dr. Rubens Alexandre de Faria e Prof. Tasso Graeff Arnold, os quais aceitaram em participar da nossa avaliação e também por tornar possível a realização do mesmo.

Aos amigos, que concederam incentivos e sugestões no decorrer do desenvolvimento e também em momentos de companheirismo e amizade que serviram de imensa importância e motivação para a elaboração do projeto.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e todos os seus professores, pelo ensino oferecido durante todo o curso, formando os integrantes da equipe com os conhecimentos e habilidades necessárias para a elaboração do projeto.

Agradecemos também ao apoio concedido por todos que colaboraram direta e indiretamente no desenvolvimento deste projeto e deixamos de todo o coração nosso profundo: Muito Obrigado!

RESUMO

VALLE, Danillo do, PAUL Jr, Edgar Zeno, KUHNE, Jean Filipe. ILTEL: Iluminação Temática a LED. 2013. 130 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica: Eletrônica/Telecomunicações) – Departamento de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

A adequada harmonização de elementos como decoração, música ambiente e iluminação é um dos pré-requisitos para um evento de sucesso. A iluminação deixou de ser um simples acessório para tornar-se destaque nos mais variados eventos, sempre atraindo de maneira positiva a atenção dos seus participantes. A plataforma para Iluminação Temática a LED (ILTEL), desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso, consiste em um piso retro iluminado por uma matriz microcontrolada de LEDs RGB e de um software de fácil operação para o gerenciamento do conteúdo visual a partir de um PC. A possibilidade de programação rápida permite que o operador selecione em tempo real os conteúdos a serem exibidos, proporcionando uma interação dinâmica entre o ILTEL e o ambiente. A ILTEL pode ser utilizada como complemento ao sistema de iluminação de eventos ou como elemento principal de iluminação, conferindo clima de dinamismo e inovação ao ambiente. Quanto à fonte de iluminação utilizada, destaca-se que os LEDs propiciam menor consumo de energia se comparados às fontes convencionais, implicando indiretamente na redução de emissão de CO₂, apresentam longa vida útil por não possuírem partes móveis e dissiparem pouca potência, além de serem compatíveis com as normas internacionais *Restriction of Certain Hazardous Substances* (RoHS), pois permitem o descarte com pouco impacto ao meio ambiente. Na versão atual da ILTEL utiliza-se comunicação USB entre o PC e as placas controladoras das matrizes de LEDs. As placas controladoras, baseadas em microcontroladores ARM, realizam o acionamento dos LEDs das matrizes. São utilizadas duas matrizes de 32x32 LEDs, operando em uma frequência (*refresh rate*) de 60 Hz. A arquitetura desenvolvida permite a fácil expansão das dimensões do painel, a partir da inclusão de placas controladoras e matrizes de LEDs.

Palavras chave: Iluminação. Piso iluminado. Matriz de LEDs. Microcontrolador ARM.

ABSTRACT

VALLE, Danillo do, PAUL Jr, Edgar Zeno, KUHNE, Jean Filipe. ILTEL: Iluminação Temática a LED. 2013. 130 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica: Eletrônica/Telecomunicações) – Departamento de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

The proper match of elements such as decoration, music and lighting is one of the key-factors for a successful event. Lighting system is no longer a simple detail, it plays a special role in all sorts of events, always attracting attention in a positive way of its participants. The Thematic LED Lighting platform (ILTEL), developed in this graduation project, consists of a backlit floor by an array of microcontrolled RGB LEDs and of an easy to operate software for managing visual content from a PC. Its simple operation allows user to select the content to be displayed in real time, providing a dynamic interaction between the environment and ILTEL. It can be used as a complement to an already existing lighting system or become the main element of lighting system, creating an innovating and dynamic environment. About the light source used, it is emphasized that the LEDs provide lower power consumption compared to conventional sources, implying indirectly in reducing CO₂ emissions, they have long life due to no moving parts and dissipate little power, and also are compatible with international standard Restriction of Certain Hazardous Substances (RoHS), once its disposal bring little impact to the environment. The current ILTEL version uses USB communication between the PC and the controller boards of LEDs array. The controller boards are ARM microcontroller based and activate the LEDs of the matrices. Two arrays of 32x32 LEDs are controlled, operating at a frequency (refresh rate) of 60 Hz. The developed architecture allows easy expansion of the panel dimensions by the inclusion of controller boards and LED arrays.

Keywords: Lighting. Illuminated floor. LED array. ARM microcontroller.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Ativo Circulante.....	107
Equação 2 - Passivo Circulante	107
Equação 3 - Ativo Permanente	107
Equação 4 - Passivo a Longo Prazo	107
Equação 5 - Liquidez Corrente.....	108
Equação 6 - Liquidez Seca	108
Equação 7 – Liquidez Geral	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama identificando principais blocos constitutivos do projeto	21
Figura 2 - Espectro eletromagnético com comprimento de onda na faixa da luz visível.....	24
Figura 3 - Diagrama de cromaticidade.....	24
Figura 4 - Representação do espaço das cores RGB.....	25
Figura 5 - O olho humano.....	26
Figura 6 - Detalhes das células detectoras de luz na retina.....	27
Figura 7 - Sensibilidade e largura de faixa dos cones.....	27
Figura 8 - Símbolo e representação física de um LED RGB 5 mm catodo comum.....	30
Figura 9 - Faixa de resposta no espectro visível e ângulo de abertura do LED RGB.....	31
Figura 10 - Painel de 16x32 de matriz de LED RGB.....	32
Figura 11 - Endereçamento das seções da matriz.....	35
Figura 12 - Circuito montado no painel P6 3em1 RGB SMD Indoor Full Color LED.....	36
Figura 13 - Diagrama elétrico do 74HC245D.....	37
Figura 14 - Diagrama elétrico do 74HC138.....	38
Figura 15 - Diagrama do APM4953.....	38
Figura 16 - Diagrama do MW5024B.....	40
Figura 17 - PWM com duty cycle de 50% e PWM com duty cycle de 90%.....	43
Figura 18 - Valor binário 1101 expresso em BAM.....	44
Figura 19 - Valor binário 01010101 expresso em BAM.....	45
Figura 20 - Codificação PWM 5 bits (duty cycle 71,8%).....	46
Figura 21 - Codificação PCM 5 bits (duty cycle 71,8%).....	46
Figura 22 - Saída PWM vs PCM (resolução de 4 bits).....	46
Figura 23 - Cor de 4 bits.....	48
Figura 24 - Cor de 4 bits utilizando PCM modificada.....	48
Figura 25 - Aspecto da placa stm32f4 – discovery e pinagem do micro-controlador.....	49
Figura 26 - Blocos constitutivos da plataforma ILTEL.....	51
Figura 27 - Solução plataforma ILTEL.....	52
Figura 28 - Interface do software ILTEL.....	54
Figura 29 - Protocolo de comunicação.....	56
Figura 30 - Quatro bits permitem 16 estados de cor.....	59
Figura 31 - Inter-relação e blocos constituintes do firmware.....	61
Figura 32 - Fluxo de ações da inicialização do microcontrolador.....	64
Figura 33 - Fluxo de ações do método painel_led_tick_timer().....	68
Figura 34 - Estado sequencial de cor.....	69
Figura 35 - Sequência das cores exibidas.....	69
Figura 36 - Solução plataforma ILTEL.....	73
Figura 37 - Plataforma ILTEL.....	73
Figura 38 - Inicialização do Software.....	74
Figura 39 - Comunicação com os módulos.....	75

Figura 40 - Pré-Visualização normal e um módulo 32x32 na posição 1x1.....	76
Figura 41 - Pré-Visualização Real e um módulo 32x32 na posição 1x1.	77
Figura 42 - Pré-Visualização Real, expandido, ocupando posições 1x1 e 1x2.....	78
Figura 43- Pré-Visualização Real, aspecto original, ocupando posições 1x1 e 1x2.	79
Figura 44 - Aspecto original, ocupando posições 1x1, 1x2, 1x3 e 1x4.....	80
Figura 45 - Proposta de Valor.	95
Figura 46 - Estrutura Organizacional.	100
Figura 47 - Avaliação do impacto do ciclo de vida das lâmpadas em relação à lâmpada incandescente.	116
Figura 48 - Carta de Round à Electrical World, em 1907, informando a verificação do fenômeno de eletroluminescência.....	118
Figura 49 - Curva tensão-corrente levantada por Lossev indicando tensão de emissão de luz- 1928.	119
Figura 50 - Espectro obtido à partir do primeiro LED, na faixa do vermelho, por Nick Holoniack Jr em 1962.....	120
Figura 51 - Espectro para leds monocromáticos e seus respectivos materiais.	121
Figura 52 - (a) Recombinação banda-a-banda (b) Recombinação por centros iso-eletrônicos. Fonte: (HP, 1977).	122
Figura 53 - Energia em função do momento (a) material direct band gap (b)material indirect band gap.....	123

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução das Receitas e Gastos Acumulados.	109
Gráfico 2 - Evolução do Resultado Líquido da empresa nos três primeiros anos de operação.	111
Gráfico 3 - Projeção do fluxo de caixa da empresa nos três primeiros anos de operação.	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificação painel P6 3em1 RGB SMD Indoor Full Color LED.	33
Quadro 2 – Plnagem do painel P6 3em1 RGB SMD Indoor Full Color LED.	33
Quadro 3 – Endereçamento da matriz.	34
Quadro 4 - Expectativa de Vendas nos 3 primeiros anos de operação.....	98
Quadro 5 - Cronograma de Atividades Previstas até 2014.	99
Quadro 6 - Previsão de Quadro de Pessoal até 2015.	103
Quadro 7 - Investimento inicial necessário para operação da empresa.....	104
Quadro 8 - Custos variáveis envolvidos nos processos de produção.	105
Quadro 9 - Projeção do resultado da Empresa nos três primeiros anos de operação.....	106
Quadro 10 - Receitas e Gastos Acumulados.	109
Quadro 11 - Projeção do resultado da empresa nos três primeiros anos de operação.	110
Quadro 12 - Projeção do fluxo de caixa da empresa nos três primeiros anos de operação.....	111

LISTA DE ACRÔNIMOS

CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
IDE	Integrated Development Environment
LED	Light Emitting Diode
PIXEL	Picture Element
RGB	Red, Green, Blue

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.3	METODOLOGIA	19
1.4	VISÃO GERAL DA ITEL	21
1.5	APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO	21
2	ESPECIFICAÇÕES	23
2.1	TEORIA DA COR	23
2.1.1	ESPAÇO DAS CORES RGB	25
2.2	O OLHO HUMANO	26
2.3	PERSISTÊNCIA VISUAL	28
2.4	EFEITO PHI	29
2.5	ESTUDO DA MATRIZ DE LED	30
2.5.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	34
2.5.2	CIRCUITO DA PLACA	36
2.6	TÉCNICAS DE CONTROLE DE INTENSIDADE DE BRILHO EM LEDS	42
2.6.1	PULSE WIDTH MODULATION - PWM	43
2.6.2	BINARY CODE MODULATION – BCM	44
2.6.3	PULSE CODE MODULATION - PCM	45
2.7	MICROCONTROLADOR	48
2.8	QT Framework	50
3	DESENVOLVIMENTO	51
3.1	SOFTWARE	53
3.1.1	CONEXÃO DO SOFTWARE COM A PLATAFORMA DE ILUMINAÇÃO	54
3.1.2	TRATAMENTO DE IMAGEM E VÍDEO	55
3.1.3	GUI	55
3.1.4	PAINELLED	55
3.1.5	PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO	56
3.2	MATRIZ LED 32X32	58

3.3	FIRMWARE.....	61
3.3.1	DESCRIÇÃO DO FIRMWARE.....	63
3.3.2	COMUNICAÇÃO COM O PC.....	71
3.4	TESTE FUNCIONAL.....	73
3.4.1	INICIALIZAÇÃO DO SOFTWARE.....	74
3.4.2	COMUNICAÇÃO COM OS MÓDULOS.....	75
3.4.3	EXIBIÇÃO DE IMAGENS.....	76
4	PLANO DE NEGÓCIOS.....	81
4.1	SUMÁRIO EXECUTIVO.....	81
4.2	DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO.....	82
4.2.1	VISÃO.....	82
4.2.2	MISSÃO.....	82
4.2.3	VALORES.....	82
4.2.4	DESCRIÇÃO DO NEGÓCIO.....	82
4.3	OBJETIVOS.....	83
4.3.1	OBJETIVOS PRINCIPAIS.....	83
4.3.2	OBJETIVOS INTERMEDIÁRIOS.....	83
4.4	PRODUTOS E SERVIÇOS.....	84
4.4.1	DESCRIÇÃO DO PRODUTO E SERVIÇOS.....	84
4.4.2	ANÁLISE COMPARATIVA.....	85
4.4.3	TECNOLOGIA.....	86
4.4.4	PRODUTOS E SERVIÇOS FUTUROS.....	87
4.5	ANÁLISE DE MERCADO RESUMIDA.....	88
4.5.1	SEGMENTAÇÃO DE MERCADO.....	88
4.5.2	SEGMENTO ALVO DE MERCADO.....	88
4.5.3	ANÁLISE DA INDÚSTRIA.....	92
4.6	DEFINIÇÃO DA OFERTA E PROPOSTA DE VALOR.....	94
4.7	ESTRATÉGIA DE IMPLEMENTAÇÃO.....	95
4.7.1	DIFERENCIAIS COMPETITIVOS E PROPOSTA DE VALOR.....	95
4.7.2	ESTRATÉGIA DE MARKETING.....	96
4.7.3	ALIANÇAS ESTRATÉGICAS.....	99

4.7.4	CRONOGRAMA.....	99
4.7.5	GESTÃO.....	100
4.7.6	ESTRUTURA ORGANIZACIONAL	100
4.7.7	EQUIPE	102
4.7.8	QUADRO DE PESSOAL.....	103
4.8	PLANO FINANCEIRO	103
4.8.1	CONSIDERAÇÕES.....	103
4.8.2	CUSTOS.....	104
4.8.3	INDICADORES FINANCEIROS.....	106
4.8.4	ANÁLISE DO PONTO DE EQUILÍBRIO	109
4.8.5	PROJEÇÃO DO RESULTADO	110
4.8.6	PROJEÇÃO DO FLUXO DE CAIXA	111
4.9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
5	CONCLUSÃO.....	114
	APÊNDICE A – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO LED	118
	APÊNDICE B – CIRCUITO PAINEL DE LED.....	125
	REFERÊNCIAS	126

1 INTRODUÇÃO

Este documento de trabalho de conclusão de curso apresenta o desenvolvimento de um piso retro iluminado utilizando LEDs RGB. Este piso pode ser utilizado como complemento a sistemas de iluminação, como complemento a decoração de interiores ou como peça chave de iluminação de casas noturnas.

Trata-se de um piso elevado, microcontrolado, com propriedade de emitir luz. Permite a formação de padrões luminosos para harmonização com a decoração do ambiente e eventual programação musical, tendo sido desenvolvido com foco em baixo consumo de energia, longa vida útil dos componentes fácil configuração e operação.

1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

De acordo com o censo realizado pelo IBGE em 2.010 (IBGE,2.010), estima-se que residam na cidade de Curitiba aproximadamente 1.782.000 pessoas entre 20 e 29 anos. Este valor representa aproximadamente 20% da população da capital e é justamente a faixa etária que está mais propensa a dispendir parte considerável da sua remuneração em entretenimento, frequentando bares e casas noturnas.

Portais que agregam informações sobre a agenda cultural da capital paranaense, como o portal afterhour¹, indicam a existência de mais de 220 bares e casas noturnas em Curitiba. O êxito destes estabelecimentos está atrelado à maneira pela qual o local satisfaz e fideliza sua clientela. “Iluminar é como vestir o ambiente” (FRANCO,2005). Apesar de importantes, decoração requintada e boa localização não são os fatores preponderantes para o sucesso desses estabelecimentos.

Em função da diversidade de efeitos psicológicos obtidos a partir da combinação das cores, é possível, no mesmo ambiente, criar atmosferas distintas para públicos diferenciados em diferentes horários de funcionamento de um estabelecimento. De acordo com Godoy, (2000, p.4) a iluminação pode fazer parte do contexto visual da casa, além de ser protagonista de efeitos visuais, alterando visualmente os ambientes. Como exemplo pode-se citar um restaurante, que durante o almoço pode ser iluminado de maneira sóbria e, ao anoitecer, de maneira descontraída. Estas

¹ <http://www.afterhour.com.br>

variações podem ser obtidas por meio de automação dos sistemas de iluminação que podem variar segundo as conveniências.

Um sistema de iluminação automatizado baseado em LEDs pode apresentar uma série de vantagens aos proprietários de casas noturnas. Tradicionalmente estes estabelecimentos utilizam lâmpadas incandescentes para a iluminação. Além da baixa robustez mecânica das lâmpadas, elas dissipam muita potência na forma de calor, consumindo muita energia elétrica e com curta vida útil. Tradicionalmente, a iluminação é instalada no teto, demandando estrutura aérea robusta para sua fixação. Existem estruturas dedicadas a este fim, mas sua aquisição pode representar até 100% do custo de aquisição de um sistema de iluminação nela fixado (MERCADOLIVRE,2013). Não é raro este tipo de material, juntamente com as caixas acústicas, ser instalado deliberadamente em vigas e caibros da estrutura de cobertura da casa. Isto acrescenta uma carga à estrutura para a qual ela não foi dimensionada, além de acelerar o processo de fadiga do material em função do calor dissipado pelas lâmpadas. Ao longo dos anos isto pode trazer danos estruturais à edificação, culminando em acidentes como desabamentos, similar ao verificado no templo religioso da igreja Renascer em Cristo, no dia 18/01/2009 em São Paulo.

Este projeto fornece iluminação a partir do chão, desonerando a estrutura aérea do local e eliminando riscos de acidentes como queimaduras ou focos de incêndio uma vez que LEDs dissipam pouca potência. Esta característica repercute numa desoneração do sistema de refrigeração do ambiente, refletindo na diminuição de custos com eletricidade para o sistema de refrigeração/climatização.

Outros aspectos observados são o custo operacional e impacto ambiental. De acordo com o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE,2011), lâmpadas incandescentes comuns têm eficiência energética de apenas 8 %, sendo o restante de sua energia convertida em calor. Lâmpadas fluorescentes possuem eficiência na ordem de 32%, enquanto os LEDs possuem eficiência energética na ordem de 40% (CAMPOS,2011).

Os LEDs possuem alta resistência mecânica e longa vida útil: 50 mil horas contra 1 mil horas de uma lâmpada incandescente. Experiências com semáforos a LED demonstram um consumo de eletricidade dez vezes menor em relação aos semáforos tradicionais, reduzindo o custo operacional e repercutindo na redução de emissão de CO₂ de usinas termoeletricas (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA,2007).

Além de reduzir os custos operacionais, sua maior vida útil implica na redução de emissão de poluentes provenientes da queima de derivados do petróleo em função da desoneração da cadeia logística para reposição e reparos. Diferente das lâmpadas incandescentes, na ocasião de descarte, o LED não emite vapores de mercúrio quando quebrado e permite reciclagem (PHILIPS, 2010, p.13).

1.2 OBJETIVOS

Este projeto tem por objetivo desenvolver uma plataforma de iluminação temática, constituída de um piso retro iluminado por LEDs RGBs, cujo padrão de iluminação é definido por um software num PC que se comunica com um microcontrolador, que controla as matrizes. Os controles de iluminação do piso permitem a exibição de imagens como fotos e vídeos.

O piso será formado por vários blocos, cada um deles contendo uma matriz de LEDs microcontrolada, de maneira que o piso será capaz de exibir diversos padrões de imagem. Além disso, esse sistema resultará em um piso iluminado de dimensões suficientes para ser utilizado em casas noturnas, bares e eventos em geral, propiciando aos seus frequentadores um ambiente mais envolvente. Para o proprietário do estabelecimento, destaca-se o baixo custo de manutenção e operação.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O desenvolvimento da plataforma de iluminação temática envolve as seguintes etapas:

- Desenvolvimento de uma matriz de LEDs RGB microcontrolada.
- Desenvolvimento de um firmware para controle da matriz de LEDs RGB por um microcontrolador.
- Desenvolvimento de um software para captura e programação de efeitos visuais.
- Desenvolvimento de uma fonte de alimentação adequada para o sistema.

Ainda, é possível listar os seguintes objetivos, categorizados em científicos, econômicos e ambientais.

Objetivos científicos:

- Estudo de técnicas de controle de intensidade de brilho e de intensidade de cores em LEDs.

Objetivos econômicos:

- Gerar conhecimento para o desenvolvimento de novos produtos baseados em LEDs. O uso de LED agrega valor de peça única. Clientes assimilam bem a idéia de substituição da peça única ao invés de reparo, aumentando a receita.

Objetivos ambientais:

- Minimizar o impacto ambiental utilizando LEDs em detrimento a outras lâmpadas. O LED possui um ciclo de vida de 50 a 100 vezes maior que uma lâmpada incandescente comum. Seu uso implica em menor emissão de CO₂ em função da menor quantidade de energia elétrica utilizada. Seu descarte gera menos danos ao meio ambiente.
- Incentivo à reciclagem. Aproximadamente 95% do LED é reciclável (ECYCLE,2010) Esta prática é recomendada pois, apesar de não serem verificados em quantidades significativas, os LEDs possuem traços de metais como níquel, arsênio, gálio, chumbo e alumínio. Estes metais, a longo termo, podem ser prejudiciais ao meio ambiente. Esta característica de baixa concentração de metais poluentes os enquadra nas regras Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances (RoHS) para equipamentos elétricos e eletrônicos (AZOCLEANTECH,2012).

1.3 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos neste documento, as atividades foram organizadas de acordo com a seguinte metodologia:

1ª Etapa: Identificação do nicho de atuação

Além da oportunidade de desenvolver o projeto de conclusão do curso foi necessário verificar se o projeto realmente atendia a uma necessidade do mercado.

Três nichos foram identificados:

Casas noturnas: o principal consumidor do produto proposto. O foco não pode ser local uma vez que em pouco tempo o mercado estaria saturado. O mercado

deve ser abordado em caráter nacional através de representantes comerciais distribuídos por região geográfica.

Empresas de locação de artigos de iluminação: a demanda por locação deste tipo de produto é alta, particularmente em eventos como formaturas e casamentos. Em função do alto custo de aquisição estimado, este nicho justifica a abertura de uma divisão dedicada somente para locação deste tipo de material.

Decoração de interiores: como este mercado demanda muita customização, a parceria com arquitetos e designers de interiores tende a ser promissora, uma vez que seus clientes estão ávidos por inovação e estão dispostos a pagar por ela.

2ª Etapa: Definição do escopo do produto

Esta etapa se confundiu com a identificação do nicho de atuação. Uma vez identificada uma idéia ela deve ser posta à prova para validar sua utilidade. Dessa maneira, o escopo do produto foi rascunhado em paralelo à identificação do nicho de atuação, buscando atender às expectativas do público alvo identificado. O escopo do produto será abordado no tópico que aborda o modelo de negócio.

3ª Etapa: Estudo das tecnologias envolvidas

Usando o escopo do produto como referência, blocos funcionais foram identificados para delinear o escopo do projeto. Neste ponto foram avaliadas as tecnologias apropriadas para cada bloco envolvido no projeto. Estudos preliminares avaliaram questões como: modelos adequados de LED; alternativas de montagem da matriz de LED; técnicas de controle dos LEDs; microcontrolador utilizado; plataforma de desenvolvimento do software e alimentação adequada do sistema.

4ª Etapa: Análise dos custos envolvidos

Uma vez definidos os elementos constitutivos do projeto, foi efetuado um estudo sobre os possíveis componentes a serem aplicados e viabilidade de aquisição para montagem de protótipos.

5ª Etapa: Definição do escopo do projeto

De posse das definições anteriores foi possível refinar o escopo do projeto, definindo blocos funcionais e rotinas de testes e validações.

6ª Etapa: Implementação dos blocos funcionais

À medida que os blocos funcionais eram concluídos, protótipos eram montados para validar a pesquisa e permitir o avanço do projeto. Paralelamente iniciou-se a consolidação das informações para a composição deste documento.

7ª Etapa: Documentação

Paralelamente iniciou-se o processo de documentação do projeto, uma vez que muitas definições já haviam sido validadas e o projeto estava começando a adquirir aspecto final. Esta documentação foi utilizada para constituir o relatório final a ser entregue à bancada de apresentação do projeto final.

8ª Etapa: Apresentação do projeto

De posse do projeto concluído e validado com o escopo do produto e com o escopo do projeto, foi acordado a data de apresentação para a banca de avaliação.

1.4 VISÃO GERAL DA ILTEL

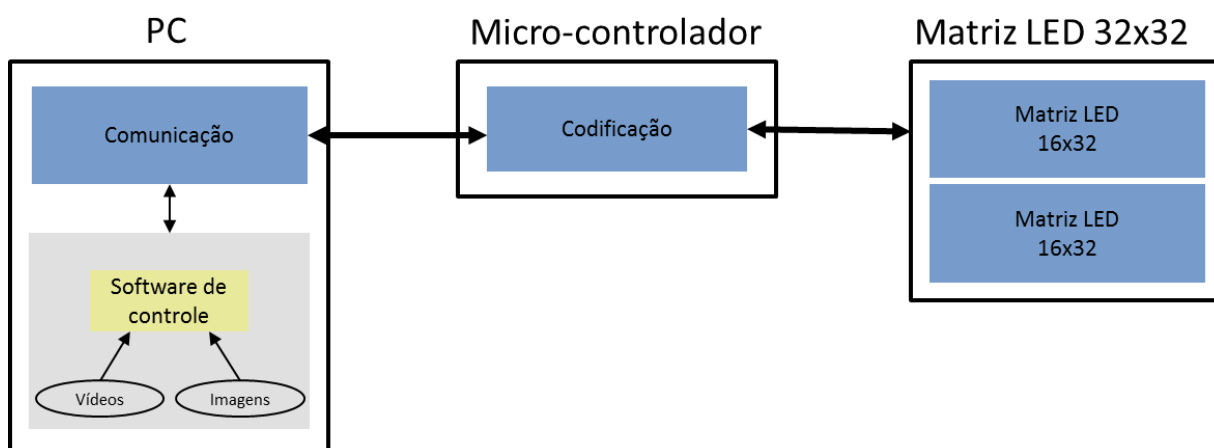


Figura 1 - Diagrama identificando principais blocos constitutivos do projeto
 Fonte: Autoria Própria

1.5 APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO

O capítulo 2 apresenta as especificações e informações referentes à fundamentação teórica do projeto. Uma breve introdução é conduzida a respeito das

tecnologias envolvidas de modo a possibilitar a compreensão da etapa de desenvolvimento do projeto.

O capítulo 3 apresenta informações referentes ao desenvolvimento do projeto, sendo identificados os módulos que compõem o projeto, incluindo a descrição do hardware e software desenvolvido e empregado.

O capítulo 4 apresenta o plano de negócios para analisar a viabilidade da introdução do projeto no mercado, sob a forma de um serviço e/ou produto. Um plano para a abertura de uma nova empresa é proposto, sendo listados os resultados dos estudos referentes à análise de mercado, tais como os possíveis clientes, concorrentes existentes e patentes relacionadas ao projeto. Também apresenta elementos relacionados à gestão da empresa, tais como despesas e custos envolvidos, expectativa de vendas e o cronograma para execução das atividades planejadas. É realizada a análise de indicadores financeiros, previsão das receitas líquidas e do fluxo de caixa em determinado período.

O capítulo 5, por fim, aponta as principais considerações referentes ao o projeto como um todo, como a motivação para realização do projeto.

2 ESPECIFICAÇÕES

Este capítulo aborda os estudos conduzidos para o desenvolvimento e implementação do projeto. Dentre os estudos conduzidos, destacam-se:

- Teoria da cor
- O olho humano
- Persistência visual
- Efeito PHI
- Estudo da matriz de LED
- Técnicas de controle de intensidade de brilho e cores em LEDs
- Microcontrolador
- Framework QT

2.1 TEORIA DA COR

A percepção da cor pelo ser humano é uma experiência subjetiva, só fazendo sentido se o mesmo puder percebê-la. Nem mesmo a cadeia de eventos envolvendo receptores específicos na retina e o córtex visual do cérebro são suficientes para determinar sua existência, a qual o ser humano toma conhecimento somente após a interpretação pelo seu consciente (Wright, 1963, p. 20).

Apesar das inúmeras teorias sobre a visão das cores, a teoria do receptor tricromático, proposta em 1802 por Thomas Young e revisada por Herman von Helmholtz em 1866, é a mais aceita e afirma que há apenas três tipos de receptores de cor na retina, e que eles são sensíveis a uma faixa específica de comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Esses receptores são conhecidos como cones e podem ser de três tipos: cones S, sensíveis ao comprimento de onda de 445 nm e responsáveis pela percepção da cor azul; cones M, sensíveis ao comprimento de onda de 535 nm e responsáveis pela percepção da cor verde; cones L, sensíveis ao comprimento de onda de 570 nm e responsáveis pela percepção da cor vermelho (VISUAL PERCEPTION,2013). A sobreposição dos espectros cobertos por estes receptores cobrem uma região do espectro eletromagnético referenciado como faixa da luz visível, permitindo a percepção das cores de acordo com a sua frequência como dispostas da Figura 2.

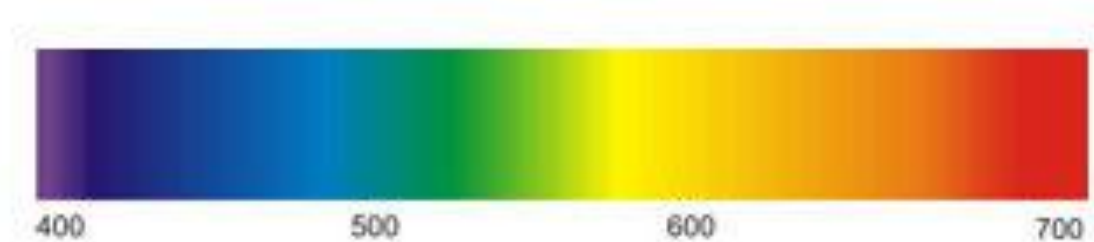


Figura 2 - Espectro eletromagnético com comprimento de onda na faixa da luz visível.
 Fonte: (ANAMORFIA,2012).

As cores que percebemos, pertencentes ao espectro da luz visível, representam uma parcela diminuta do espectro eletromagnético, se estendendo de 400 nm a 700 nm. O *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) definiu em 1931 que os valores 435,8 nm, 546,1 nm e 700 nm representam espectralmente as três cores primárias aditivas, azul, verde e vermelho respectivamente (SOUTO,2000).

O CIE definiu em 1931 o uso de coeficientes tricromáticos para representação das cores. Ilustrado na Figura 3, trata-se de um diagrama para representação gráfica dos coeficientes tricromáticos considerando como fonte de luz o iluminante padrão C, que corresponde à média de luz do dia.

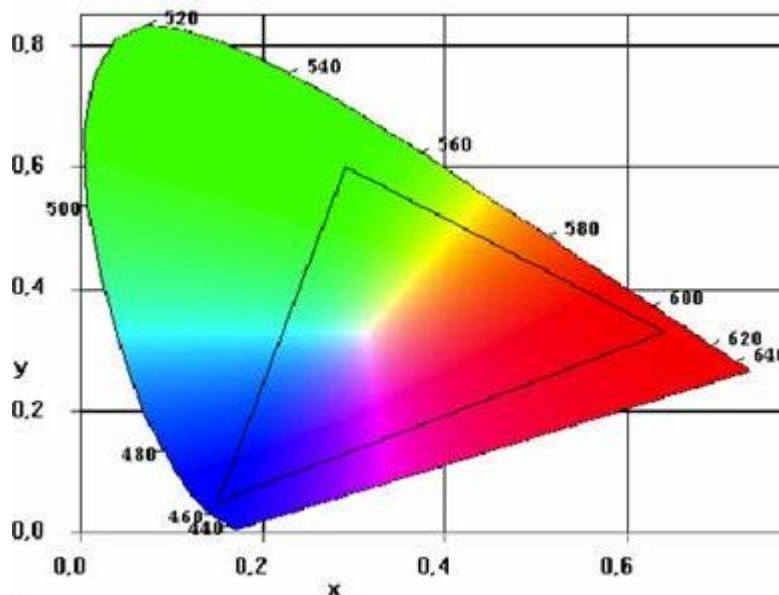


Figura 3 - Diagrama de cromaticidade.
 Fonte: (CEPSRM,2013).

As cores que podem ser reproduzidas através da combinação das cores vermelho, verde e azul pertencem à área delimitada pelo triângulo sobre o diagrama de cromaticidade. Este triângulo especial recebe o nome de gamut. Percebe-se que seus vértices se assentam sobre as cores primárias vermelho, verde e azul.

2.1.1 ESPAÇO DAS CORES RGB

Um espaço de cores é um sistema tridimensional de coordenadas, onde cada eixo refere-se a uma cor primária. A quantidade de cor primária necessária para reproduzir uma determinada cor é atribuída a um valor sobre o eixo correspondente (FOLEY et al., 1990, p.1176).



Figura 4 - Representação do espaço das cores RGB.
Fonte: (CEPSRM,2013).

Percebe-se pela Figura 4 que os eixos referentes às cores vermelho, verde e azul estão normalizados, variando de 0 a 1, sendo a origem do sistema a cor preto. O mesmo pode-se fazer para representar a quantidade de cores em bits. Oito bits permitem representação de 256 nuances da mesma cor ($2^8=256$), adotando o valor zero na origem do eixo e o valor 255 como maior vértice sobre eixo. Desta maneira cores de 24 bits podem ser reproduzidas, adotando valores intermediários sobre os eixos coordenados. Este é o princípio adotado para definir a intensidade de cores para cada cor do LED RGB.

2.2 O OLHO HUMANO

De acordo com a teoria de Young-Helmholtz, o olho humano pode ser abordado como um detector de energia eletromagnética, capaz de detectar energia eletromagnética com comprimento de onda variando entre 400nm e 700nm.

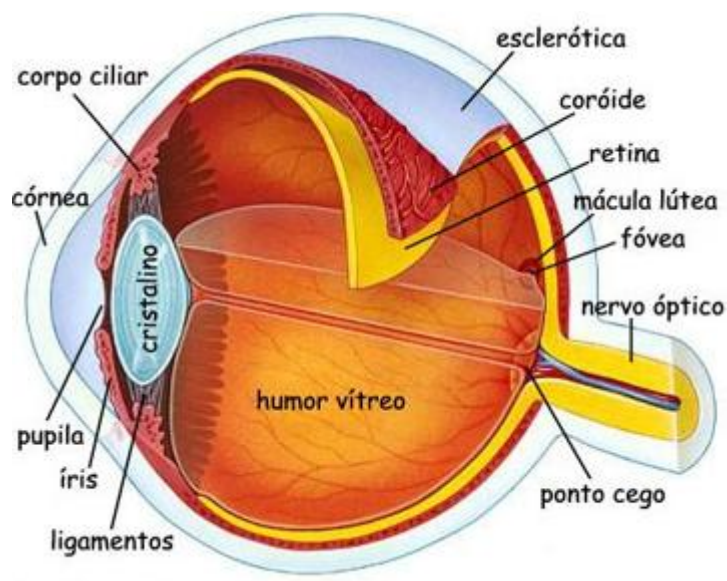


Figura 5 - O olho humano.
Fonte: (EXPLICATORIUM,2013).

Como pode-se perceber pela estrutura do olho humano representado na Figura 5, a luz entra no olho humano atravessando a córnea, passando pela pupila, cristalino e humor vítreo para finalmente alcançar a retina. A retina consiste em uma fina camada de células nervosas que se comportam como sensores de luz.

Esses sensores podem ser divididos em dois grupos: bastonetes que são os responsáveis por detectar a informação de luminância e cones, que captam a informação da cor. Os bastonetes e cones estão representados na Figura 6.

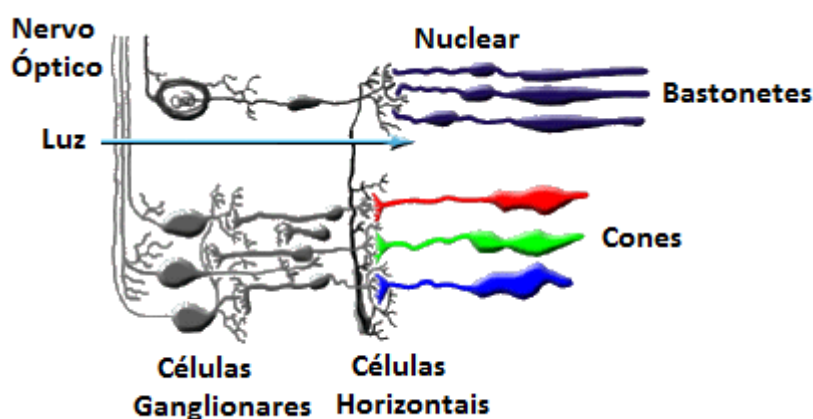


Figura 6 - Detalhes das células detectoras de luz na retina.
Fonte: (PHOTONET,2013).

Os cones captam os comprimentos de onda de três porções distintas do espectro visível, apresentando maior sensibilidade para os comprimentos de onda vermelho, verde e azul. Concentram-se na região central da retina conhecida como mácula e pode-se contar, aproximadamente, sete milhões de unidades (PERCEBENDO A LUZ,2013).

Os bastonetes não se distinguem entre si, sendo responsáveis por prover as informações de luminância. Sua concentração na retina é de aproximadamente de cem milhões de unidades (PERCEBENDO A LUZ,2013).

Estas informações são conduzidas ao cérebro pelo nervo óptico, onde esses sinais são processados e tem-se a percepção da imagem.

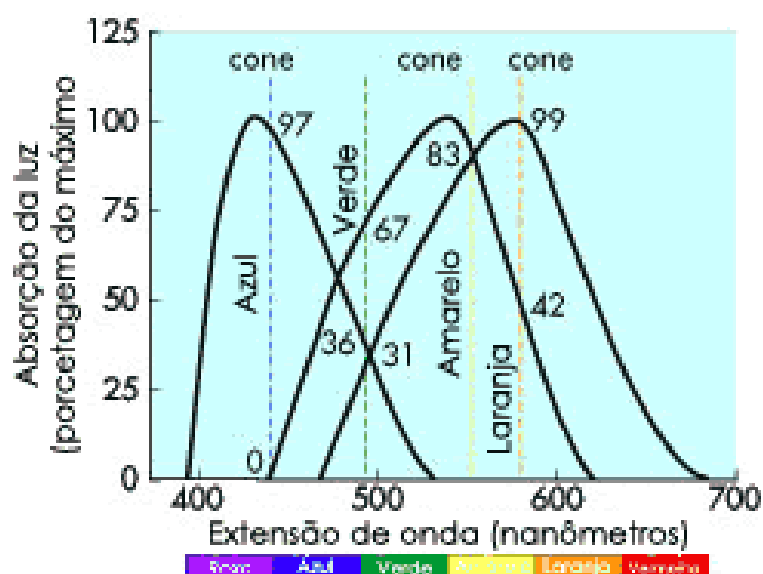


Figura 7 - Sensibilidade e largura de faixa dos cones.
Fonte: (PERCEBENDO A LUZ,2013).

Como todo sensor, esses receptores possuem uma faixa dinâmica de operação, sendo mostrada na Figura 7. Os cones apresentam pico de sensibilidade em 450nm para o azul, 540 nm para o verde e 580 nm para o vermelho. Qualquer comprimento de onda na faixa de 400 nm a 700nm sensibilizarão um ou mais destes sensores em diferentes intensidades, fornecendo diferentes percepções de cores ao serem processadas pelo cérebro.

2.3 PERSISTÊNCIA VISUAL

A criação de imagens no painel de LEDs utilizado neste projeto é baseada na contínua exposição de informação visual das cores primárias em cada ponto da matriz. Cada ponto da matriz constitui um elemento da imagem e para melhor representá-lo o termo *Picture Element* (Pixel) foi cunhado. Cada pixel contém informação das três cores primárias mapeadas à partir da imagem original, e uma vez combinadas, reproduzem a cor desejada para aquele pixel no painel de LED. O conjunto de todos os pixels adequadamente endereçados e com a informação de cor correta forma a imagem a ser exibida.

A imagem da matriz é formada pela constante varredura das linhas, onde é exibida a informação das colunas. As linhas são varridas e exibidas numa taxa superior à qual o nosso cérebro consegue distinguir. Considera-se que, a partir de 10 amostras por segundo, nosso cérebro é levado a acreditar que há a formação de um quadro de imagem. Isto implica que todas as linhas da matriz devem ser exibidas pelo menos 10 vezes por segundo para termos a sensação de uma imagem.

A impressão da visualização de um quadro de imagem criado pela varredura de linhas e colunas é atribuído ao fenômeno de persistência visual. Esse fenômeno caracteriza adequadamente a formação de imagens estáticas, mas é erroneamente empregado para justificar a percepção de imagens em movimento em telas de exibição.

Também conhecido como mito da persistência visual, esse fenômeno descrito pela primeira vez em 1826 pelo médico Peter Mark Roget, consiste na capacidade da retina em manter por uma fração de segundo uma imagem, mesmo depois desta haver sido retirada. Assim, acreditava-se erroneamente que a sensação de imagem em movimento ocorria em função da exibição de uma sucessão de imagens

ligeiramente diferentes entre si espaçadas por um curto intervalo de tempo, onde a percepção de movimento seria justificada pela fusão da nova imagem com a imagem remanescente na retina pelo cérebro.

O fato é que essa fusão ocorre independente de haver movimento ou não. Os opositores ao mito da persistência visual alegam que a exibição de uma série contínua de imagens estáticas não passa de uma exibição de uma série contínua de imagens estáticas, fenômeno diferente da percepção de movimento (GRAND ILLUSIONS,2013).

As células fotossensíveis da retina transformam a energia luminosa em impulsos bio-elétricos que são enviados para o cérebro, que por sua vez os interpreta como imagem. Mesmo depois do cérebro ter recebido os impulsos, a retina continua mandando informações, por aproximadamente 1/10 de segundo após o último estímulo luminoso.

Para efeito de movimento contínuo é necessário garantir a não ocorrência de flicker na imagem exibida. Apesar dos dez quadros projetados individualmente por segundo proporcionarem a sensação de movimento, isto não é suficiente para garantir ausência de flicker. Experimentalmente comprova-se que isto é obtido através do mascaramento da imagem exibida a uma taxa de 50 vezes por segundo. Fazendo alusão a um cinema, os quadros podem ser passados a 24 quadros por segundo, contando que haja um mecanismo – obturador - que exiba cada quadro duas vezes, separados por um intervalo de preto. Isso garante a exibição de 48 quadros por segundo, eliminando o efeito flicker. (GRAND ILLUSIONS,2013).

2.4 EFEITO PHI

A teoria amplamente aceita sobre a percepção de movimento através de imagens estáticas é conhecida como efeito PHI. Anunciada em 1912 pelo psicólogo Max Wertheimer, o efeito PHI é considerado um fenômeno de ordem psíquica, sendo enunciado da seguinte maneira: "se dois estímulos são expostos aos olhos em diferentes posições, um após o outro e com pequenos intervalos de tempo, os observadores percebem um único estímulo que se move da posição primeira à segunda" (PRINCÍPIOS DE CINEMATOGRAFIA,2008).

Para que a interpretação do movimento ocorra é necessário um intervalo de mascaramento, como ocorre nos cinemas (AUMONT, 2004), através da ação do obturador, gerando um efeito de mascaramento.

Apesar de Wertheimer ter derrubado o mito da persistência visual para explicar a sensação de movimento de imagens esse mito ainda é propagado no meio do cinema. Wertheimer concluiu que a impressão de movimento não é atribuída ao fenômeno fisiológico da persistência visual, sendo um efeito psicológico, e não fisiológico como o mito afirma.

Esta teoria não invalida a persistência retiniana, permitindo duas interpretações: a percepção de movimento à partir de repetição de imagens estáticas é um fenômeno psíquico e não físico; trata-se fenômeno complementar, cuja sensação pode ser advinda justamente da persistência retiniana. (PRINCÍPIOS DE CINEMATOGRAFIA,2008).

2.5 ESTUDO DA MATRIZ DE LED

Para a exibição do conteúdo visual optou-se pelo uso de LEDs RGB. Um estudo preliminar sobre o princípio de funcionamento dos LEDs é apresentado no ANEXO A.

Individualmente, os LEDs se comportam como emissores de luz a partir de uma tensão específica quando polarizados diretamente, tendo sua cor definida pelo material que os compõem.

Partindo deste princípio, pode-se afirmar que LEDs RGB são formados pela combinação de três LEDs num único invólucro, sendo acessados a partir de quatro pinos, como mostrado na Figura 8. O material que os compõem podem ser os mais variados, podendo apresentar para composição das cores vermelho, verde e azul os materiais AlGaInP/GaAs, GaInN/GaN e GaInN/GaN respectivamente.

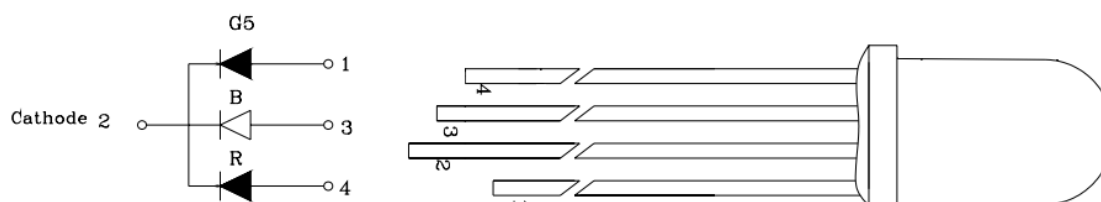


Figura 8 - Símbolo e representação física de um LED RGB 5 mm catodo comum.
Fonte: (LED,2013)

LEDs RGB podem ser do tipo anodo ou catodo comum, e possuem como valores típicos de tensão de LED 3,5V para azul e verde e 2V para vermelho. A Figura 9 mostra a faixa de resposta de um LED RGB típico no espectro eletromagnético e seu ângulo de abertura de irradiação de luz.

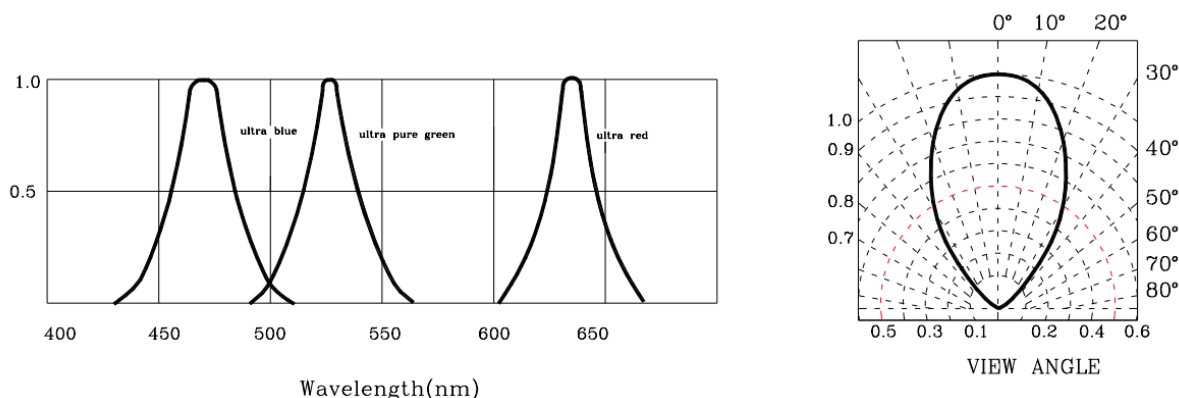


Figura 9 - Faixa de resposta no espectro visível e ângulo de abertura do LED RGB
Fonte: (LED,2013)

Apesar da abordagem com LEDs RGB individuais no início das atividades, logo emergiu a preocupação com a quantidade de energia dispensada para montar uma matriz 30x30 com LEDs RGB, considerando que cada LED possui quatro pinos. Ao extrapolar para uso de LED SMD ficou claro que outra alternativa deveria ser encontrada.

Uma vez que cada LED representa um pixel a ser exibido, buscou-se no mercado alternativas que proporcionassem uma boa densidade de LEDs, além de uma solução “elegante” à questão de fios à amostra e disposição dos componentes responsáveis por manter a matriz em funcionamento, tais como latches e drivers de corrente.

Pesquisas na internet conduziram ao site de divulgação de projetos e venda de dispositivos eletrônicos ADAFRUIT², criado pela engenheira Limor “Ladyada” Fried, graduada pelo MIT. O anúncio “*Bring a little bit of Times Square to your home...*” serviu de chamariz para um painel que é utilizado em vídeo walls e que pode ser encontrada nas laterais dos ônibus de Nova York, exibindo animações e pequenos vídeo clips.

Trata-se da matriz de LEDs RGB mostrada na Figura 10, formada por 16 linhas e 32 colunas, totalizando 512 LEDs RGBs numa superfície de 19,2 cm por 9,6 cm, sob

² <http://www.adafruit.com>

o custo de U\$ 44,95 por painel. Este painel não possui controle de PWM, servindo apenas para acender e apagar os LEDs com 12 latches de 16 bits e drivers de corrente, tendo sido adquirido 4 unidades para início das atividades do projeto.

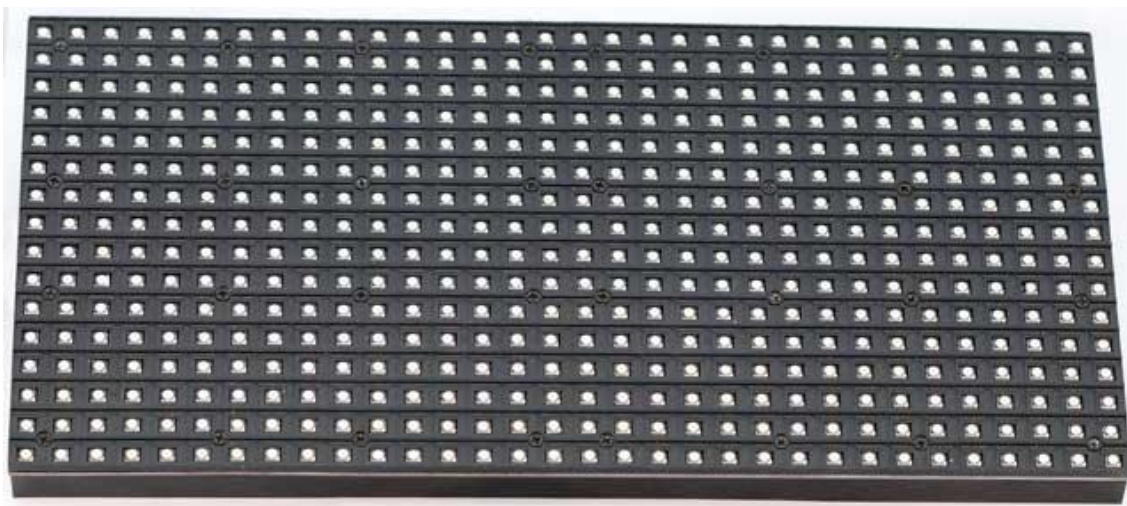


Figura 10 – Painel de 16x32 de matriz de LED RGB.
Fonte: (HOBBYPCB,2011)

Pesquisas em sites de comércio b2b, como alibaba³, permitiu chegar nas especificações “16x32 p6 rgb led matrix” e “16x32 P6 RGB 3-in-1 pixels”, além de verificar que o mesmo módulo pode ser adquirido por até U\$ 13,00 a unidade, viabilizando o plano de negócios.

A especificação “16x32 P6 RGB 3-in-1 pixels” diz respeito a um painel de LEDs RGB com um pixel composto por três cores (3-in-1) e que possui 16 linhas e 32 colunas, permitindo endereçar 512 LEDs, espaçados por 6 mm. O Quadro 1 resume as principais características do painel adquirido, Abaixo segue uma tabela com mais especificações da placa:

Items		P6 Indoor Full Color Module
Module	Pixel Pitch	6mm
	Pixel Density(dot/m ²)	27777
	Pixel Configuration	1(RGB)
	Packaged Type of LED	SMD
	Module Size(mm)	192X96
	Module Resolution	32X16

³ <http://www.alibaba.com>

Technical Parameter	Brightness(cd/m ²)	3500
	Max Power Consumption(w/m ²)	1050
	Best Viewing Distance(m)	6 - 18
	Viewing Angle	120°V/ 120°H
	Drive Mode	Constant Current drive 1/8 scan
	Driving	Driving IC MW5024B
	Lifespan	≥100000H
	Driving Power	5V
	Working Temperature	-10°C~+55°C
	Working Humidity	5%RH~85%RH

Quadro 1 - Especificação painel P6 3em1 RGB SMD Indoor Full Color LED.

Fonte: (LIGHTWELL,2013)

O painel é operado por 12 pinos, os quais estão descritos do Quadro 2. São 6 pinos para dados e 6 pinos para controle. Dados e alimentação correm por cabos separados. Necessita de alimentação 5V DC, com capacidade de corrente de 2A.

Função	Pinos	Descrição
Dados	R1	Bits de cor vermelha da metade superior da seção
	B1	Bits de cor azul da metade superior da seção
	G1	Bits de cor verde da metade superior da seção
	R2	Bits de cor vermelha da metade inferior da seção
	B2	Bits de cor azul da metade inferior da seção
	G2	Bits de cor verde da metade inferior da seção
Controle	A	Seleção da seção
	B	Seleção da seção
	C	Seleção da seção
	OE	Output Enable
	LAT	Latch
	CLC	Clock

Quadro 2 – Pinagem do painel P6 3em1 RGB SMD Indoor Full Color LED.

Fonte: Autoria própria.

Possui dois conectores para cabo IDC de 16 vias (2x8). O primeiro é utilizado para tráfego de dados e controle e o segundo pode ser utilizado para cascadeamento de placas.

2.5.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Por se tratar de uma matriz com 16 linhas e 32 colunas, há no total 512 LEDs que devem ser endereçados para formação de imagens (16 linhas x 32 colunas = 512 LEDs). Uma vez que não há como endereçá-los simultaneamente em função da quantidade de pinos e da corrente necessária, a seguinte abordagem foi adotada pelos projetistas do painel: divisão em seções e endereçamento por seções.

Divisão em seções: a matriz foi dividida em 8 seções, sendo que cada seção endereça duas linhas da matriz. Como a imagem a ser formada é entrelaçada, as linhas não são endereçadas de maneira contígua dentro da mesma seção, o que permite um melhor efeito no *refresh* dos pixels.

Assim, o endereçamento das seções segue o esquema mostrado no Quadro 3:

Seção	Linhas endereçadas
1	1 e 9
2	2 e 10
3	3 e 11
4	4 e 12
5	5 e 13
6	6 e 14
7	7 e 15
8	8 e 16

Quadro 3 – Endereçamento da matriz.
Fonte: Autoria própria

Para formação das imagens, cada seção deve ser continuamente exibida num intervalo muito curto de tempo. A varredura das 8 seções forma uma quadro. Ao processo de varredura de uma seção é dado o nome de “*1/8 scanning*”.

A Figura 11 utiliza um esquema de cores para indicar as linhas endereçadas por seção na matriz.

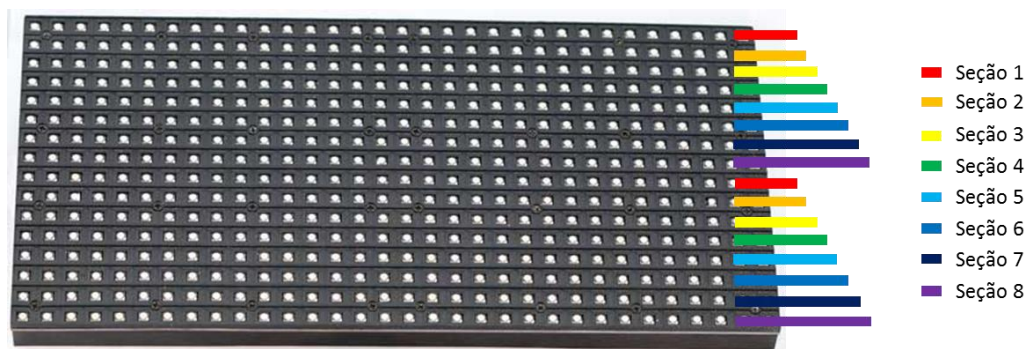


Figura 11 – Endereçamento das seções da matriz
Fonte: Autoria própria

Endereçamento em cada seção: de acordo com o que foi descrito anteriormente, cada seção endereça duas linhas. É sabido pelo hardware que cada linha possui 32 LEDs. Isto implica que cada seção irá endereçar 64 LEDs. Como está sendo utilizado LEDs RGB, 64 LEDs implicam em 192 informações de cores por seção (64 LEDs x 3 cores = 192 cores).

Uma vez que não há PWM no circuito do painel, essa informação de cor irá apenas dizer se o LED irá acender ou apagar dentro de um ciclo de clock, sendo um bit para cada cor do LED. Como um bit de cor não é adequado para reproduzir de maneira satisfatória a informação de cor de um pixel, as intensidades das cores devem ser mapeadas dentro do espaço das cores em relação ao número de bits disponíveis para exibição da cor. Oito bits por cor do espaço das cores permite reprodução de 64 milhões de cores. Isto implica que no período de um ciclo do PWM, cada LED deve receber os 2^8 bits referentes a informação de cor para o vermelho, verde e azul para a exibição adequada da cor para determinado pixel. Como será mostrado a seguir, essa informação de cor chega ao LED através de barramentos independentes, sendo um para cada cor.

Formação de imagens: uma varredura nas 8 seções informa apenas se o LED estará aceso ou apagado. O número de varreduras completas para formar um quadro completo de imagem devem ser tantas quantos forem a quantidade de informação da cor. Supondo o uso de 4 bits para representar uma cor do RGB, um quadro completo será exibido somente após 15 varreduras de cada seção da matriz. Como é possível acessar apenas uma seção por vez, as oito seções devem ser varridas periodicamente a uma taxa adequada para permitir a exibição da informação da cor de acordo como fenômeno de persistência visual, que neste caso é 15 amostras por quadro, sendo que cada amostra varre 8 seções.

2.5.2 CIRCUITO DA PLACA

O APÊNDICE B apresenta o esquema elétrico no formato A3 do circuito montado na parte traseira do painel e que é mostrado na Figura 12. Os seguintes componentes podem ser identificados:

- 74HC245D - *Bus Transceiver (Non-Inverting)*.
- 74HC138 - *3to8 Line Decoder (ABC)*.
- APM4953 - *Dual P-Channel Mosfet*.
- MW5024B – *Shift Register with Constant Current LED Driver*.

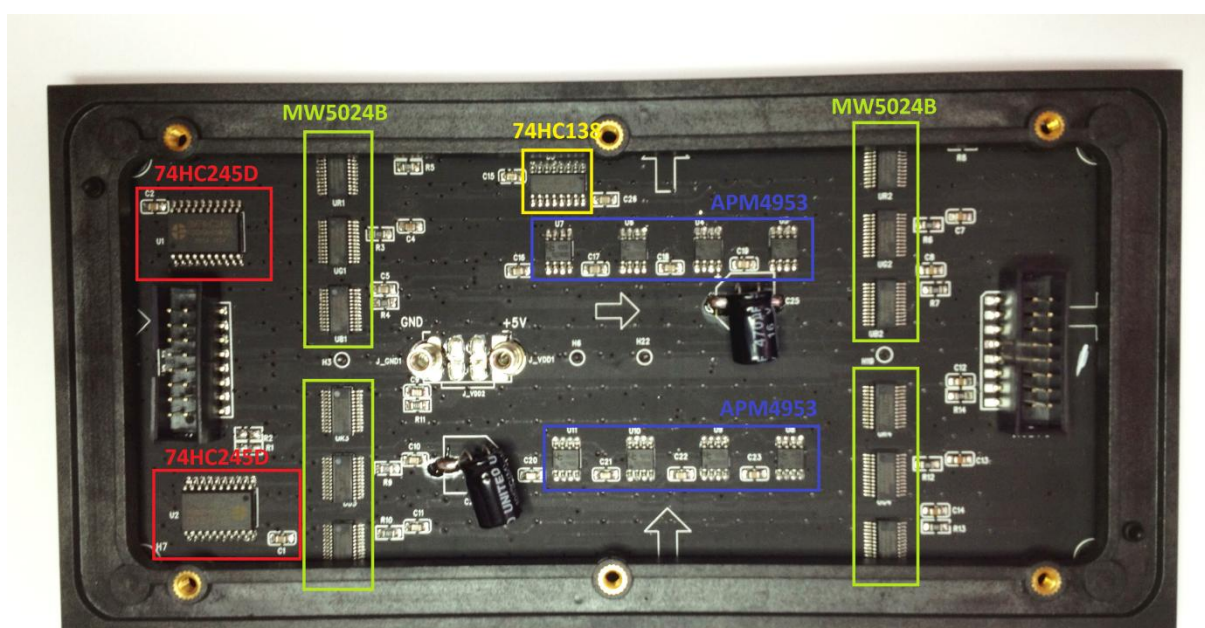


Figura 12 – Circuito montado no painel P6 3em1 RGB SMD Indoor Full Color LED.
Fonte: Autoria própria

A análise do circuito começa no componente 74HC245D, destacado na Figura 12 em vermelho, que é um transceptor de barramento bidirecional não inversor. Essencialmente reproduz na saída o que é apresentado na sua entrada, contanto que \overline{OE} e DIR estejam em nível lógico 0. A vantagem da sua utilização é garantir níveis de sinais adequados nas suas saídas para o restante do circuito, isolando o resto do circuito de pequenas flutuações na entrada. Neste caso permite trabalhar com microcontroladores cuja tensão de saída seja 3,3V. Percebe-se duas unidades do 74HC245D no circuito. Ele recebe os pinos seriais de dados e os pinos de controle descritos no Quadro 2, distribuindo-os para o restante do circuito. A Figura 13 ilustra as conexões do 74HC245D no circuito.

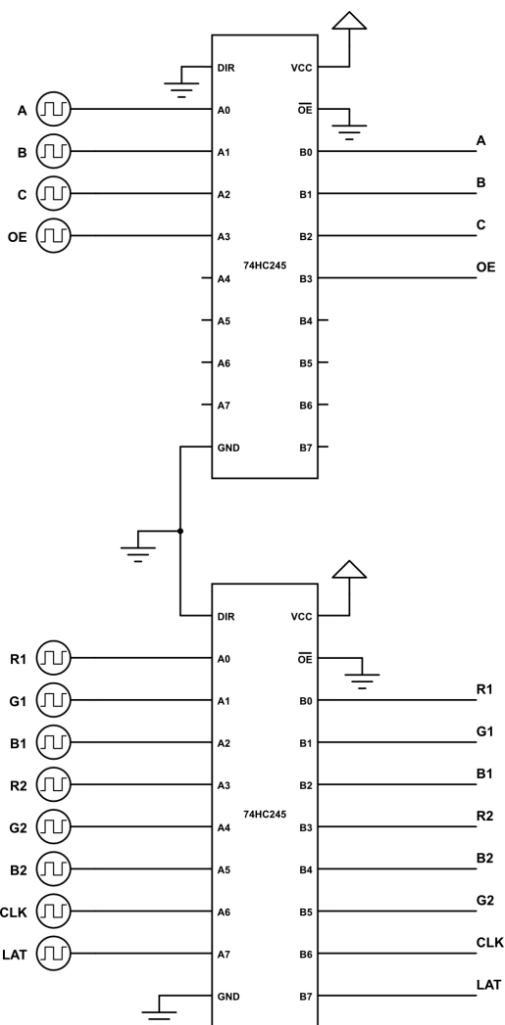


Figura 13 – Diagrama elétrico do 74HC245D
Fonte: Autoria própria

O componente 74HC138, destacado em amarelo na Figura 12, é um decodificador de linha 3x8. Ele possui 3 entradas, oito saídas e três enables. A saída selecionada pela combinação de bits na entrada vai para nível lógico 0, enquanto que as demais saídas vão para nível lógico 1. Utilizado para selecionar a seção do painel de LED, endereça os anodos da matriz pelo sinal dos pinos A, B e C. O circuito possui uma unidade do 74HC138. As seções são representadas pela letra “S”.

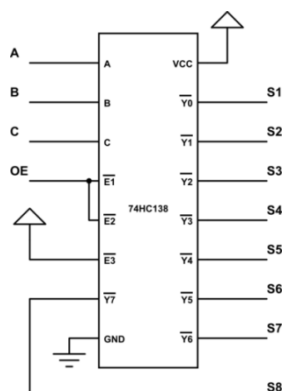


Figura 14 – Diagrama elétrico do 74HC138
Fonte: Autoria própria

O componente APM4953, destacado em azul na Figura 12, é um mosfet dual channel tipo P. Encontra-se ligado entre as saídas do 74HC138 e os anodos dos LEDs, atuando como fonte de corrente. Verifica-se um total de oito no circuito, um para cada seção. A Figura 15 ilustra suas conexões no circuito. Todas as seções são endereçadas na ilustração, mas por questão de espaço não estão representadas todas as colunas.

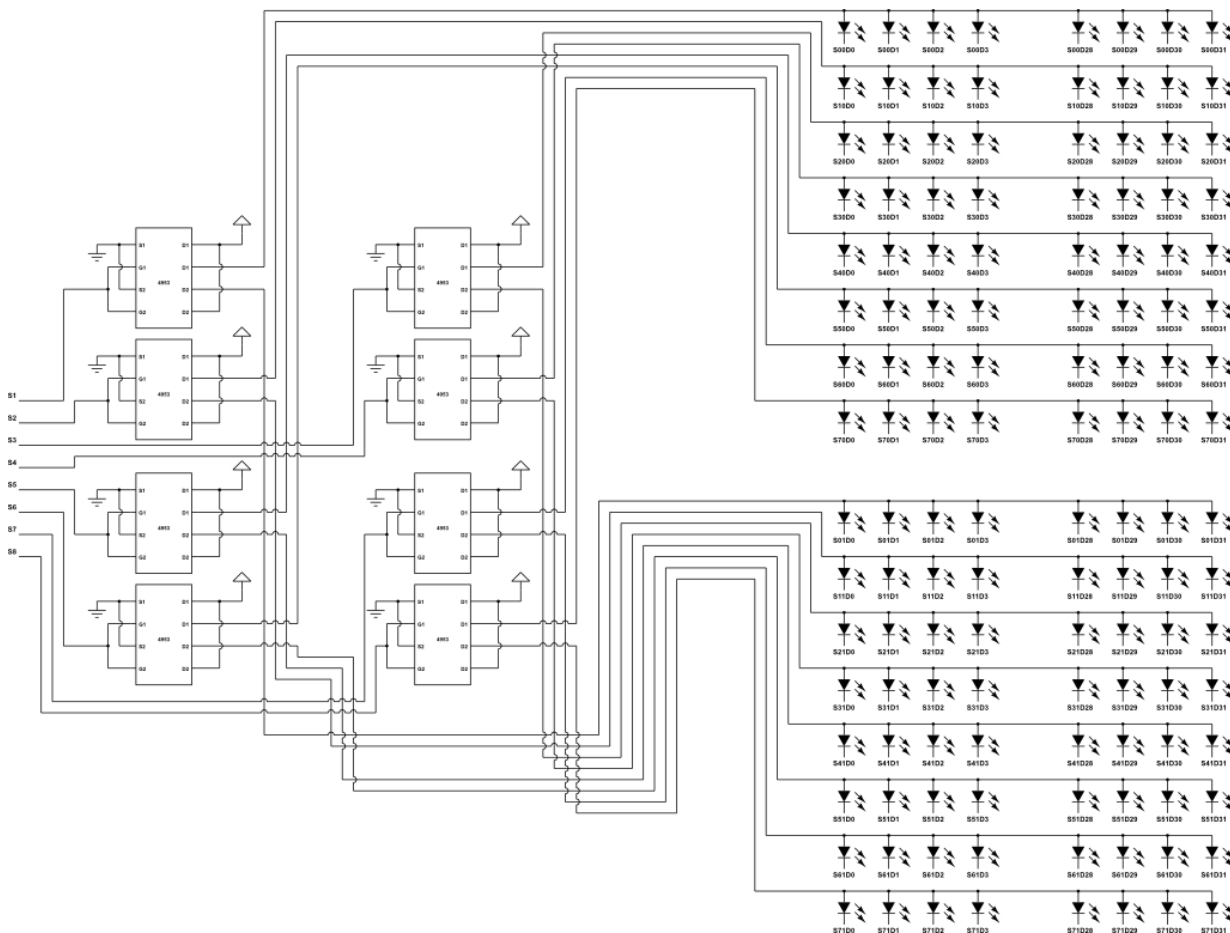


Figura 15 – Diagrama do APM4953
Fonte: Autoria própria

O componente MW5024B, destacado em verde na Figura 12, é um shift register com driver de corrente projetado para displays de LED. Contém um buffer serial de entrada e latches que convertem a entrada serial em 16 saídas paralelas de corrente constante que são ligadas nos catodos da matriz de LED, permitindo assim o controle individual de cada cor do LED na seção endereçada. A corrente de saída pode ser ajustada mediante um resistor externo. São verificados doze unidades do MW5024B no painel. Cada um possui 16 saídas, sendo utilizados 4 para cada cor. Esta estratégia permite que cada cor tenha seu próprio resistor externo, permitindo uma maior uniformidade nas cores exibidas.

O pino que contém a informação de cor é ligado na entrada SDI, que alimenta um shift register de 16 bits. O pino SDO é utilizado para cascadear outro MW5024B, que recebe o sinal do SDI do primeiro estágio após 16 ciclos de clock. Desta maneira é possível endereçar 32 LEDs de uma seção. O uso de 4 MW5024B permite endereçar a informação de uma cor de uma seção inteira.

A Figura 16 ilustra as conexões do MW5024B apenas para uma cor, cujas saídas devem estar conectadas individualmente nos catodos dos LEDs de cada seção da Figura 15. Esta abordagem de representação foi utilizada para evitar poluição visual em função da quantidade de barramentos necessários para endereçar cada pino de cor do LED RGB. Para completar o diagrama, a Figura 16 deve ser repetida, alterando apenas a entrada SDI com a cor apropriada (G1,G2 e B1,B2) e ligar as saídas nas cores adequadas, verde e azul dos LEDs da matriz.

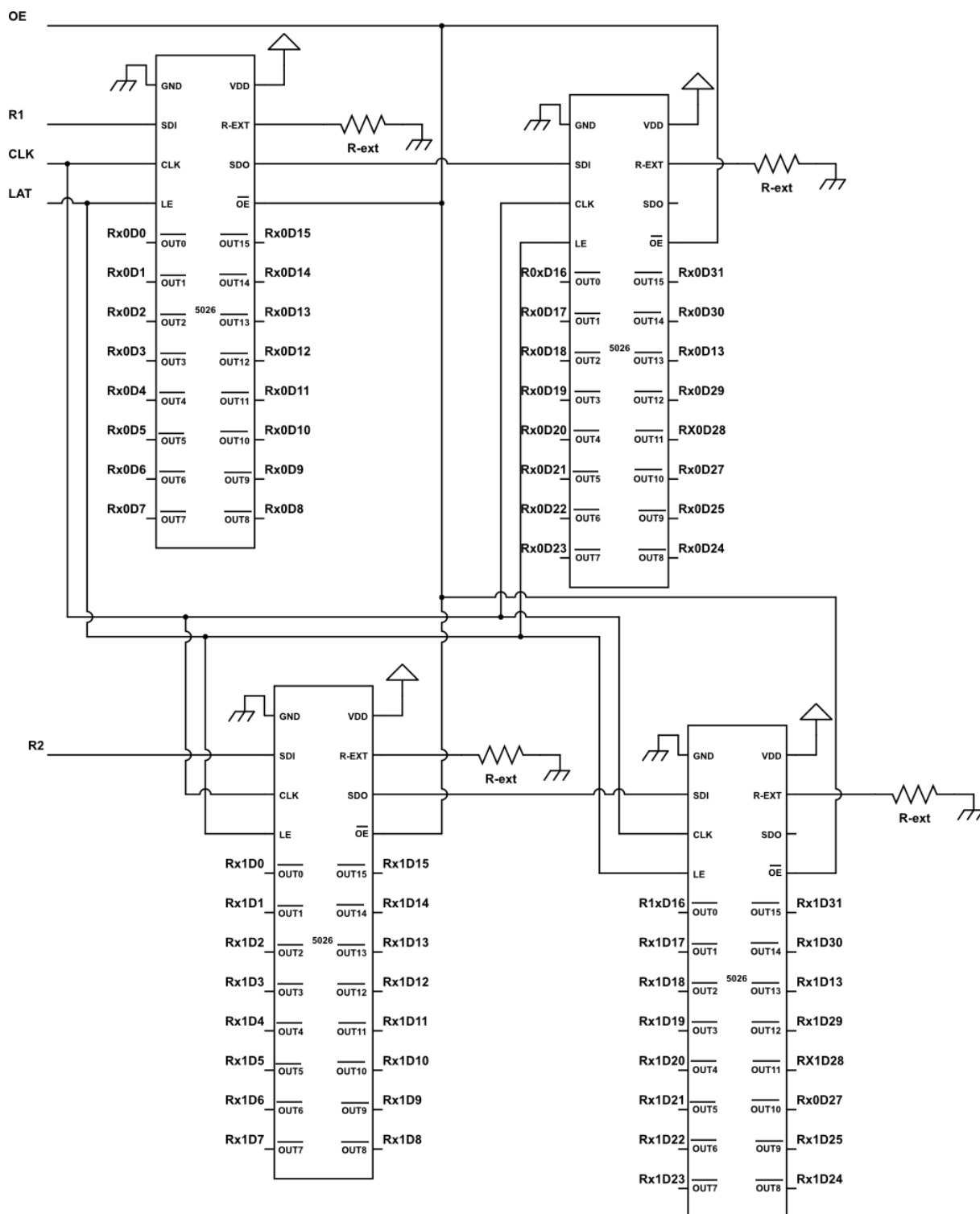


Figura 16 – Diagrama do MW5024B
Fonte: Autoria própria

Com base nas informações expostas acima, o funcionamento do painel de LED pode ser resumido da seguinte maneira:

- A varredura de oito seções cria uma amostra de um quadro. O controle desta varredura é feito pelo pinos de controle A, B e C no 74HC138 e fornece o sinal para polarizar o anodo de todos os LEDs de uma seção. Um quadro completo é criado após a varredura de tantos quadros quantos forem a quantidade de cores do pixel, sendo que cada varredura apresentará uma parcela de informação de cor para cada seção amostrada.
- Como o 74HC138 não consegue fornecer corrente suficiente para a seção, o mosfet de canal duplo APM4953 é utilizado para este fim.
- Os pinos R1, G1, B1, R2, B2 e G2 possuem a informação para endereçar cada pixel individualmente na seção. Eles possuem apenas a informação de acender ou não um LED, não fornecendo informações sobre intensidade da cor. Esses pinos repassam os dados de cor serialmente para o MW5024B, que além de shift register funciona como driver de corrente. A informação de cor 1 é ligada num MW5024B que é cascadeado para um segundo, obtendo assim a informação de uma linha da seção. A informação de cor 2 é ligada num terceiro MW5024B que é cascadeado para um quarto, obtendo assim a informação da segunda linha da seção. O uso de quatro MW5024B permite obter a informação de cor de uma seção inteira, ligando cada porta da sua saída em um catodo da seção.
- Os anodos da matriz são controlados pelas saídas do 74HC138 enquanto os catodos são ligados na saída do MW5024B. O processo de 1/8 scanning permite que 192 portas (3 cores x 64 LEDs RGB = 192 LEDs) consigam transmitir informação para 1536 LEDs (192 LEDs/seção x8 = 1536).
- O pino CLK é responsável pela cadência do *shift register* do MW5024B, que recebe serialmente as cores endereçadas por cada seção.
- O pino LAT controla o *latch enable* do MW5024B, que é acionado após o shift register da informação de cor de todos o LEDs da seção, enviando para a saída a informação de acender ou apagar armazenada em seus latches.
- O pino OE habilita a saída dos MW5024B e 74HC138, o que permite que os LEDs sejam acesos conforme a informação de bit recebida.

No mais, o painel apresenta os resistores externos para a corrente de saída de cada MW5024B além de resistores para compensar a dissipação de potência da cor vermelha.

2.6 TÉCNICAS DE CONTROLE DE INTENSIDADE DE BRILHO EM LEDS

Conforme abordado no estudo da matriz de LED, o painel utilizado não possui mecanismos para controle da intensidade de brilho de cada LED RGB. Assim, para formar mais que oito cores, torna-se necessário uma técnica externa de modulação para controle da intensidade luminosa de cada uma das componentes de cores do LED RGB.

O brilho de um LED é ajustado controlando a corrente direta que passa pelo LED. Existem dois métodos possíveis para isso:

- **Controle Analógico:** esta técnica ajusta a corrente que passa pelo LED linearmente, usando, em geral, conversores do tipo DAC, ADC e outros.
- **Controle Digital:** um trem de pulso digitalmente modulado aciona o LED a um nível corrente constante. No controle digital o duty cycle, ou também conhecido por densidade de sinal, representa o nível equivalente de sinal do controle analógico.

De acordo com Batsocks(2009), o olho humano consegue perceber o valor médio do brilho do LED a partir de 240 Hz. Isto implica que, para controle digital, os estados ligado e desligado do LED devem alternar a uma frequência superior a 300 Hz para que o olho não perceba a alternância de estados.

Em geral, qualquer técnica de modulação que controla o duty cycle pode ser usada para controlar a intensidade de brilho do LED. Essas técnicas de modulação são popularmente conhecidas como *Pulse Density Modulation* (PDM). Sinais PDM utilizam pulsos com densidades relativas de sinal que corresponde a uma amplitude de um sinal analógico (DATASHEETDIR,2013).

Controle digital é normalmente usado em *dimming* de LED devido as suas vantagens em relação ao controle analógico como a facilidade implementação, a melhora na eficiência do acionamento dos LED's e circuitos elétricos mais simples. Características construtivas do LED conferem ao controle analógico um pequeno range de controle, aproximadamente 20:1, além de ser difícil construir matrizes de LED cujos componentes possuam características uniformes. Outra dificuldade é o

controle sobre as perdas de potência por efeito Joule nos drivers analógicos necessários para acionar os LEDs.

O controle digital funciona variando o duty cycle, ou seja, variando a densidade média de sinal em um tempo de quadro. Essa técnica resulta em um range de controle muito maior, de no mínimo 1000:1, o que já suficiente para a maioria das aplicações (DATASHEETDIR,2013).

2.6.1 PULSE WIDTH MODULATION - PWM

De acordo com Batsocks(2009), O PWM é a forma mais simples de PDM. O período do sinal PWM é fixo, onde o duty cycle varia de acordo com o tempo de valor do sinal em nível alto em relação ao tempo total da onda (sinal). A Figura 17 ilustra dois duty cycles diferentes de PWM.

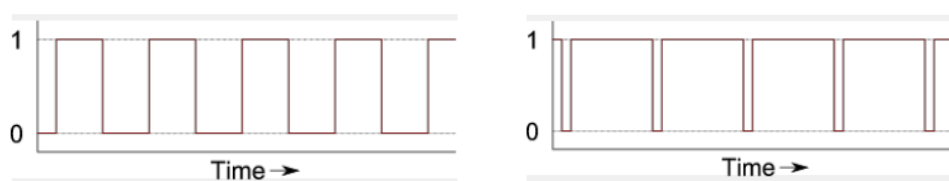


Figura 17 - PWM com duty cycle de 50%
Fonte: (BATSOCKS,2009)

PWM com duty cycle de 90%

Apesar de simples, essa técnica é custosa de implementar, pois a maioria dos microcontroladores comerciais não dispõe de muitos PWM em sua estrutura construtiva. Caso deseje-se controlar de maneira independente mais LEDs do que a quantidade de canais de PWM do microcontrolador outras alternativas devem ser encontradas.

Para tal problema existe uma solução chamada “software PWM”. Esse método faz uso dos timers dos microcontroladores para implementar várias saídas PWM, porém é muito custoso sob ponto de vista do hardware, requerendo muito mais tempo de processamento, sobrecarregando o microcontrolador. Apesar disto esta técnica é muito utilizada quando se deseja um controle de alta de resolução em pequenas porções do duty cycle, como em controle de servo-motores (DATASHEETDIR,2013).

Uma alternativa aos problemas de sobrecarga de processamento é o uso de chips controladores com multi-canais PWM separados. Entretanto, tais chips são

relativamente caros, fisicamente grandes (mais de 100 pinos) e necessitam estar instalados na mesma placa dos Drivers de acionamento dos LED's para evitar a utilização de cabos e conectores de par-trançado para interligar os dispositivos.

Além das limitações de microcontrolador, estudos apontam que existem problemas com relação ao controle da dissipação térmica no LED.

2.6.2 BINARY CODE MODULATION – BCM

De acordo com Batsocks(2009), Binary Code Modulation (BCM) faz uso de uma propriedade dos números binários: o peso de cada dígito dobra de valor à medida que são percorridos do LSB ao MSB. Isto pode ser facilmente verificado pelo número binário de 4 bits 1101, que equivale a: $1 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^3 = 1 + 0 + 4 + 8 = 13$.

Esta característica pode ser usada para adicionar um delay equivalente ao peso de cada bit, mantendo o LED aceso ou apagado para coincidir com o bit. Desta forma, o valor de 4 bits 1101 pode ser expresso em 15 ticks. Analisando a partir do LSB o LED ficará ligado por um 1 tick (2^0), apagado por 2 ticks (2^1), aceso por 4 ticks (2^2) e aceso por 8 ticks (2^3). Isto está ilustrado na Figura 18, onde pode-se inferir que para cada 15 ciclos de ticks o LED estará aceso em 13.

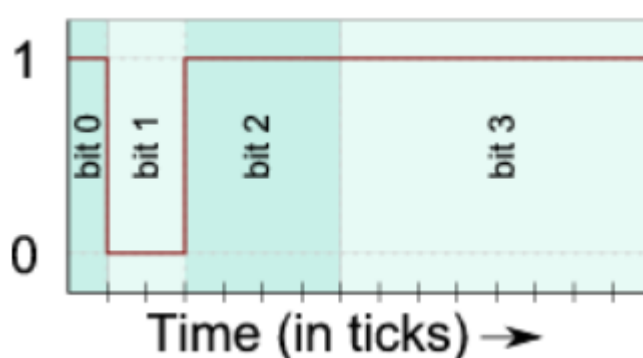


Figura 18 – Valor binário 1101 expresso em BAM
Fonte: (BATSOCKS,2009)

Este processo pode ser estendido para 8 bits sem prejuízo. Assumindo que deseje-se um duty cycle de 33% com precisão de 8 bits, sabe-se que 33% de 255 pode ser aproximado para o valor 85, que é representado em binário na forma 01010101.

Analisando a partir do LSB o LED ficará aceso por um 1 tick (2^0), apagado por 2 ticks (2^1), aceso por 4 ticks (2^2) e apagado por 8 ticks (2^3), aceso por 16 ticks (2^4), apagado por 32 ticks (2^5), aceso por 64 ticks (2^6) e apagado por 128 ticks (2^7), conforme ilustrado na Figura 19.

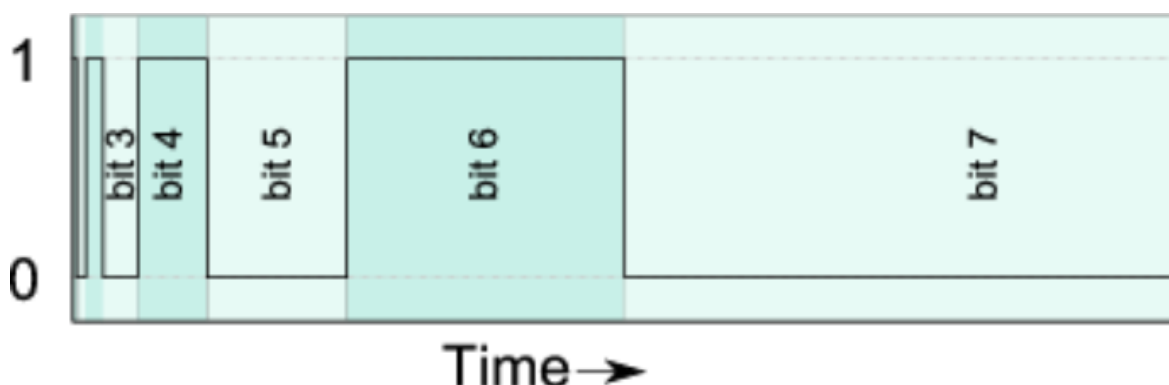


Figura 19 – Valor binário 01010101 expresso em BAM
Fonte: (BATSOCKS,2009)

Desta forma, para uma precisão de 8 bits como da Figura 19, é necessário ajustar o estado do LED em oito pontos fixos por ciclo, independente do ciclo escolhido.

A modulação por código binário também é conhecida por Bit Angle Modulation (BAM) e foi inventada Artistic Licence (ARTISTIC,2002).

De acordo com Batsocks(2009),entre as vantagens do BCM pode-se citar:

- Pode ser utilizada em quantos canais se desejar.
- O cabeçalho do processador é dependente da resolução e não do número de canais disponíveis.
- Adequado para controle de LEDs e motores DC.
- Não é adequado para servo motores.
- Cabeçalhos e temporizações ficam independente do duty cycle.

2.6.3 PULSE CODE MODULATION - PCM

De acordo com ASHDOWN (2006), *Pulse Code Modulation* (PCM) foi inventada em 1.937 para aplicações na área de telecomunicações pelo britânico Alec Reervers. O princípio de funcionamento do PCM pode ser enunciado da seguinte maneira: considerando um sinal digital com resolução de n-bits e o período do sinal de saída t

segundos, o sinal de saída será codificado como uma série de m pulsos sequenciais, com o m -ésimo bit mais significativo do sinal digitalizado de entrada tendo um comprimento de pulso de $t/2^n$ segundos. A ordem desses pulsos não importa, tanto que a soma de seus comprimentos de pulso sempre seja igual ao comprimento de pulso PWM equivalente.

As figuras 20, 21 e 22 ilustram uma comparação entre um sinal PWM e PCM.

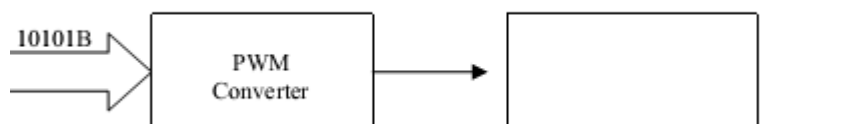


Figura 20 - Codificação PWM 5 bits (duty cycle 71,8%)

Fonte: (ASHDOWN,2006).

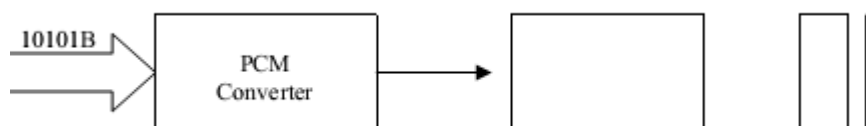


Figura 21 - Codificação PCM 5 bits (duty cycle 71,8%)

Fonte: (ASHDOWN,2006).

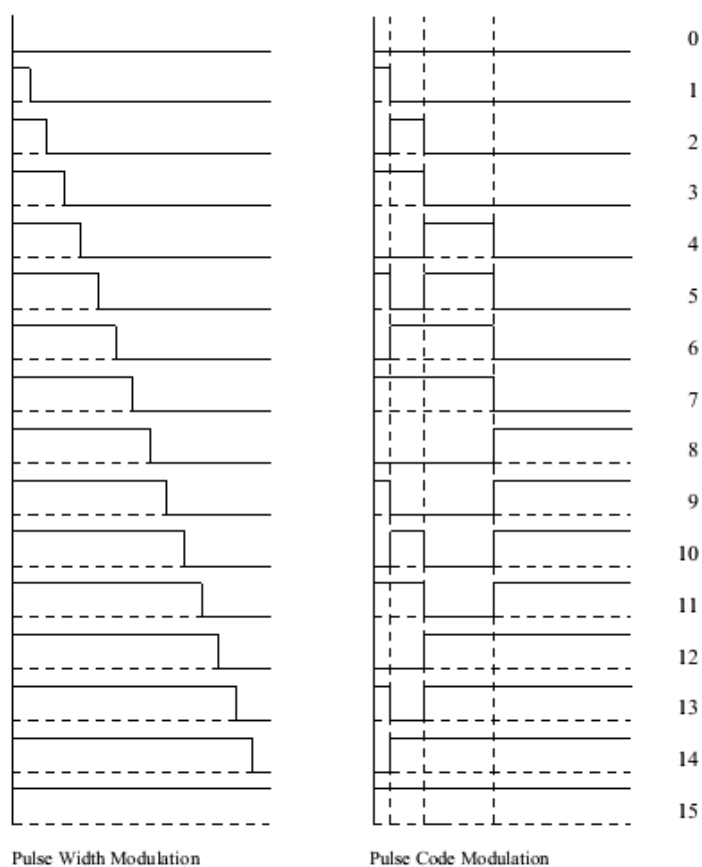


Figura 22 - Saída PWM vs PCM (resolução de 4 bits)

Fonte: (ASHDOWN,2006).

Para ASHDOWN as vantagens do PCM frente ao PWM são várias. Diferentemente desta, a primeira utiliza uma técnica de modulação inerentemente e completamente digital. O duty cycle de cada ciclo PCM é representado por um código binário, o que significa que o microcontrolador precisa realizar apenas n operações para n bits de resolução. Para um canal PCM de 12-bits de resolução, isso representa uma redução computacional de mais de três ordens de magnitude comparado com um canal PWM equivalente implementado em hardware.

De acordo com ARTISTIC(2002), tomando como exemplo um microcontrolador gerando um PWM de 8 bits de resolução a 100 Hz, este terá que processar a saída do sistema a cada $39\mu\text{s}$, um total de 256 vezes por ciclo de saída. Para efeito de comparação, um microcontrolador utilizando PCM de 8 bits de resolução a 100 Hz precisará processar a saída do sistema apenas 8 vezes por ciclo, ou seja, em $5000\mu\text{s}$, $2500\mu\text{s}$, $1250\mu\text{s}$, $625\mu\text{s}$, $312\mu\text{s}$, $156\mu\text{s}$, $78\mu\text{s}$ e $39\mu\text{s}$ a partir do início do ciclo. Isso representa uma redução de 800% no processamento em relação ao PWM.

Outra vantagem do PCM é que a seqüência quase randômica de pulsos em cada ciclo tenda a minimizar os efeitos cíclicos térmicos da modulação PWM quando utilizada em freqüências acima de 1 KHz (ASHDOWN,2006).

Provavelmente, a maior vantagem do PCM é que esta técnica de modulação permite o controle de centenas ou mais canais de drivers de LED com microcontroladores mais baratos e mais acessíveis financeiramente. Uma implementação de um controlador PCM multi-canais com n -bits de resolução e m drivers de acionamento de LED independentes requer $m \times n$ operações por ciclo, em oposição às $m \times 2^n$ operações de seu equivalente PWM.

Entretanto, a principal vantagem consiste em que os sinais de saída de um PCM podem ser transmitidos serialmente para múltiplos shift-registers e latches. Isso significa que o conjunto de shift-register e latches não precisa, necessariamente, estar na mesma placa que o microcontrolador, podendo ser utilizada uma topologia do tipo Daisy chain, ou seja, cascadeamento serial do sistema.

Diante do exposto acima, foi escolhida a técnica de modulação PCM modificada, com modificação na seqüência dos pulsos em relação à modulação padrão. Tal modificação é evidente nas figuras 23 e 24 e foi feita para melhorar o efeito visual causado na modulação, reduzindo o efeito de flicker.

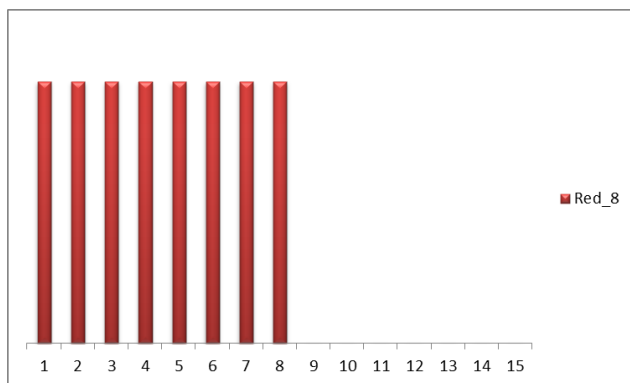


Figura 23 – Cor de 4 bits
Fonte: Autoria própria

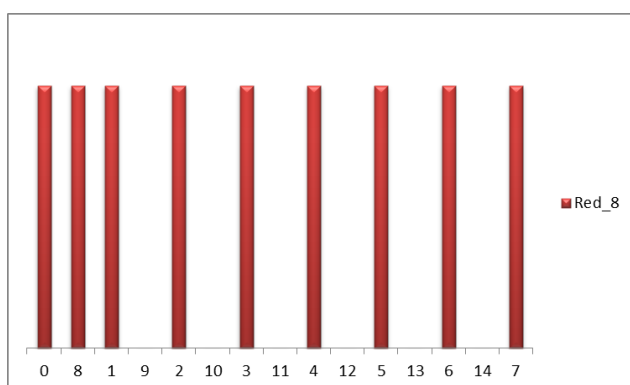


Figura 24 – Cor de 4 bits utilizando PCM modificada
Fonte: Autoria própria

2.7 MICROCONTROLADOR

Para gerar familiaridade com o conceito de LEDs RGB e PWM foi utilizado a plataforma de desenvolvimento Arduino. Apesar da valiosa contribuição para entendimento de endereçamento de cores num LED RGB e intensidade de cores possíveis de reprodução, o Arduino demonstrou-se limitado para desenvolvimento do projeto, apesar de útil nos primeiros protótipos.

Após a aquisição dos módulos de LED RGB, outras limitações identificadas foram definitivas para a migração para uma plataforma mais robusta: impossibilidade de fazer debug nos programas desenvolvidos; escassez de pinos para controle de mais painéis; poder de processamento e memória disponível para uso de 24 bits para informação de cor; esforço empreendido para eventual aplicação de *Real Time Operating System* (RTOS) no Arduino.

Para agilizar o processo de desenvolvimento, buscando diminuir o tempo dispendido na aprendizagem do uso de um micro controlador, optou-se pelo uso da placa de desenvolvimento STM32F4-DISCOVERY, produzida pela STMicroelectronics.

Trata-se de um ARM Cortex-M4 de 32 bits, que permite clock de até 168 MHz/210DMPIS, mostrado na Figura 25. Com 1 Mbyte de memória flash disponível e 192 Kbytes de RAM, além da grande quantidade de GPIO endereçáveis. Permite uso de até 17 timers, sendo doze de 16 bits e dois de 32 bits, permitindo até 4 grupos de PWM (STM32F4,2013).

Para o desenvolvimento do projeto, uma placa é responsável pelo controle de dois painéis, formando uma matriz de 32x32, controlando 1024 pixels (32 linhas x 32 colunas = 1024 pixels). Em função da quantidade de pinos disponíveis, este microcontrolador consegue controlar até 8 painéis simultaneamente, endereçando 54 pinos e controlando 4096 LEDs RGB (32 Linhas x 32 colunas x 8 painéis = 4.096 pixels), sendo o responsável por 12.288 informações de cor (4.096 pixels x 3 cores por pixel = 12.288). São necessários 6 pinos para controle, os quais são comuns a todos os painéis e 48 pinos com a informação de cor, sendo 6 por painel.

Esta configuração permite a construção de um módulo de piso com dimensão de 0,40x0,40m. Módulos maiores não são possíveis em função da quantidade de pinos requeridos.

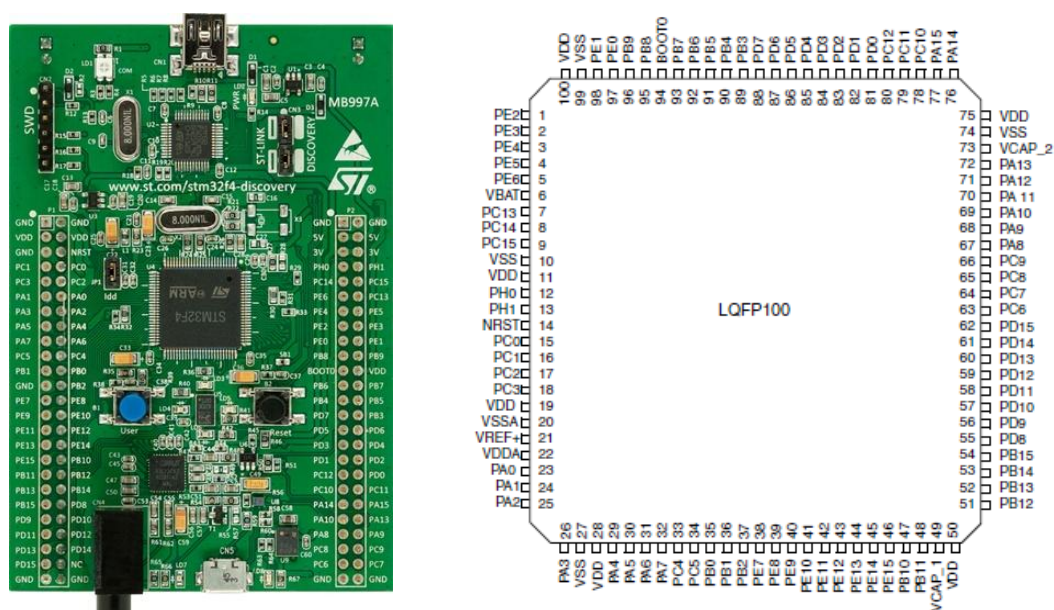


Figura 25 - Aspecto da placa stm32f4 – discovery e pinagem do micro-controlador
Fonte: (STM32F4,2013).

Apesar do gama de periféricos encontrados na placa de desenvolvimento, para esse projeto estão sendo utilizados somente os periféricos pertencentes ao micro controlador, como timer, serial e controle de interrupções.

2.8 QT Framework

A busca por uma ferramenta para desenvolvimento da interface gráfica que permita interação entre o usuário e os painéis de LED direcionou ao framework conhecido como QT.

De acordo com o website do projeto QT⁴, trata-se de um framework multi plataforma, para desenvolvimento em C++, criado pela empresa norueguesa Trolltech. A grande vantagem do uso do QT é permitir desenvolvimento de aplicações que podem ser compiladas para diversas plataformas sem necessidade de alteração do código fonte.

Criado pela divisão “NOKIA QT Development Frameworks” da Trolltech, atualmente é mantida pela iniciativa de software livre “Qt Projects” após a NOKIA decidir abandonar as tecnologias baseadas em Symbian e usar tecnologia da Microsoft em seus aparelhos.

O uso do framework QT e do ambiente de desenvolvimento QT Creator permite uso de bibliotecas que poupam tempo de desenvolvimento não só de interfaces gráficas como também dos efeitos visuais contemplados por este projeto.

Extensamente documentada⁵, esta ferramenta foi primordial para o processamento das informações visuais a serem exibidas nos módulos constituintes da plataforma ILTEL.

⁴ <http://qt-project.org/>

⁵ <http://qt.digia.com/product/learning/>

3 DESENVOLVIMENTO

Os estudos da seção anterior permitiram mapear quatro funcionalidades básicas para viabilizar a concretização do projeto:

- Aquisição e processamento de informações visuais.
- Transmissão das informações processadas.
- Tratamento das informações transmitidas.
- Acionamento do painel de LEDs.

A Figura 26 ilustra os blocos constitutivos do projeto.

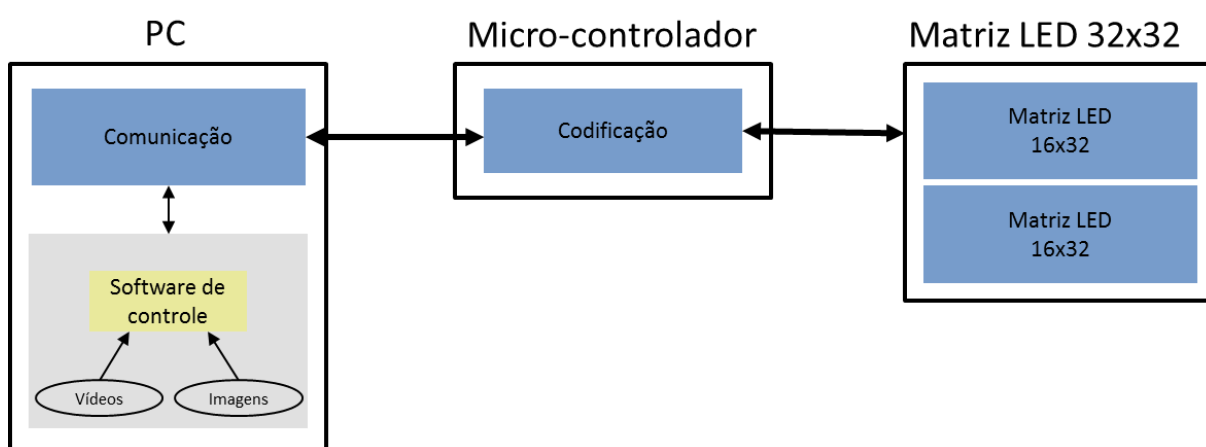


Figura 26 – Blocos constitutivos da plataforma ILTEL.

Fonte: Autoria própria.

As duas primeiras funcionalidades identificadas foram implementadas num PC. Com auxílio do framework QT, foi desenvolvido em C++ um software cuja finalidade é aquisição e tratamento das informações visuais. Essa framework possui um ambiente de desenvolvimento conhecido como QtCreator que permite não somente o desenvolvimento da interface gráfica, como também o processamento das informações visuais.

As duas últimas funcionalidades foram implementadas no firmware embarcado no micro controlador. O firmware foi escrito com o auxílio da ferramenta IAR Embedded Workbench for ARM, em C.

A justaposição dos blocos formados pelos painéis de LED foram organizados mediante índices de uma matriz. O software é informado a respeito da quantidade de blocos que formam a matriz. Ao processar um quadro de imagem, o software mapeia a informação que cada bloco deve receber, as processa e envia individualmente. Essa informação é enviada serialmente para o microcontrolador

que ocupa a primeira posição na matriz. Caso ele seja o destinatário da informação ele a processa. Caso contrário ele a retransmite serialmente para os demais módulos, cujos microcontroladores identificam se são o destinatário da informação e as processam para exibição da imagem. Essa característica permite se referir ao microcontrolador que se comunica com o software como mestre e aos demais microcontroladores como escravos.

Essas definições permitiram refinar o diagrama da Figura 26, sendo apresentado na Figura 27. A compreensão destes novos blocos é o que permite entender o desenvolvimento do projeto e é o que será abordado nos próximos tópicos.

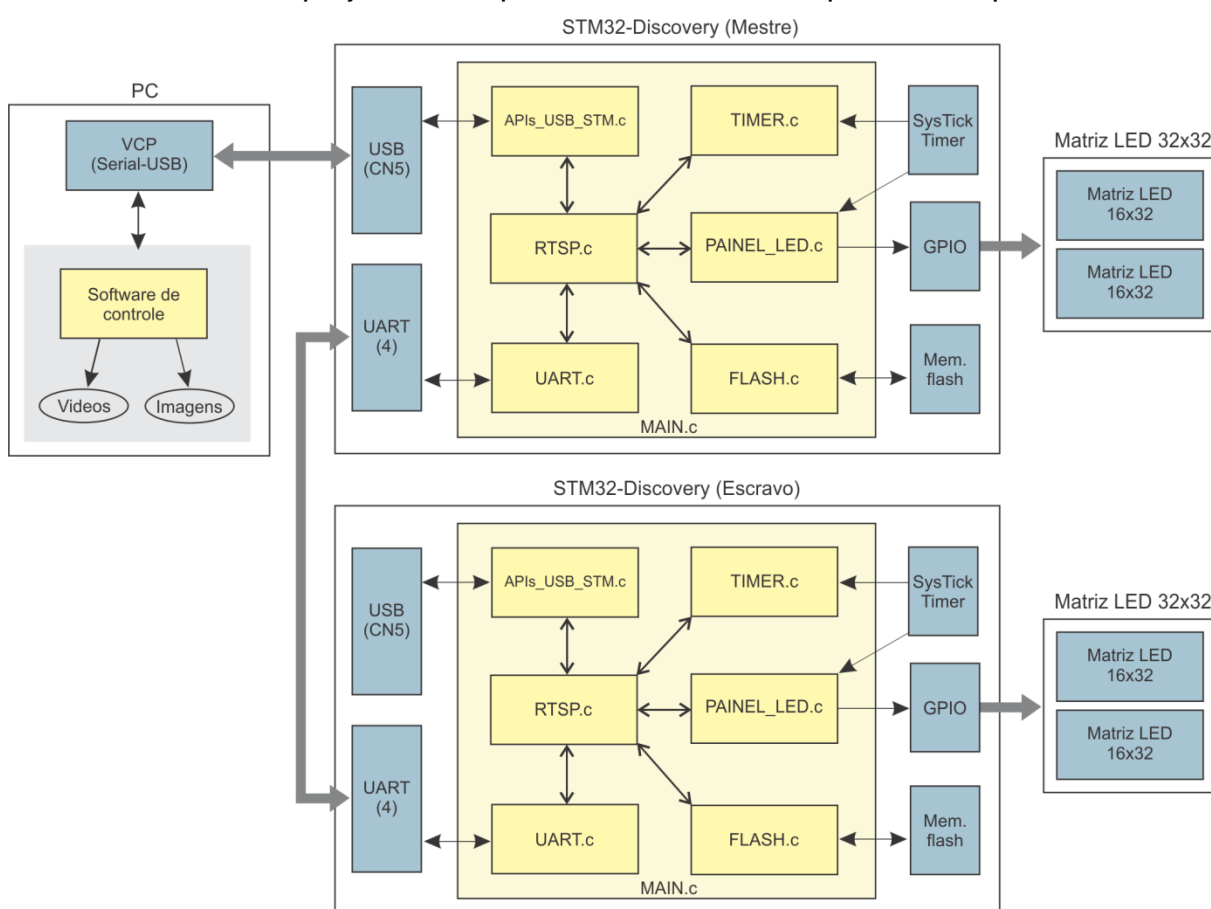


Figura 27 – Solução plataforma ILTEL.
Fonte: Autoria própria.

3.1 SOFTWARE

A busca por uma ferramenta para desenvolvimento da interface gráfica que permitisse interação entre o usuário e os painéis de LED conduziu ao framework conhecido como QT.

O uso do framework QT e do ambiente de desenvolvimento QT Creator permite uso de bibliotecas para desenvolvimento em C++ que poupam tempo de desenvolvimento não só de interfaces gráficas como também de efeitos visuais.

O software desenvolvido pelo QT fornece a interface gráfica pela qual o usuário irá interagir com a plataforma de iluminação. Além do desenho de botões e caixas de diálogo, o QT possui internamente bibliotecas que permitem o processamento das informações a serem passadas para o piso.

A interface gráfica foi desenvolvida visando disponibilizar as seguintes funcionalidades:

- Conexão do software com a plataforma de iluminação.
- Informar ao software a quantidade de blocos dispostos nas linhas e colunas para processamento e envio das informações de maneira adequada.
- Endereçamento via software dos blocos da plataforma. Permite endereçamento adequado de novos blocos além de permitir diferentes combinações de disposição de blocos para formação de imagens.
- Permitir pré-visualização da imagem real a ser exibida na tela.
- Permitir pré-visualização da imagem ser exibida na plataforma.
- Permitir exibição de imagens ou vídeos nos mais diversos formatos.
- Permitir correção de gama.
- Permitir interação com o vídeo, exibindo a informação de frames por segundo do vídeo.
- Permitir expandir o conteúdo exibido de modo a ocupar todos os painéis, o que pode causar deformação da imagem.

Foram criadas 4 classes para permitir interação entre o software e a plataforma, que serão abordadas a seguir. A Figura 28 mostra a interface desenvolvida para controle da plataforma de iluminação.

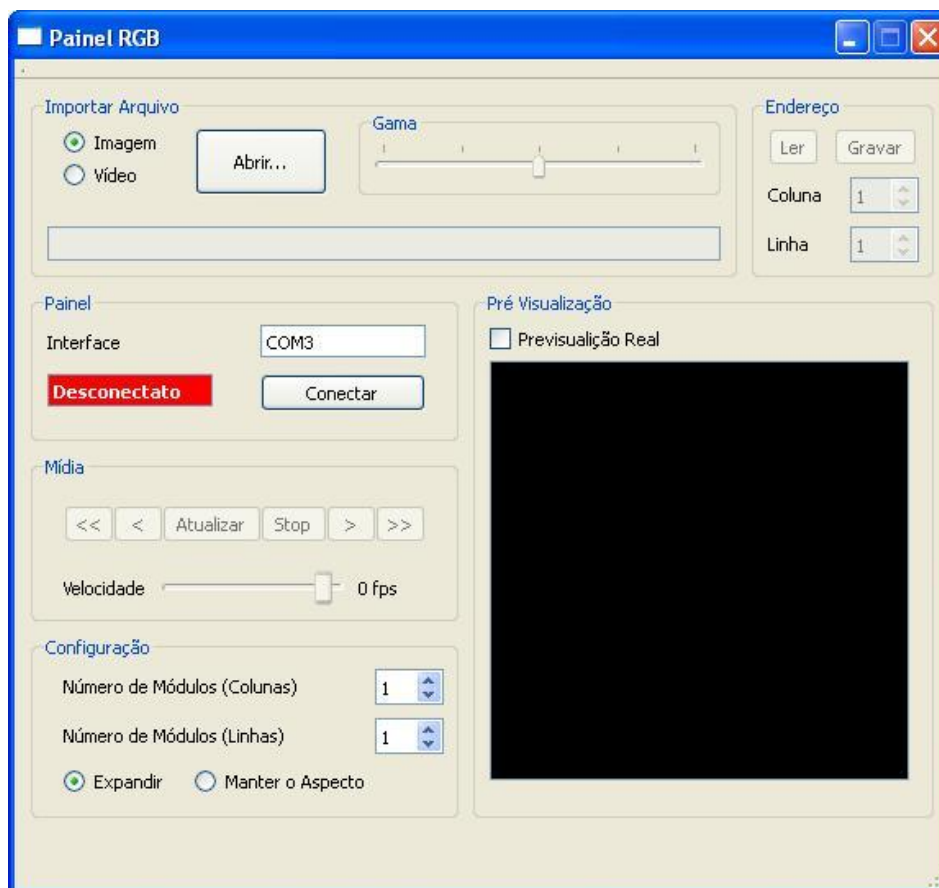


Figura 28 – Interface do software ILTEL
Fonte: Autoria própria

3.1.1 CONEXÃO DO SOFTWARE COM A PLATAFORMA DE ILUMINAÇÃO

Apesar do uso de cabo USB para comunicar o software com a plataforma de iluminação, o processo de envio de dados para a plataforma acontece via uma interface serial emulada sobre a interface USB.

Desta maneira, após alimentar a plataforma com energia elétrica, um cabo USB deve ser conectado entre o PC que está executando o software de controle da plataforma e a plataforma.

Um clique na interface do software sobre o botão “Conectar” faz com que o software encontre a plataforma, comutando o estado para conectado, atualizando para verde a cor da caixa de diálogo.

Este processo é viabilizado herdando a classe `QextSerialPort` pela classe `LEDSerial`, que ficará responsável por emular a serial pela USB e realizar a comunicação entre o software e o PC.

3.1.2 TRATAMENTO DE IMAGEM E VÍDEO

A interface do software da plataforma de iluminação permite alguns ajustes no conteúdo visual a ser exibido e é esta a atribuição desta classe. Estes ajustes repercutem tanto no conteúdo visualizado na interface do software quanto na imagem a ser exibida pela plataforma.

Dentre os tratamentos possibilitados por esta classe, pode citar:

- Redimensionamento para exibição no painel de pré-visualização.
- Redimensionamento para exibição na plataforma.
- Correção gama.
- Aparência da tela de pré-visualização: original ou da plataforma.
- Aspecto da imagem.
- Informações da dimensão da imagem.

Este tratamento é possível em função do uso de um plugin encoder/decoder de vídeo FFMpeg, utilizado originalmente pela classe `Qvideo Decoder` que é herdado pela classe `Image`.

3.1.3 GUI

A interface gráfica a qual o usuário interage diretamente é viabilizada pela classe `MainWindow`, que é herdada da classe `QMainWindow`. Instâncias da classe `MainWindow` permitem interação com as funcionalidades exibidas na tela do software.

3.1.4 PAINELLED

Classe de processamento do conteúdo visual. Herdada da classe `QObject`, faz o processamento das imagens e as envia a plataforma. Trata vídeo de maneira transparente, como uma sucessão de quadros.

De maneira similar a programas como o Visual Studio, o QT é um programa baseado em eventos, os quais são disparados mediante interação com a interface gráfica.

Como o software não reconhece automaticamente a conexão física da plataforma, ele deve ser informado: a porta de comunicação deve ser informada na caixa de texto e o botão “Conectar” deve ser pressionado. Isto dispara o evento “on_pushButton_Connect_clicked()”, ocorrendo a seguinte sucessão de fatos:

- O pressionar do botão chama função on_pushButton_Connect_Clicked() da classe MainWindow, que dispara um sinal com_connect(com) que verifica se a serial já se encontra conectada.
 - Caso afirmativo ela é desconecta, emitindo um sinal “com_Disconnect”.
 - Caso não esteja conectada, a porta inserida na caixa de texto é armazenada e emitido um sinal “com_Connect(com)”, que chama o seu respectivo SLOT (Método) “set_Connect(com)”.
- Esse método tenta abrir a porta “COM” solicitada e se tiver êxito, adquire o ID (row, line) da placa correspondente, e seta as variáveis de status, escrevendo o ID na janela principal.

QT faz uso do conceito slot e sinal. Um sinal é emitido quando um evento particular ocorre. Slot é uma função que é chamada em resposta a um dado Sinal que é emitido.

3.1.5 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

A comunicação entre o software e a plataforma desenvolvida é viabilizada pela adoção de um protocolo de comunicação. O recebimento de dados pela placa mestre dispara uma interrupção para o tratamento do sinal enviado pelo software. Este protocolo está especificado nos arquivos led_serial e está disposto segundo a Figura 29.



Figura 29 – Protocolo de comunicação.
Fonte: Autoria própria.

O protocolo é composto pelos seguintes campos:

- start_byte: ocupa 1 byte e corresponde ao valor 0x53.
- opcode: ocupa 1 byte e identifica quatro funções:
 - OPPOSITE_NEW_FRAME e correspondendo ao valor 0x20.
 - OPPOSITE_SWAP_FRAME e correspondendo ao valor 0x30.
 - OPPOSITE_CHECK_ID e correspondendo ao valor 0x40.
 - OPPOSITE_CHANGE_ID e correspondendo ao valor 0x20.
- id_channel: ocupa 1 byte.
- data_lenght: ocupa 1 byte.
- DATA: vetor unsigned char de [16*16*2048] posições.
- end_byte: ocupa 1 byte e corresponde ao valor 0xF3.
- crc16: ocupa 2 bytes

O recebimento de dados pela USB dispara uma interrupção no microcontrolador mestre para o tratamento destes dados.

Uma vez identificado o valor do start_byte, o microcontrolador verifica o valor do opcode para realizar a tarefa desejada. O software é responsável por instruir a plataforma a como agir, informando ao micro controlador qual o painel destinatário da mensagem enviada, o tamanho da mensagem e como proceder.

3.2 MATRIZ LED 32X32

O capítulo anterior abordou o princípio de funcionamento de um painel “16x32 p6 rgb LED matrix”.

Em função do custo do hardware, foram adquiridos apenas 4 painéis sob custo individual de U\$44,00. Convencionou-se assim que cada módulo do piso é formado por um bloco constituído por dois painéis 16x32.

Desta maneira, um módulo do piso possui 1024 LEDs RGB (32 LEDs x 32 LEDs =1024 LEDs), devendo o micro controlador responsável por tal módulo processar e endereçar 3072 informações de cor (1024 LEDs x 3 informação de cor = 3072 cores).

Tradicionalmente, a intensidade das cores num LED é controlada por um PWM e definida pelo seu duty cycle: quanto maior o duty cycle maior o brilho do LED. Para um LED RGB, diferentes duty cycles nos pinos R, G e B permitem a criação diferentes cores que são definidas pelo espaço das cores e limitadas às cores dentro da área do gamut.

A abordagem tradicional de PWM demonstra-se inviável uma vez que a exibição de um quadro no bloco demandaria o uso de 3072 PWMs além de todo processamento subsequente. Outra questão é operação do painel: ele não faz tratamento da cor a ser exibida. Apenas toma ciência do estado da cor endereçada, que pode ser aceso ou apagado naquele ciclo. Isto equivale a um duty cycle de 100% ou 0%.

O acionamento do painel segue o seguinte princípio:

- Uma seção é endereçada por vez.
 - Uma seção endereça, simultaneamente, duas linhas do painel.
- Cada linha é formada por 32 LEDs RGB.
 - A informação de cada LED é recebida de maneira serial nos pinos R1,G1,B1 para a primeira linha da seção e nos pinos R2,G2,B2 para a segunda linha da seção.
- É realizado um shift register no CI MW5024B para cada bit recebido pelos pinos R, G e B de modo a endereçar o estado de cor de todos LEDs da seção antes de serem exibidos.

- Uma vez que todas as colunas da seção tenham recebido seu estado de cor, a saída do MW5024B é habilitada levando para nível lógico baixo os pinos OE e LAT.

Como o acionamento do painel varre apenas uma seção, um quadro de imagem é exibido após o acionamento das oito seções que compõem o painel. Essa abordagem seria válida com uso de PWM. Como o princípio de funcionamento do painel permite reproduzir apenas 1 estado de cor por LED, um bit de cor permite reproduzir 7 cores diferentes através da combinação do uso do vermelho, verde e azul. Como o olho humano consegue distinguir pouco mais que 10 milhões de cores (CAMBRIDGEINCOLOUR,2013) um bit indicando se a cor está acesa ou apagada é ineficiente para reproduzir, de maneira adequada, a informação de cor de uma imagem.

Oito bits permitem endereçar 256 estados de cor para uma cor ($2^8 = 256$). Três cores utilizariam 24 bits, permitindo uma combinação de dezesseis milhões de cores ($2^{24} = 16.777.216$ cores). Em função da quantidade de painéis disponíveis a quantidade de pontos para criação de imagens em alta resolução é pequena, não justificando uso de tantos bits para endereçamento de cor.

Como medida de contorno, foi adotado o uso de quatro bits para cada cor. Desta maneira é possível reproduzir dezesseis nuances de cada cor ($2^4 = 16$ cores), permitindo reprodução de até 4.096 cores por LED RGB ($2^{12} = 4.096$ cores). Desta maneira dois bytes são suficientes para transportar a informação de cor de um pixel. A Figura 30 mostra o exemplo da cor vermelho, com intensidade de cor igual a 8, utilizando 4 bits. A intensidade da cor é proporcional aos estados ocupados.

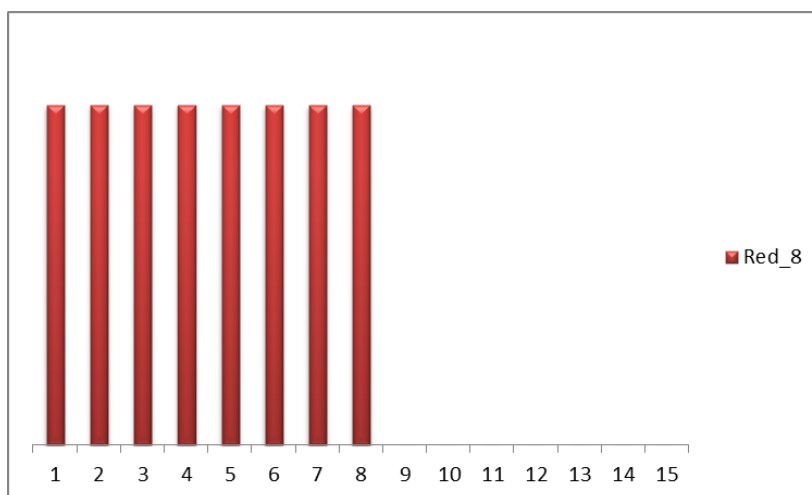


Figura 30 – Quatro bits permitem 16 estados de cor.
Fonte: Autoria própria

A análise da Figura 22 permite inferir que cada conjunto de 8 seções do painel devem ser varridas 15 vezes para a adequada reprodução da cor. Cada varredura de um conjunto de 8 seções devem reproduzir um dos 15 estados da cor e a varredura dos 15 estados de cores formam um frame completo.

Esta varredura deve ser feita de modo tal que compense o efeito de persistência visual, criando a sensação de uma imagem estática, e de modo que não seja evidenciado flicker para imagens em movimento.

Considerando que cada quadro completo seja exibido sessenta vezes por segundo, e que um quadro endereça oito seções que possuem dezesseis informações de cor para cada pixel (0 a 15), inferiu-se que o clock de varredura da matriz precisa ser de 7,2kHz ($60 \text{ quadros/segundo} \times 8 \text{ seções} \times 15 \text{ cores} = 7200 \text{ Hz}$). Testes foram realizados com 24 bits de cor, mas em função da pequena quantidade de painéis não foi verificada alteração perceptível no brilho da cor irradiada pelo painel.

Apesar de não ter sido possível implementar um PWM nos moldes clássicos, o fenômeno de persistência visual permitiu reproduzir a informação do brilho do LED, e conseqüentemente sua intensidade de cor, variando a quantidade de vezes que a cor era acesa no período de exibição de um quadro.

A vantagem do uso de menos bits para informação de cor reside na economia de banda de transmissão para formação de um quadro de imagem. Considerando que um quadro deve acender 1024 LEDs e que a informação de cada cor ocupa 4 bits, são utilizados 2 bytes para informar a cor de cada pixel. Assim, a informação de cor de 1 frame ocupa 2048 bytes ($1024 \text{ LEDs} \times 2 \text{ bytes} = 2048 \text{ bytes}$), ou 16,4 kbits ($1024 \text{ LEDs} \times 16 \text{ bits} = 16.384 \text{ bits}$). O uso de uma taxa de 60 quadros por segundo, com 4 bits de cor requer uma banda de 983 kbps ($16.384 \text{ bits por quadro} \times 60 \text{ quadros} = 983.040 \text{ bits por segundo}$) para exibição de um frame por um segundo. Seguindo a mesma métrica, oito bits de cores ocupariam uma banda de 1,48 Mbps. Essa taxa é permitida pelo micro controlador, mas demanda implementação de uma interface de comunicação mais robusta do que os pinos da serial do controlador para comunicação entre mestre e escravos, como a RS-485 ou ethernet.

3.3 FIRMWARE

O firmware é o pedaço de código gravado na memória flash do micro controlador. A sua função é instruir o micro controlador a como interpretar os dados recebidos pelo programa de tratamento do sinal visual para acionar a matriz de LED RGB.

A Figura 31 evidencia, em amarelo, os blocos constitutivos do firmware e as suas relações entre si.

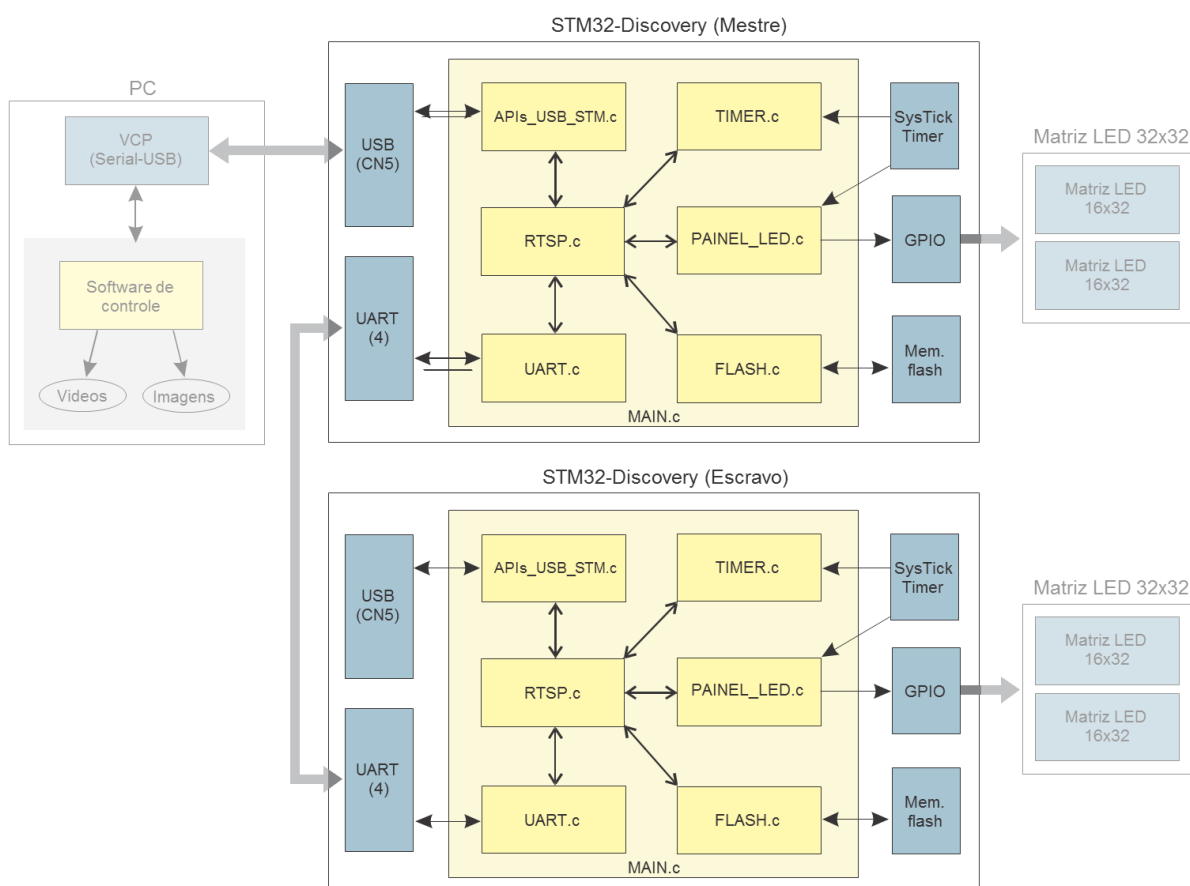


Figura 31 – Inter-relação e blocos constituintes do firmware.
Fonte: Autoria própria

Com exceção das APIs fornecidas pelo CMSIS, os seguintes arquivos foram implementados:

- Flash: implementa as funções necessárias para leitura e gravação dos dados na memória flash do micro controlador.
- Pannel_led: implementa a configuração dos pinos de GPIO para comunicação com o painel de LED. Criação de buffers de leitura e de edição da informação recebida pelo software.

- RTSP: define o protocolo de comunicação e de streaming de vídeo entre o PC e os micro controladores que controlam os módulos.
- UART: inicializa a serial para comunicação entre os microcontroladores.
- Timer: realiza controle de time-out de recepção.

Os seguintes processos são tratados pelo firmware:

- Leitura de flash para indicar a posição do módulo na matriz.
- Recebimento de dados via USB para atualização de dados no firmware.
- Recebimento de dados via USB do software de programação visual.
- Envio de dados via interface serial, caso esteja controlando o mestre.
- Recebimento de dados via serial, caso esteja controlando o slave.
- Controle do refresh do painel de LED.
- Verificação de alteração de quadro a ser exibido.

Muitos desses processos requerem intervenção nos registradores que controlam os periféricos do microcontrolador. Ao invés de utilizar o assembly para setar manualmente os registradores responsáveis pelo controle de timers, serial e interrupções pode-se fazer uso do CMSIS.

“Cortex Microcontroller Software Interface Standard” (CMSIS) permite a adoção de um padrão único para interfacear todas as séries de processadores Cortex-Mx de um mesmo fabricante. Tendo sido escrita pela ARM, a CMSIS utilizada neste projeto foi adaptada pelo fabricante do micro controlador permitindo a utilização da linguagem de programação C para configuração e controle de periféricos e interfaces.

O entendimento de alguns princípios de funcionamento do painel são necessários para melhor compreensão dos blocos constitutivos da solução de firmware:

- Os dados a serem exibidos pelo bloco são processados pelo software. O software segmenta a informação a ser exibida na quantidade de blocos constituintes da plataforma, extrai a informação de cor de cada bloco e envia a informação de cada bloco individual ao micro controlador mestre.

- O micro controlador mestre faz a interface entre os micro controladores escravos e o software: processa a informação endereçada para si ou coloca no barramento a informação endereçada para outro micro controlador. Apesar de todos os escravos terem acesso a essa informação, ela é processada apenas pelo bloco endereçado.
- O micro controlador endereçado faz uso de dois buffers para tratamento dos dados: um para exibição dos dados no bloco e outro para recepção dos dados a serem exibidos. Esta abordagem evita que informação a ser exibida seja sobreposta por informação recebida, causando má formação de imagens. A imagem é exibida somente após ter sido concluído o processo de recepção da imagem.
- Cada bloco exibe um frame a uma taxa de 60 vezes por segundo. Isso é viabilizado por um timer que dispara uma interrupção cujo tratamento é a exibição do conteúdo do buffer de refresh dos painéis do módulo.

Ao invés de abordar cada arquivo e descrição de cada método implementado, será adotada a abordagem das atividades realizadas do micro controlador e métodos envolvidos. Os detalhes pertinentes a configuração dos periféricos do micro controlador serão suprimidos, uma vez que implementação em diferentes micro controladores demandará diferentes parâmetros em chamadas de métodos e diferentes pinos a serem configurados.

3.3.1 DESCRIÇÃO DO FIRMWARE

Ao ser alimentado, o micro controlador realiza uma busca na memória flash e processa os métodos descritos na função `main()`. Ele é executado de maneira sequencial e sua inicialização independe de estar conectado fisicamente ao software da plataforma.

Os seguintes eventos são identificados durante o processo de inicialização:

- Leitura da memória flash para identificar posição do bloco dentro da matriz de exibição.
- Configuração dos periféricos do micro controlador para utilizar o painel de LEDs RGB.
- Protocolo de comunicação para recebimento/envio de informação para a matriz RGB.

- Emulação de serial via USB.
- Configuração da serial para tráfego de dados:
 - Envio de dados via serial (caso seja master).
 - Recebimento de dados via serial (caso seja slave).
- Recebimento de dados via USB.
- Temporização da atualização do painel.
- Polling para recebimento de novos frames.

Os eventos desencadeados na inicialização estão apresentados no diagrama da Figura 32 e detalhados nos tópicos a seguir

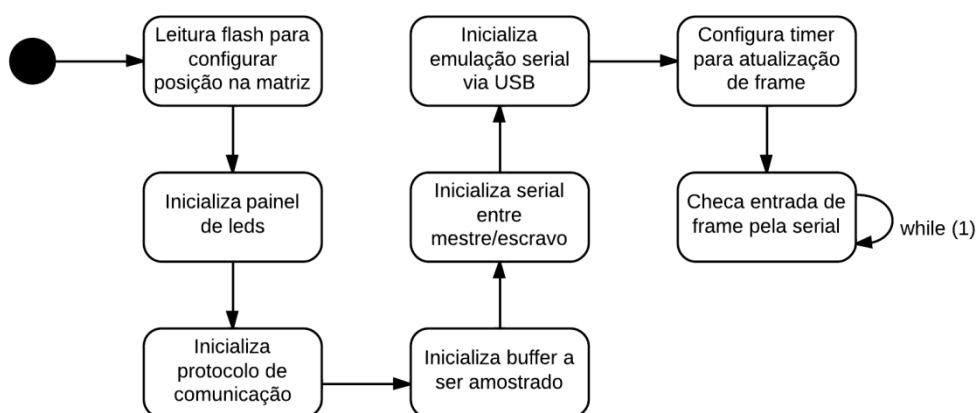


Figura 32 – Fluxo de ações da inicialização do microcontrolador
 Fonte: Autoria própria

1) Identificação da posição do bloco na matriz de LED

O micro controlador é o responsável pelo controle de dois painéis de LED, que justapostos, formam um bloco que constituem uma posição na matriz controlada pela plataforma de iluminação.

Como a informação a ser exibida é enviada individualmente para cada bloco, o micro controlador deve ser informado a respeito da posição da matriz a qual ele irá controlar.

Isso é realizado pela chamada do método `read_flash_udata()` dentro da função `main()`. Esse método pertence ao arquivo `flash.h` e chama o método `flash_read_user_data(struct flash_user_data *data)` que é o método que consulta os dados da flash e coloca numa estrutura a posição do bloco na matriz de exibição.

Caso não tenha sido provisionado via software, assume a primeira posição da matriz por default.

2) Inicialização da estrutura do bloco de LEDs

Um bloco é composto por dois painéis de 16x32, formando assim um bloco de 32x32. Desta maneira o micro controlador é responsável pela gerência da informação de cor de 1.024 LEDs RGB ($32 \times 32 = 1.024$), o que implica em ter que controlar 3.072 informações de cor ($1.024 \text{ pixels} \times 3 \text{ cores} = 3.072 \text{ cores}$). Em função da característica do painel de LEDs de não trabalhar com PWM, mas nuances da cor, pode-se dizer que micro controlador deve controlar o estado da cor de 3.072 LEDs. Como cada cor possui 16 estados, o controlador é responsável pelo controle de 46.080 estados de cor para a exibição de um frame completo ($3.072 \text{ LEDs} \times 15 \text{ estados} = 46.080 \text{ estados}$). Estes estados informam se determinada porção da cor de determinado LED estará aceso ou apagado.

É sabido que o painel possui seis vias para entrada de dados (R1, G1, B1, R2, G2 e B2) e seis vias de controle (A, B, C, OE, LAT e CLK). Como serão controlados dois módulos, pode-se somar mais seis pinos de dados, totalizando 15 pinos para acionamento do módulo. O controle do segundo painel é similar ao controle do primeiro, podendo-se utilizar os mesmos pinos sem prejuízo.

A primeira etapa de controle do painel consiste em mapear os pinos de GPIO do microcontrolador. O método `painel_led_init()` da função `main()` dispara esse processo, chamando o método homônimo do arquivo `painel_led.h`. Este método seta os pinos do grupo D e E do micro controlador para serem usados como pinos de saída push pull. A configuração do GPIO foi realizada com auxílio de funções da biblioteca CMSIS.

Outro papel importante do método `painel_led_init()` é setar os buffers para os ponteiros de refresh e de edição (`refresh_ptr` e `edit_ptr`). O módulo `painel_led` se baseia no uso de um esquema de buffer duplo: o primeiro é utilizado para exibição no painel. O segundo é utilizado para edição, recebendo os dados a serem exibidos. Essa solução foi adotada para evitar exibição de conteúdo enquanto ainda está recebendo dados, evitando assim má formação de imagens. Quando o buffer de edição já tiver recebido todo o conteúdo, um swap de ponteiros é realizado, fazendo o ponteiro de exibição apontar para o buffer que acabou de receber o conteúdo e fazendo o ponteiro de edição apontar para o buffer que estava exibindo.

3) Inicialização do protocolo de comunicação

Neste momento o ponteiro responsável pelo timeout de recepção é apontado para a variável que controla o tempo máximo que o buffer de recepção pode ficar sem receber dados após início do processo de recepção.

4) Inicialização dos buffers de vídeo o buffer a ser mostrado

O método `rtsp_set_swapb_callback()` é chamado para garantir que o ponteiro de exibição esteja apontado para o `buffa`, buffer hardcoded inicializado para garantir exibição das cores brancas ao ligar alimentar o módulo. Juntamente com o `buffb` esse buffer tem seu conteúdo alterado ao longo da operação do micro controlador e são utilizados em conjunto com o `edit_ptr` e o `refresh_ptr`, ponteiros de edição e exibição consecutivamente.

5) Inicialização da serial para comunicação entre micro controlador mestre e escravo

A comunicação entre os micro controladores se sucede do numa direção: do mestre para o escravo. O mestre ocupa a primeira posição da matriz formada pelos módulos e serve de interface para comunicação entre o software e os demais micro controladores. Ele recebe todos os quadros processados pelo software, exibindo os quadros destinados para si e jogando no barramento serial os demais quadros. A interface de comunicação utilizada é o próprio pino da serial do micro controlador.

Apesar da serial ter capacidade para processar taxas superior a 6 Mbps, o uso dos pinos da serial como interface impõem uma restrição de banda caso deseje-se utilizar mais módulos.

O método `uart_init()` chamado na função `main()`, com auxílio dos métodos da CMSIS habilita a serial 4 nos pinos PA0 e PA1 para TX e RX respectivamente, e configura interrupção que será tratada pela função `UART4_IRQHandler()` toda vez que receber algum sinal no buffer de RX. A função recebe como parâmetro o valor de baud rate de 691.200 (6 x 115200), obtido empiricamente. Usa comprimento de palavra de 8 bits, 1 stop bit, sem controle de fluxo por hardware ou controle de paridade.

6) Inicialização da USB como device para emulação de serial.

A comunicação entre o micro controlador mestre e o software ocorre por uma serial emulada na USB. Bibliotecas CMSIS foram utilizadas para este fim. No lado do

software uma biblioteca de emulação de serial pelo QT foi utilizada com esta mesma finalidade.

7) Configuração do timer para atualização de frame

O método CMSIS SysTick_Config() é utilizado para inicializar o system tick timer. Trata-se de um contador que funciona em modo livre que dispara uma interrupção sempre que o contador alcança seu fim. O valor do contador é passado como parâmetro e é a cadência para atualização do painel.

Recebe como parâmetro o valor 23.333, que é quociente entre as variáveis que representam o clock do micro controlador e a taxa a qual o painel deve ser varrido para apresentar um quadro completo ($168.000.000/(60 \times 8 \times 15) = 23.330$).

Assim, SystemCoreClock é setado para 168 MHz na variável homônima do CMSIS e SYSTICK_RATE, do arquivo painel_led.h, é setado para 7.200. Esse valor é composto pelo produto entre a taxa de atualização do frame, quantidade de seções e profundidade de cores ($60 \times 8 \times 15 = 7.200$).

Assim a cada 23.333 ticks do clock a 168MHz o contador é resetado e uma interrupção é disparada, sendo atendida pelo SysTick_Handler. O atendimento dessa interrupção dispara a chamada de dois métodos: painel_led_tick_timer() e timer_tick().

A função painel_led_tick_timer(), do arquivo painel_led, é a função responsável pela atualização dos pixels nos módulos. Ela é responsável pela escrita de uma seção completa do módulo, atualizando a informação visual de 128 LEDs. Para um quadro ser exibido completamente, as oito seções devem ser varridas para cada um dos 15 estados de cor (15×8). Como definiu-se que cada quadro completo será amostrado 60 vezes por segundo, tem-se aqui a justificativa do valor 7.200 ($8 \times 15 \times 60 = 7.200$) que será usado como divisor do clock do sistema.

A Figura 33 ilustra o princípio de funcionamento do método painel_led_tick_timer().

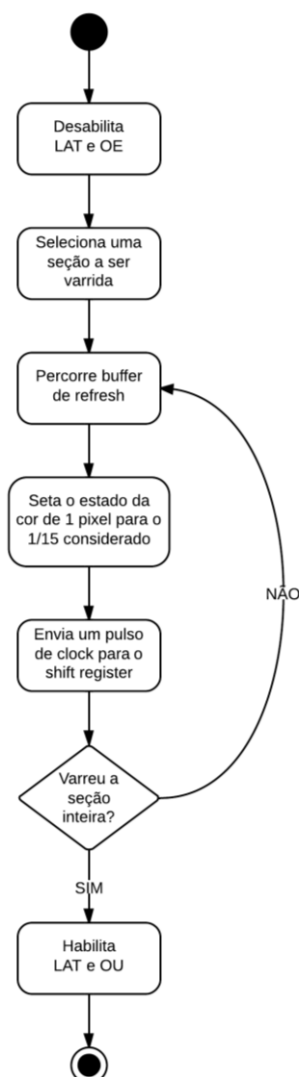


Figura 33 – Fluxo de ações do método `painel_led_tick_timer()`
Fonte: Autoria própria

Para permitir formação da imagem de maneira consistente, a ordem de varredura das seções é determinada por um vetor. Este vetor determina varredura das seções pares e posteriormente das seções ímpares. O índice deste vetor é retornado ao início após a varredura das oito seções. Apenas uma seção será lida na chamada do método, ficando índice armazenado numa variável estática.

O buffer de visualização é varrido para pegar o estado da cor de cada pixel e setar os bits de cor dos LEDs do módulo. Cada 3 posições do buffer informa as nuances das cores vermelho, verde e azul. O buffer é varrido de traz para frente para garantir melhor adequada exibição da imagem. O índice de varredura é levado para o último pixel da seção endereçada, apresentando a informação de cor do vermelho.

Para garantir uma distribuição uniforme da intensidade de cor do LED ao longo da exibição de um quadro completo, os estados de cor não são amostrados sequencialmente, como na Figura 34, mas alternados entre si. Desta maneira na primeira varredura é exibido o estado de cor 0, na segunda é exibido o estado de cor 8, na terceira é exibido o estado de cor 1, na quarta é exibida o estado de cor 9 e assim sucessivamente, a Figura 35 ilustra a sequência de varredura. Em função disso é verificado a nuance da cor no buffer com o estado de cor a ser exibido. Se a nuance for maior que o estado exibido, o bit de cor é setado para ser exibido. Se a nuance for menor o bit de cor é resetado.

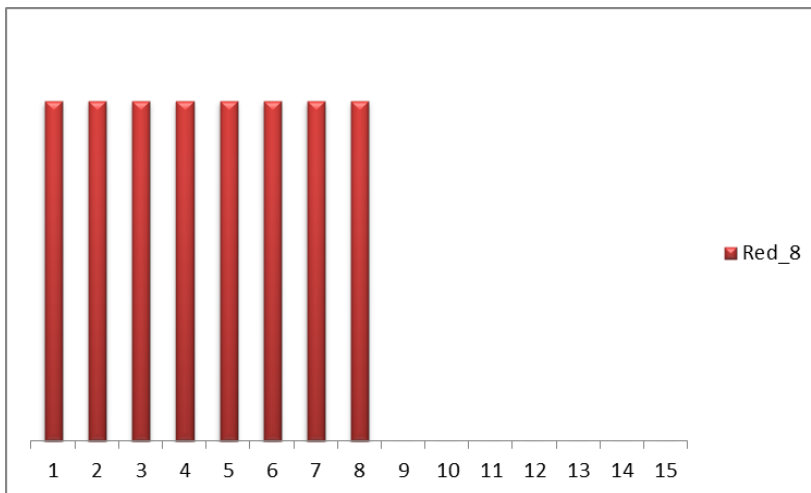


Figura 34 - Estado sequencial de cor
Fonte: Autoria própria

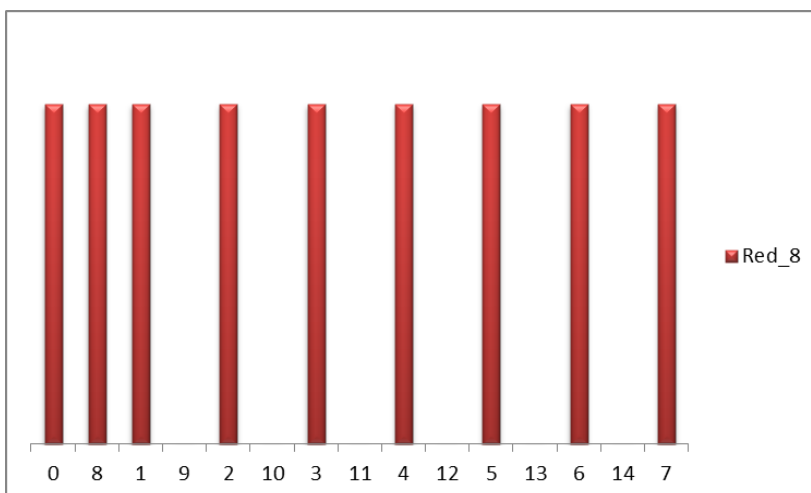


Figura 35 - Sequência das cores exibidas
Fonte: Autoria própria

Para a obtenção do verde o índice é incrementado uma unidade e para o azul o índice é incrementado duas unidades. Esse processo é realizado no pino R1, posteriormente no R2, R3 e R4 através de ajuste de índice de varredura, varrendo 8 linhas endereçadas pelas 4 seções ao final do laço. Isto permite a exibição de um estado de cor de uma seção do módulo por chamada do método. Essa varredura obtém a informação de cor de 4 pixels endereçados. Um pulso então é enviado ao clock dos CIs MW5024B para fazer o shift register e armazenar o estado de cor e o ciclo é repetido até varrer todos os LEDs da seção do módulo quando os índices de varredura de seção e estado de cor são ajustados e o latch e output enable são habilitados para exibição do 1/15 do 1/8 do frame a ser exibido.

A função `timer_tick()` é chamada para time-out de recepção. Possui uma variável estática que serve como contador de ticks, que é incrementado a cada chamada do método até um décimo do valor do `TIMER_TICK_RATE`. Quando esse valor é alcançado, em 100ms, a variável é zerada e a função `timer_100ms_tick()` é chamada, fazendo o decréscimo de uma unidade da variável apontada pelo ponteiro `rtsp_timer_100ms`, enquanto seu valor for maior que zero.

8) Polling da serial

A chamada do método `rtsp_poll()`, na função `main()`, dispara um processo de polling genérico da interface serial que verifica se há mensagens chegando via USB ou via serial. Essa verificação se dá através da verificação do estado de duas variáveis de controle de recepção, o que determina se os dados a serem exibidos estão sendo recebidos pela USB ou pela serial.

Caso os dados estejam sendo recebidos pela USB, o método `rtsp_rx_usb` é chamado à partir da biblioteca de tratamento da USB, recebendo como parâmetro os dados a serem exibidos e o tamanho do dado. Os dados recebidos são enviados para um buffer circular de 8 posições, onde cada posição armazena a informação de um frame enviado pelo software. O buffer circular opera com índices de entrada e saída, que são incrementados conforme recepção de dados e envio de dados à partir desse buffer. A sua diferença indica se o buffer está cheio. Para correta operação do buffer essa diferença deve ser sempre menor que 7.

Após verificação do estado do buffer circular, caso ele não esteja cheio, ocorre os seguintes eventos:

- Verificação da posição disponível do buffer.

- Cópia dos dados para essa posição.
- Incrementado índice de recepção.
- Setado variável que informa recebimento de dados pela serial.

Uma vez validada no rtsp o recebimento de dados pela USB, a posição no buffer circular que recebeu os dados pela USB é informado para o método `rtsp_rx_poll` que fará o tratamento do sinal recebido. Como isso pode ser interpretado como dado saindo do buffer circular, a variável de controle de saída é incrementada. Como entrou um dado no buffer pela USB e ele saiu, tanto a variável de entrada quanto de saída devem estar iguais. Elas são comparadas e caso tenham o mesmo valor o estado de nova mensagem pela USB é levado para falso, permitindo assim novas interações.

Processo similar é verificado quando os dados são recebidos pela interface serial do micro controlador. A única diferença é quem seta a variável de recepção pela interface serial. Essa variável é setada pelo método `rtsp_rx_uart` que é chamado método de tratamento de interrupção da interface serial do micro controlador.

Verifica também timeout para recepção. Caso a variável de controle de recepção esteja setada, e tenha transcorrido um intervalo de tempo de 200ms sem recepção de dados a mensagem é cancelada e a variável de controle de recepção é resetada.

3.3.2 COMUNICAÇÃO COM O PC

Uma vez setado todos os pinos, timers e interrupções, a função `main()` fica num laço infinito realizando polling das interfaces seriais para verificação de chegada de dados, exibindo um fundo branco em cada módulo do piso.

A partir deste momento os módulos exibirão novo conteúdo somente após interação com o software. Dentro do software, os dados serão enviados ao micro controlador mestre após chamada do método `private sendToPannel`.

O envio de dados pelo software ocorre pela serial emulada na USB. Este evento dispara uma interrupção no micro controlador que ao ser tratada dispara o método `VCO_DataRX()`. Este método recebe como parâmetros o buffer de recepção e seu tamanho. Este método chama então o método `rtsp_rx_usb` que, como citado anteriormente, pega a informação recebida e coloca num buffer circular de recepção de dados pela USB.

Os dados no buffer circular de recepção pela USB são tratados pelo método `rtsp_rx_poll()`. Este método, chamado pelo método `rtsp_poll()` da `main()` quando há informação chegando pela USB, recebe como parâmetro o endereço do dado recebido pelo buffer, o comprimento do buffer e uma variável para reset das suas variáveis internas.

O método `rtsp_rx_poll()` é chamado durante o recebimento de dados pela usb, tendo como principal atribuição garantir que a mensagem seja remontada adequadamente caso a USB envie em pequenas porções e armazenar numa estrutura as informações recebidas como opcode, identificação do módulo e tamanho da mensagem recebida.. Uma vez garantido que recebeu a informação inteira pela USB, chama o método `receive_new_message()` para tratar a mensagem recebida.

O método `receive_new_message()` faz o tratamento da mensagem recebida pela USB. Consulta a estrutura setada em `rtsp_rx_poll()` e toma ações conforme o tipo da mensagem recebida:

- **OPCODE_NEW_FRAME**: verifica se o mensagem é para si. Caso positivo a carrega no buffer de edição pelo método `load_image()`. Caso contrário a envia para a serial para os micro controladores escravos pelo método `send_to_slave()`.
- **OPCODE_SWAP_FRAME**: troca o frame de edição.
- **OPCODE_CHECK_ID**: consulta a flash quanto a posição do módulo na matriz e envia pela USB para o software, através do método `send_back_panel_id()`.
- **OPCODE_CHANGE_ID**: troca o ID do painel em questão, através do método `change_id()` que escreve na flash nova programação a respeito da disposição do bloco em questão na matriz formada.

3.4 TESTE FUNCIONAL

No início da seção 3 a Figura 27 foi utilizada para ilustrar os componentes da solução. A mesma ilustração é apresentada na Figura 36 de modo a permitir comparação com o projeto implementado na Figura 37.

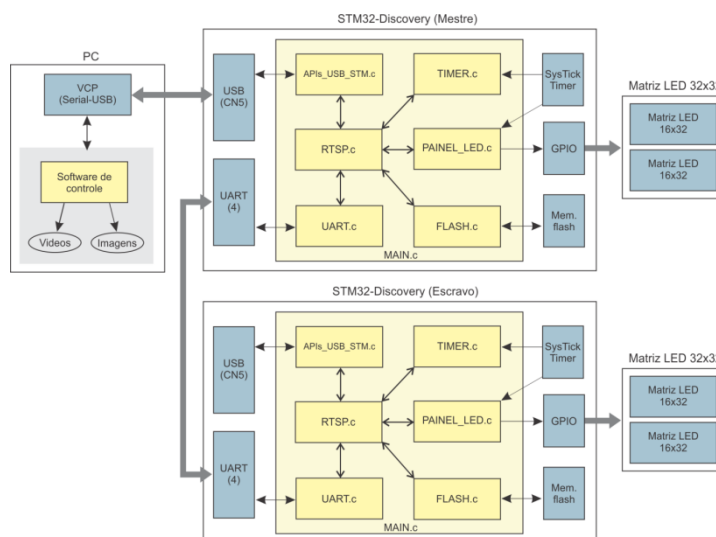


Figura 36 – Solução plataforma ILTEL.
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 37, o notebook à esquerda mostra a tela do IDE IAR utilizado para programar os microcontroladores. A tela à direita mostra a interface do software da ILTEL sobre o framework QT. Os quatro painéis estão dispostos lado a lado formando dois blocos de 32x32, sendo controlados por cada microcontrolador.

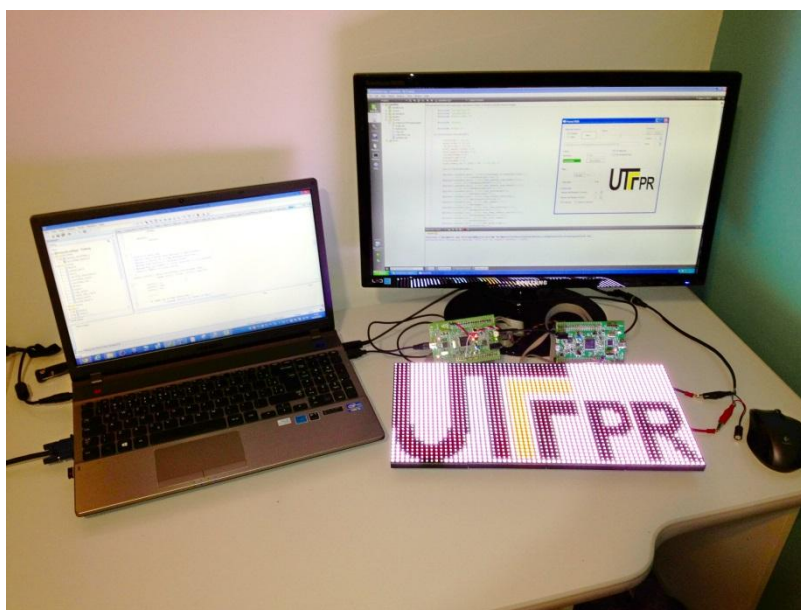


Figura 37 – Plataforma ILTEL
Fonte: Autoria própria

Testes foram realizados tanto com imagens quanto com vídeos e foram perfeitamente exibidos pela matriz.

Os próximos itens mostram a sequência de montagem e interações possíveis com o software, tendo sido utilizados para validação do funcionamento da plataforma.

3.4.1 INICIALIZAÇÃO DO SOFTWARE

A Figura 38 mostra a interface do software após ter sido aberto no PC. Percebe-se o estado de Desconectado destacado em vermelho.

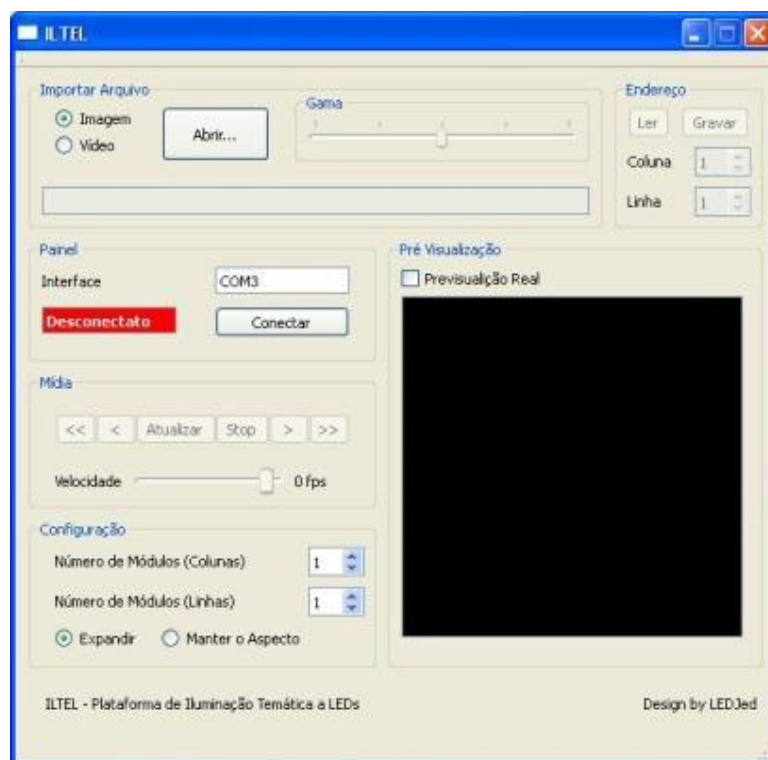


Figura 38 – Inicialização do Software.
Fonte: Autoria própria.

3.4.2 COMUNICAÇÃO COM OS MÓDULOS

Como o software se comunica com os módulos via serial emulada pela USB, a porta de comunicação deve ser informada na caixa de texto do Painel.

Após certificar-se que os módulos estão conectados via USB e informar a porta de comunicação, ao pressionar o botão Conectar a interface assume o aspecto exibido na Figura 39.

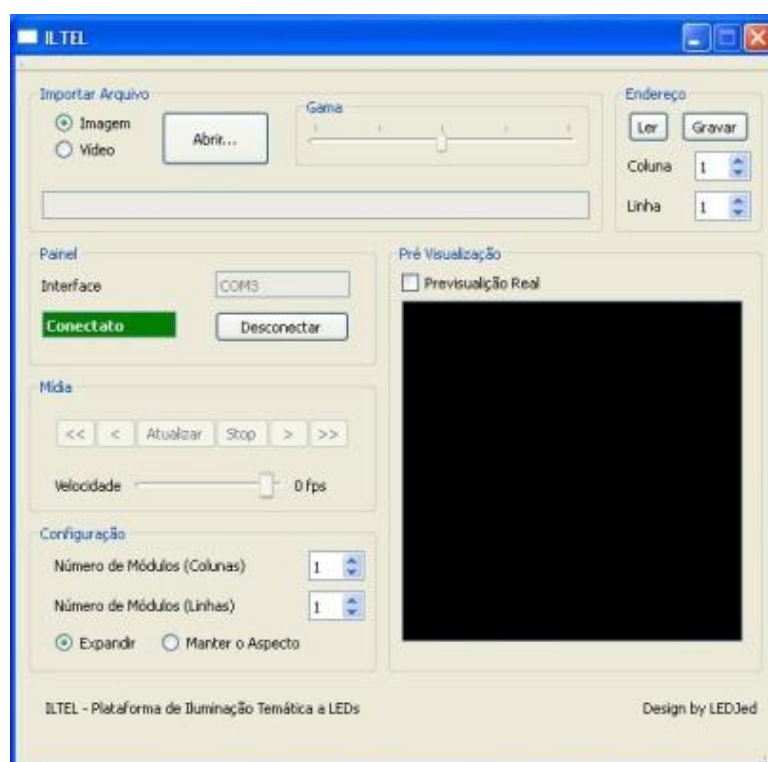


Figura 39– Comunicação com os módulos.
Fonte: Autoria própria.

Em função da rotina da função main() carregar o buffA na inicialização, todos os LEDs dos módulos da matriz apresentam a cor branca.

3.4.3 EXIBIÇÃO DE IMAGENS

A quantidade de módulos da matriz de exibição influi no aspecto da imagem exibida. Os itens abaixo mostram relação entre a quantidade de módulos e a imagem exibida.

A Figura 40 mostra a interface do software e o resultado na matriz para pré-visualização normal e um módulo 32x32 na posição 1x1.



Figura 40 – Pré-Visualização normal e um módulo 32x32 na posição 1x1.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 41 mostra a interface do software e o resultado na matriz para pré-visualização real e um módulo 32x32 na posição 1x1.



Figura 41 - Pré-Visualização Real e um módulo 32x32 na posição 1x1.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 42 mostra a interface do software e o resultado na matriz para pré-visualização real e uso de dois módulos 32x32, ocupando as posições 1x1 e 1x2 com imagem expandida.

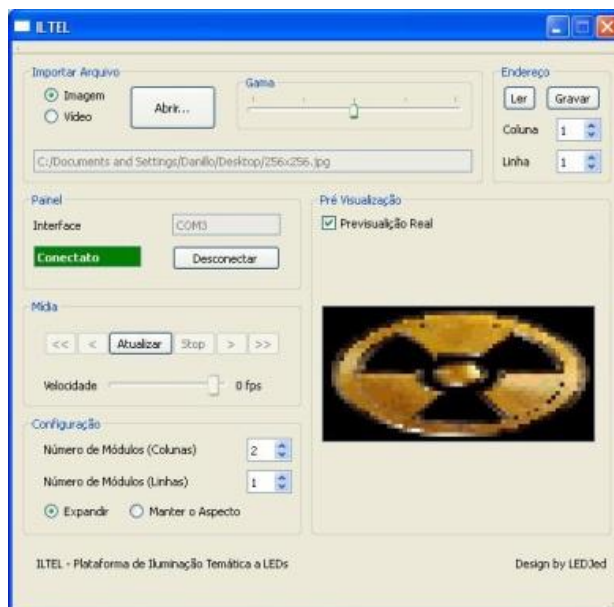


Figura 42 - Pré-Visualização Real, expandido, ocupando posições 1x1 e 1x2.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 43 mostra a interface do software e o resultado na matriz para pré-visualização real e uso de dois módulos 32x32, ocupando as posições 1x1 e 1x2 e mantendo o aspecto original.



Figura 43- Pré-Visualização Real, aspecto original, ocupando posições 1x1 e 1x2.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 44 mostra o resultado na matriz para uso de 4 módulos 32x32, ocupando as posições 1x1, 1x2, 2x1 e 2x2 com imagem expandida.

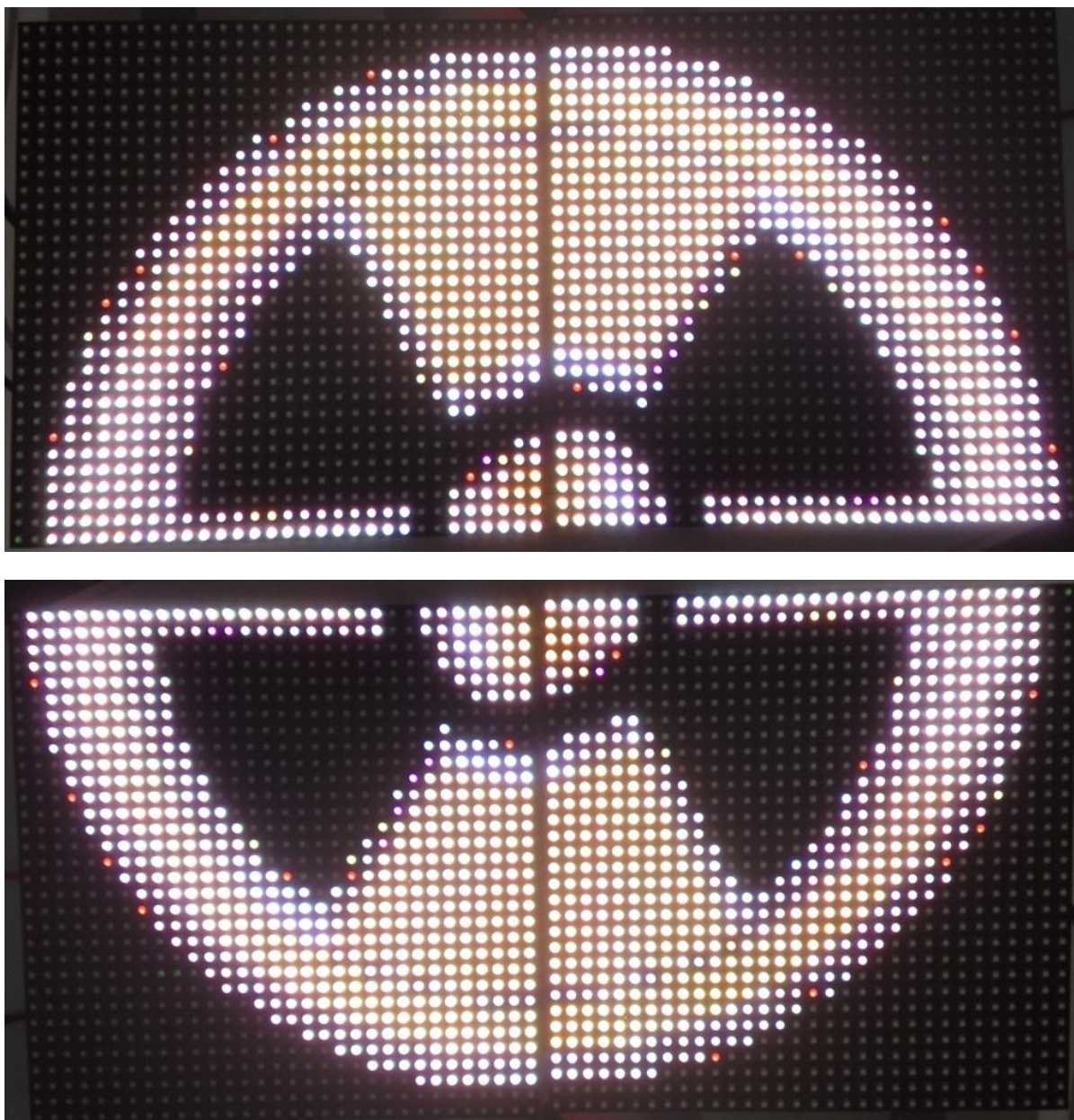


Figura 44 - Aspecto original, ocupando posições 1x1, 1x2, 1x3 e 1x4.
Fonte: Autoria própria.

4 PLANO DE NEGÓCIOS

O propósito deste capítulo é abordar as questões referentes ao planejamento das atividades de uma empresa que consolidará o projeto em um produto final

4.1 SUMÁRIO EXECUTIVO

A LEDJed LTDA é uma empresa nova, que atuará no mercado de iluminação. Esta empresa oferecerá soluções de iluminação para diversos tipos de estabelecimentos, fornecendo produtos de iluminação baseados no emprego da tecnologia LED.

A empresa será sediada na cidade de Curitiba e disponibilizará seus serviços inicialmente na região Sul. Os elementos motivadores foram tanto a proximidade de um público notoriamente exigente, o que permite agilizar o processo de otimização do produto, quanto a proximidade de centros de formação técnica altamente qualificados (UTFPR, SENAI), garantindo assim acesso à mão de obra técnica qualificada. Outros fatores foram o potencial do mercado na capital, além das questões pertinentes a logística e área de atendimento.

O primeiro produto a ser comercializado pela LEDJed LTDA será a ILTEL, que consiste em uma plataforma de iluminação temática a LEDs, levando uma solução diferenciada de iluminação complementar a casas noturnas, bares e eventos como casamentos e bailes de formatura.

Uma breve consulta a portais que agregam informações sobre a agenda cultural da capital paranaense, com o portal afterhour⁶, demonstram a existência de mais de 220 bares e casas noturnas em Curitiba. Como objetivos iniciais, a LEDJed LTDA deverá atingir no primeiro ano, pelo menos 10% desse total, totalizando 22 estabelecimentos até o final de 2014. Até essa data, deverão constar no portfólio de clientes não somente bares e casas noturnas, como também empresas de locação de artigo de iluminação e empresas organizadoras de eventos como recepção e formaturas.

As próximas páginas abordarão as estratégias que a LEDJed utilizará para alcançar estes objetivos e uma projeção financeira baseada nas despesas e na receita de operação da LEDJed.

⁶ www.afterhour.com.br

4.2 DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO

4.2.1 VISÃO

Ser referência em soluções de iluminação de ambientes para festas e eventos.

4.2.2 MISSÃO

Garantir a satisfação dos clientes oferecendo soluções inteligentes de iluminação para decoração, festas e eventos que permitam fácil manipulação, interatividade em tempo real, modularização e versatilidade de manuseio, encantando clientes e participantes, superando as expectativas em relação à iluminação.

4.2.3 VALORES

- Cliente em primeiro lugar
- Transparência
- Confiança
- Responsabilidade
- Agilidade

4.2.4 DESCRIÇÃO DO NEGÓCIO

A LEDJed LTDA será uma empresa de tecnologia voltada ao mercado de iluminação de ambientes, baseando-se no uso de LEDs. Terá por objetivo fornecer produtos e serviços para auxiliar na adequada ambientação e harmonização de estabelecimentos comerciais, residências e fachadas de edificações através de recurso de iluminação. O primeiro produto da LEDJed LTDA será a ILTEL, um piso de iluminação temática , que será reconhecido pelo mercado em função dos recursos diferenciados que serão oferecidos ao clientes. Pode-se citar a possibilidade de alteração dos padrões de iluminação de acordo com o desejo do cliente, auxiliando na criação um ambiente dinâmico e mais confortável para os frequentadores. Além disso, serão oferecidas ferramentas e soluções para sincronização do piso com outras fontes de iluminação e com o som ambiente. Com todos esses recursos, o cliente terá em mãos uma poderosa ferramenta de

iluminação que possibilita readequar o ambiente em tempo real de acordo com seu gosto ou com a programação do local.

4.3 OBJETIVOS

Este item descreverá quais são os principais objetivos que a LEDJed LTDA deve cumprir, para que possa atingir uma parcela do mercado na qual se insere.

4.3.1 OBJETIVOS PRINCIPAIS

Como principais objetivos da LEDJed LTDA, em dois anos, deverá ser reconhecida no mercado regional como referência em qualidade de serviços prestados, conquistando a confiança dos clientes. Neste período, pretende ter em seu portfólio de clientes 66 casas noturnas e bares de Curitiba, bem como empresas responsáveis por eventos de formatura e festas. Também terá participação em Santa Catarina e São Paulo, devido à estratégia de logística, chegando a quase 30% do Market Share das suas capitais.

4.3.2 OBJETIVOS INTERMEDIÁRIOS

Para atingir o objetivo supracitado, foram estabelecidos requisitos intermediários, que devem ser cumpridos. Nos primeiros seis meses de atividade da empresa, pretende-se oferecer serviços de “degustação” em diversas casas noturnas e bares de Curitiba, mostrando a funcionalidade das ferramentas e produtos da LEDJed LTDA. Também serão distribuídas versões para as capitais, São Paulo, e Florianópolis, abrangendo boa parte dos estabelecimentos dessas cidades.

Nos próximos seis meses serão oferecidos serviços de aluguel para estabelecimentos, abrangendo 15% da demanda, ou no total de 33 bares e casas noturnas de Curitiba até o final do primeiro ano. Para as demais capitais, a abordagem será feita em paralelo, visando sempre aumentar a popularidade do serviço prestado nas casas noturnas. Nesse período, também começará a ser ofertado o produto para venda, sendo instalado um sistema de iluminação no local com atualizações e manutenções periódicas do produto.

Após o primeiro ano, deverá ser expandido o portfólio de clientes para as empresas responsáveis por bailes e festas de formatura, tendo em vista o constante crescimento do setor em função do alto índice de jovens cursando faculdades na região, sendo a empresa referência para 100% das empresas do ramo.

Com o constante aumento de demanda, deverá ser melhorada a questão logística e de fornecedores, para que possamos entregar o melhor serviço dentro do melhor prazo possível para o cliente. A ILTEL se mostrará uma excelente opção para o entretenimento.

4.4 PRODUTOS E SERVIÇOS

Esta seção irá descrever quais são as características do serviço, indicando quais necessidades do cliente ele atenderá. Também será feito um comparativo com os principais serviços já existentes no mercado. Por fim, serão descritas quais são expectativas de lançamento de novos serviços, bem como quais atualizações deverão ser inseridas nos serviços atuais.

4.4.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO E SERVIÇOS

O primeiro produto da LEDJed LTDA, ILTEL, será disponibilizado na forma de venda ou locação como serviço agregado, a plataforma será instalada no estabelecimento de forma a complementar o sistema de iluminação já instalado, ou como elemento principal de iluminação. O piso retro iluminado será instalado em um local pré-definido pelo cliente, de maneira que os frequentadores fiquem à vontade para testar e apreciar a plataforma.

Como o local será um ambiente de entretenimento, foi necessário projetar a plataforma para ser impermeável a derramamento de líquidos, e outras substâncias que possam danificar o produto. A modularização da plataforma possibilita também uma maior versatilidade no modo em que será instalado o piso, sendo necessário somente manter o aspecto retangular do mesmo.

Juntamente com a plataforma, será instalado um software dedicado no PC, ou Laptop do operador, sendo esse necessário para o controle da pista. Esse software futuramente poderá ser acessado através de celulares (*smartphones*) ou tablets. O software possibilitará total controle dos modos de operação dos módulos, sendo

para exibição de vídeos, imagens, ou animações. Poderá controlar também possíveis tons de iluminação ambiente para momentos de não utilização do piso.

Como a população jovem está em constante evolução, manutenções periódicas, ou atualizações serão disponibilizadas para que o cliente possa alterar a maneira com que o piso opera, podendo retirar ou adicionar funcionalidades de acordo com sua necessidade. Dessa forma, a ILTEL servirá como display pessoal do próprio cliente para o entretenimento de seu estabelecimento da maneira que melhor lhe servir.

4.4.2 ANÁLISE COMPARATIVA

Além da análise dos concorrentes existentes no mercado, que será efetuado em um momento posterior nesse documento, também é fundamental avaliar quais são as vantagens competitivas do produto e serviço que está sendo oferecido, com relação aos produtos e serviços concorrentes.

Em adendo, para a comercialização do serviço, é de fundamental importância verificar com antecedência quais são as patentes relacionadas que porventura possam existir. Esta avaliação deve ser incluída no estudo de viabilidade do projeto, uma vez que uma patente concede a exclusividade de comercialização do produto ao seu titular, sem o pagamento de *royalties*.

Para verificar quais patentes estão relacionadas a este projeto, foram efetuadas consultas em bases de dados de patentes na internet. Três delas foram utilizadas, sendo a base do INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial), do USPTO (*US Patent Database*) e utilizando o sistema de busca *Google Patents*.

Na base do INPI, foi efetuada a pesquisa utilizando-se as palavras-chave “Pista de LED”. Foi encontrada uma patente com o título “*Módulo para construção de pista de dança equipado com LEDs e efeito de fundo infinito*”, número PI1005848-6 A2, o qual se propõe a utilização de módulos de madeira e utilização de elementos elétricos e eletrônicos que se utilizam de jogos de espelhos para criar a ilusão de fundo infinito para preenchimento de espaços. Tecnicamente, essa patente pertence ao escopo do projeto, porém, ela se destina a finalidade decorativa, e não tem a função de passar animações nos módulos.

Pesquisando novamente no INPI, agora utilizando-se as palavras chave “Painel de LED”. Foi encontrada uma patente com o título “*Painel de publicidade em LED*”.

que pode mostrar o efeito de várias publicidades”, número PI0705410-6 A2, o qual se propõe a utilização de um painel eletrônico com iluminação a partir de LEDs para a exibição de publicidades nas ruas para atrair a atenção de transeuntes para a propaganda. Novamente, a patente também se encontra no escopo do projeto, porém, desta vez sendo utilizada em um ambiente outdoor, e para a emissão de anúncios de propaganda, não tendo a mesma finalidade que a ILTEL.

Nas bases do USPTO, e Google Patents, não foram encontradas patentes que estejam inseridas no escopo deste produto.

Visando também a busca por produtos e serviços similares na região de Curitiba, onde será feito o desenvolvimento e lançamento do produto, podemos verificar empresas que oferecem produtos e serviços que se enquadram no escopo do projeto, porém, que são diferentes na atuação e destino empregados. Empresas como Lumix, LEDWave e ArtLed estão incluídas nesse escopo, porém, oferecendo serviços de propaganda para outdoors e shows, diferenciando assim seus serviços da LEDJed LTDA.

4.4.3 TECNOLOGIA

Conforme a pesquisa de mercado realizada, a tecnologia envolvida com os pisos e painéis de LED já é bastante conhecida, e, em um primeiro momento, não haverá diferenciais tecnológicos. O fato da possibilidade de importação de placas de LED RGB prontas da China acarreta igual competição entre os concorrentes, que também importam esse tipo de peça para minimizar os custos com roteamento de placas, compra de LEDs smd para soldagem, e até mesmo contratação de fornecedores para a realização desse serviço.

O diferencial do ILTEL para os outros produtos concorrentes será a placa controladora que se utiliza de algoritmos versáteis para uma constante atualização de lógica, e a pequena modularização de painéis, os quais pesquisando no mercado possuem dimensão de (1m x 1m) aproximadamente, sendo que a ILTEL seria de (0,96m x 0,96m) via cascadeamento ou (0,40m x 0,40m) podendo ser alocado com maior facilidade em espaços menores.

4.4.4 PRODUTOS E SERVIÇOS FUTUROS

Vendo a crescente demanda na área de iluminação a LEDs, seja pela sua ampla capacidade nuance de cores, ou seu baixo consumo de energia, a LEDJed LTDA. acredita que a tecnologia de iluminação a LEDs, já presente em outdoors, lâmpadas, e até em automóveis, pode ser expandida ainda mais. No intuito de diversificar a área de atuação da empresa, será pretendido o lançamento de outros serviços, a partir do sucesso da ILTEL.

O primeiro deles é utilizar a tecnologia empregada na plataforma, e expandi-la para a utilização em ambientes outdoors, como visualizações de propagandas e marketing de empresas, até mesmo pequenas animações em lojas, mercados e restaurantes. Com módulos pequenos, a empregabilidade se torna muito mais fácil e aplicável nesses ambientes, podendo ser utilizada tanto em grandes outdoors e estádios, bem como em pequenas lojas.

Outro produto a ser lançado será a iluminação de edificações, casas e praças. Pretende-se lançar serviços de customização de ambientes públicos, como praças, edifícios, e até mesmo residências. Este produto será facilmente instalável e ficará a disposição do cliente para a alteração de padrões visuais de acordo com o desejo ou necessidade. Com outros tipos de hardware, e empregando LEDs de alta luminosidade, será possível transformar fachadas de prédios e ambientes de praças públicas com apenas alguma configurações.

Paralelamente, a tecnologia da plataforma ILTEL será aperfeiçoada para que a sensação luminosa seja ainda melhor percebida e sentida pelos frequentadores. Hoje a ILTEL conta com apenas exibições de imagens, vídeos e animações, porém no futuro poderão ser implementadas configurações de acesso remoto, modularização online (alternância de módulos sem a necessidade de interromper o sistema), e até mesmo interação com as pessoas que estão utilizando.

Com isso, todos os objetivos da LEDJed LTDA. poderão ser alcançados, se tornando uma empresa referência em iluminação decorativa para qualquer ambiente.

4.5 ANÁLISE DE MERCADO RESUMIDA

Esta seção irá apresentar a distribuição do mercado que se pretende atingir, bem como destacar qual o principal segmento no qual se insere a Plataforma ILTEL. Será realizado também um breve prospecto com relação ao mercado, discursando questões a respeito de expectativas de crescimento e tendências do mercado. Para finalizar, será exposto quem são os Players deste mercado, listando os fornecedores, concorrentes, clientes e parceiros da empresa.

4.5.1 SEGMENTAÇÃO DE MERCADO

Inicialmente a ILTEL será destinada ao segmento de mercado onde a iluminação é vista como peça chave, como em casas noturnas e empresas organizadoras de eventos.

Pretende-se futuramente ampliar o leque de atuação através de customização de projetos para refinar e complementar decoração de interiores. Outro segmento ao qual se pode utilizar infraestrutura da ILTEL é no mercado de publicidade, criando vídeo-wall para aplicações indoor e outdoor.

4.5.2 SEGMENTO ALVO DE MERCADO

Inicialmente pretende-se oferecer a ILTEL as casas noturnas e de espetáculos da cidade de Curitiba/PR. Tais casas ainda não dispõem de um sistema de iluminação temática a LED, seja pelo alto preço de tal sistema ou pela falta de conhecimento da existência do mesmo. Assim, espera-se para o primeiro ano de atuação que aproximadamente 22 casas venham a adquirir a plataforma ILTEL.

Outro alvo de mercado ao alcance da ILTEL é a utilização de tal sistema em eventos como bailes e formaturas. Em Curitiba há um grande número de Instituições de Ensino, oferecendo desde curso de educação básica como curso superior. Tal fato gera um número enorme de eventos de formatura, ou seja, possível demanda por um sistema de iluminação mais sofisticado. Outro nicho a ser explorado é festas de casamentos, desfiles, congressos e seminários.

4.5.2.1 NECESSIDADES DE MERCADO

Grande parte do êxito destes estabelecimentos está atrelado à maneira pela qual o local satisfaz e fideliza sua clientela. “Iluminar é como vestir o ambiente” (FRANCO,2005). Apesar de importantes, decoração requintada e boa localização não são os fatores preponderantes para o sucesso desses estabelecimentos.

Em função da diversidade de efeitos psicológicos obtidos a partir da combinação das cores, é possível, no mesmo ambiente, criar atmosferas distintas para públicos diferenciados em diferentes horários de funcionamento de um estabelecimento. De acordo com Godoy, (2000, p.4) a iluminação pode fazer parte do contexto visual da casa, além de ser protagonista de efeitos visuais, alterando visualmente os ambientes. Como exemplo pode-se citar um restaurante, que durante o almoço pode ser iluminado de maneira sóbria e, ao anoitecer, de maneira descontraída. Estas variações podem ser obtidas por meio de automação dos sistemas de iluminação que podem variar segundo as conveniências. Todos esses fatores contribuem positivamente para o sucesso, tanto almejado, de tais estabelecimentos.

Atualmente há grande preocupação com questões de segurança de casas noturnas e locais que recebem grandes eventos e espetáculos. Tradicionalmente estes estabelecimentos utilizam lâmpadas incandescentes para a iluminação, a qual é instalada no teto, demandando estrutura aérea robusta para sua fixação. Existem estruturas dedicadas a este fim, mas sua aquisição pode representar até 100% do custo de aquisição de um sistema de iluminação nela fixado (MERCADOLIVRE,2013). Não é raro este tipo de material, juntamente com as caixas acústicas, ser instalado deliberadamente em vigas e caibros da estrutura de cobertura da casa. Isto acrescenta uma carga à estrutura para a qual ela não foi dimensionada, além de acelerar o processo de fadiga do material em função do calor dissipado pelas lâmpadas.

A plataforma ILTEL fornece iluminação a partir do chão, desonerando a estrutura aérea do local e eliminando riscos de acidentes como queimaduras ou focos de incêndio uma vez que LEDs dissipam pouca potência na forma de calor. Esta característica repercute numa desoneração do sistema de refrigeração do ambiente, refletindo na diminuição de custos com eletricidade para o sistema de refrigeração/climatização.

Outro fator aonde a ILTEL vem de encontro com as necessidades do mercado é com relação ao custo operacional e impacto ambiental. De acordo com o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE,2011), lâmpadas incandescentes comuns têm eficiência energética de apenas 8 %, sendo o restante de sua energia convertida em calor. Lâmpadas fluorescentes possuem eficiência na ordem de 32%, enquanto os LEDs possuem eficiência energética na ordem de 40% (CAMPOS,2011). Os LEDs possuem alta resistência mecânica e longa vida útil: 50 mil horas contra 1 mil horas de uma lâmpada incandescente. Experiências com semáforos a LED demonstram um consumo de eletricidade dez vezes menor em relação aos semáforos tradicionais, reduzindo o custo operacional e repercutindo na redução de emissão de CO₂ de usinas termoeletricas (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA,2007).

Além de reduzir os custos operacionais, sua maior vida útil implica na redução de emissão de poluentes provenientes da queima de derivados do petróleo em função da desoneração da cadeia logística para reposição e reparos. Diferente das lâmpadas incandescentes, na ocasião de descarte, o LED não emite vapores de mercúrio quando quebrado e permite reciclagem (PHILIPS, 2010, p.13).

4.5.2.2 TENDÊNCIAS DE MERCADO

De acordo com matéria publicada na revista especializada em sonorização e iluminação BACKSTAGE, edição 146, o LED vai ser cada vez mais utilizado, principalmente como recurso cenográfico. Atualmente, a tendência no mercado de iluminação no Brasil é cada vez mais a utilização de LEDs. Várias empresas adotaram o uso desta tecnologia e os profissionais estão procurando soluções em LED não só no entretenimento (TV, show business, etc), mas também na arquitetura. Um exemplo é a Star, que utiliza o painel de LED Star Lighting visando a seguir a tendência de uso de LEDs nos equipamentos de iluminação para aplicações decorativas e arquitetônicas em eventos, festas, lojas, casas noturnas, palco, etc.

O uso do display de LED em shows praticamente inviabiliza a utilização de projetores, já que a luminosidade emitida pelo display é muitas vezes superior à luminosidade de um projetor refletida em uma tela. Acredita-se que a mudança em termos de projeção de shows é a de se ter uma qualidade de imagens muito maior.

“Temos novas tecnologias, mais inteligentes, leves e cada vez mais com qualidade e potência. Podemos ter como exemplo o que já aconteceu nos últimos dois anos. Utilizavam-se projetores de 3 mil ansi lumens e hoje estamos em 15 mil, além, é claro, dos painéis de LED”, disse Jesus Fernandez, empresário e diretor da 2A Lighting, que representa empresas do ramo de iluminação (BACKSTAGE, 2007).

4.5.2.3 CRESCIMENTO DE MERCADO

No Brasil, um dos primeiros shows a utilizar essa tecnologia foi a turnê Voodoo Lounge, dos RollingStones, em 1995, que usou o famoso Jumbotron. A partir de então, os principais fabricantes passaram a oferecer esses displays no mercado, que não tardaram a ser adotados pelas produções de médio e grande porte. No Brasil, os primeiros modelos começaram a ser utilizados em shows a partir de 2001. Desde então, o mercado está cada vez mais consumindo esta linha de produto em shows, eventos corporativos e cenografias (BACKSTAGE, 2007).

As novas tecnologias associadas ao LED impulsionam as empresas a se voltarem cada vez mais para esta nova realidade do segmento de iluminação. A queda do preço fará com que grande parte das empresas de iluminação consuma esses produtos, pois a durabilidade do LED aliada ao seu baixo consumo interessa a todas as empresas e os custos tendem a diminuir gradativamente.

Especialistas da área, como João Alvares (diretor comercial da Hot Machine), afirmam que investir em equipamentos a LED ainda não é barato, mas ao contabilizar os custos no final, acaba sendo um bom negócio. Tal fato está impulsionando cada vez mais a utilização, conforme temos notado que na área de shows musicais, cada vez mais bandas tem incluído tais equipamentos nos palcos visando melhores efeitos visuais nos espetáculos(BACKSTAGE, 2007).

Já na área de marketing, publicidade de rua constitui um meio que jamais perdeu sua importância de divulgação, pois as pessoas estão fora de casa na maioria do tempo. A mídia externa que mais cresce atualmente são os painéis de LED, que oferecem o dinamismo necessário aos anúncios, com qualidade superior as mídias tradicionais, grande quantidade de aparições e apresenta excelente relação custo-benefício.

4.5.3 ANÁLISE DA INDÚSTRIA

As indústrias envolvidas no produto são indústrias de componentes eletrônicos, de montagem de placas de circuitos eletrônicos, indústria mecânica, para montagem da estrutura do painel, e de empresas do ramo logístico, visto que haverá importação de matriz de LED's de outros países, principalmente da China e também para a movimentação de painéis após prontos, no caso de locação dos mesmos.

O preço final da plataforma ILTEL está fortemente atrelado a variação de preço dos serviços prestados por tais indústrias. Há uma forte tendência dos valores cobrados por essas empresas venham a diminuir, visto que se trata de indústrias de tecnologia.

4.5.3.1 PLAYERS

Este tópico apresentará os principais fornecedores, clientes e concorrentes da ILTEL que estão presentes no mercado atualmente.

4.5.3.2 FORNECEDORES

Os fornecedores da ILTEL serão as empresas que disponibilizarão os componentes para a montagem do módulo embarcado do sistema e a montagem da estrutura mecânica do sistema. Além destas, há de se considerar as empresas que fornecerão a matriz de LED's RGB, geralmente provenientes da China.

Os componentes, que compõem sistema embarcado, controlador da matriz de LED's, e demais componentes passivos, podem ser encontrados no Brasil, em empresas de distribuição de componentes eletrônicos. Alguns dos fornecedores em potencial estão localizados em Curitiba: sendo duas as principais delas, a saber: a Beta Comercial Eletrônica, e a Pares Eletrônica. Considerando a facilidade com relação à logística e contato com estas empresas, serão as principais fornecedoras desta categoria de componentes. Entretanto, em caso de falta de peças por parte destas empresas, um fornecedor alternativo será a Farnell Newark, localizada em São Paulo. Em último caso, ainda existe a possibilidade de incluir fornecedores internacionais, como a Digikey e a Mouser Electronics.

Há também de se considerar os fornecedores da placa de circuito impresso. As principais serão a Circuibras, localizada em Curitiba, e a Circuitel, a qual possui sede em Pinhais. Estas foram escolhidas em função de oferecerem serviços de boa qualidade a um custo competitivo.

Outros fornecedores a serem listados são as empresas 3S Metalúrgica e Dugale, do ramo de estruturas metálicas, as quais são responsáveis pelo fornecimento do sistema mecânico da ILTEL.

4.5.3.3 CLIENTES

A solução proposta atualmente para utilização da ILTEL está focada para atender a clientes como casas noturnas e empresas organizadoras de eventos. Abaixo segue uma breve lista com alguns potenciais clientes:

Casas Noturnas: Pulse, James Bar, Layout 80, Black Box Club, Woods Bar, Victoria Villa Country, Crossroads Blues Bar, Lique, Yankee, Santa Marta.

Organizadoras de Eventos: Multieventos Formaturas, Nova Era Formaturas, Originale Formaturas, Milenium Formaturas, Alô Eventos, Imaginarte Formaturas, Maximus Eventos, Idealize Eventos, Perfius Eventos e Formaturas.

4.5.3.4 CONCORRENTES

É de grande importância a análise de potenciais concorrentes do produto, para planejar possíveis manobras de mercado e poder superar limites existentes nos atuais concorrentes, e com isso ganhar espaço e força no mercado. Entretanto, não foi identificada nenhuma empresa que forneça um sistema similar ao proposto pela ILTEL, que é de um piso iluminado a LED, onde os padrões de imagens podem ser os mais diversos. Há algumas empresas que fornecem painéis LED para utilização como complemento de iluminação de shows e como outdoors.

Inicialmente o foco de atuação da ILTEL será o de casas noturnas e eventos, onde o mesmo será utilizado como piso iluminado, até mesmo pela falta de concorrência da ILTEL nesse segmento.

4.5.3.5 PRINCIPAIS PLAYERS

De acordo com o levantamento feito até o momento, segue abaixo os principais players envolvidos no negócio:

Fornecedor de Serviços de montagem de placa de circuito impresso:
Circuibras e Circuitel.

Fornecedor de Componentes:
Beta Comercial Eletrônica, Pares Eletrônica e Farnell Newark.

Fornecedor de Matriz de LED's RGB:
Lightwell Led Display Technology.

Parceiros:
Lumix Luz&Audio, Iluminação e Som Tamanduá Ltda e Nasser Som Luz e Imagem.

4.6 DEFINIÇÃO DA OFERTA E PROPOSTA DE VALOR

A plataforma ILTEL está voltada para o mercado de iluminação e decoração baseada em tecnologia LED. Há outros mercados com possibilidades de serem futuramente explorados, bastando apenas algumas pequenas adaptações no sistema. Tais mercados são o de marketing (outdoors) e o show, onde o painel de LED poderia ser utilizado para complementar a iluminação do palco ou até mesmo exibição de vídeos e outros padrões de imagem.

No mercado onde está inserida a ILTEL, os principais clientes são casas noturnas e empresas organizadoras de eventos. Esses clientes utilizarão a ILTEL para iluminação temática dos pisos das pistas de danças e/ou outros ambientes.

A iluminação pode fazer parte do contexto visual da casa, além de ser protagonista de efeitos visuais, alterando visualmente os ambientes e a experiência dos clientes em tal local. Em função da diversidade de efeitos psicológicos obtidos a partir da combinação das cores, é possível, no mesmo ambiente, criar atmosferas distintas para públicos diferenciados em diferentes horários de funcionamento de um estabelecimento. Portanto, a ILTEL visa proporcionar um diferencial para seus clientes, aumentando sua competitividade e fidelizando os frequentadores e clientes.

Em termos de inovação, a ILTEL é a única no Brasil atuar na iluminação de pisos com imagens a partir de painéis LED.

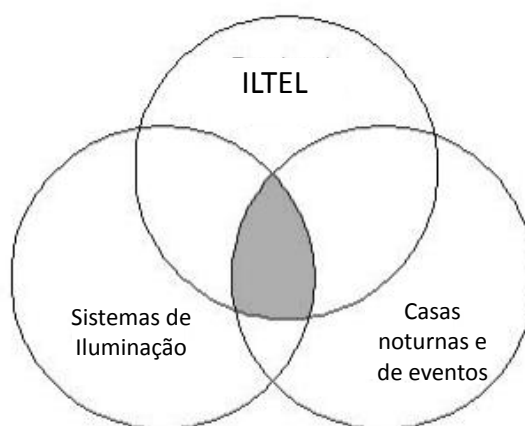


Figura 45 - Proposta de Valor.
Fonte: Autoria própria.

4.7 ESTRATÉGIA DE IMPLEMENTAÇÃO

Em um mercado já competitivo, a inclusão de uma nova empresa pode ser dificultada. Razões como mercado saturado, ou impossibilidade de praticar os preços da concorrência, podem transpor a impossibilidade da entrada no mercado. Entretanto, a plataforma ILTEL busca oferecer um produto diferenciado, em um mercado ainda não explorado, utilizando painéis LED em um piso, complementando a iluminação de casas noturnas e eventos.

4.7.1 DIFERENCIAIS COMPETITIVOS E PROPOSTA DE VALOR

A plataforma ILTEL visa oferecer aos clientes um produto diferenciado, ainda não atendido pelo mercado atual.

A grande maioria dos sistemas de iluminação segue os padrões tradicionais, onde são utilizadas lâmpadas incandescentes, as quais são instaladas no teto dos estabelecimentos ou locais de eventos. A ILTEL pretende quebrar alguns paradigmas, propondo um sistema de iluminação baseado em tecnologia LED, o qual será instalado no piso destes locais, trazendo uma série de benefícios.

Entre tais benefícios, pode-se citar:

- Uma decoração mais requintada do ambiente, aumentando as chances de sucesso do estabelecimento ou uma maior qualidade de um evento percebida por seus frequentadores.

- Maior segurança nesses locais, visto que a ILTEL será instalada no piso, tornando desnecessária a instalação de muitas estruturas e equipamentos no teto dos estabelecimentos e locais de eventos.
- Economia de energia devido a utilização LED's em vez de lâmpadas incandescentes, as quais possuem baixa eficiência energética.
- A instalação de estruturas para comportar o sistema de iluminação tradicional pode representar até 100% do custo de sistema de iluminação nele instalado. A ILTEL tem um custo de instalação baixo comparado ao sistema tradicional de iluminação.
- O custo de manutenção da ILTEL é baixo, pois LED tem uma vida útil estimada em torno de 50 mil horas. Uma lâmpada de iluminação tradicional tem tempo de vida médio de 1 mil horas. Portanto, há enorme redução do OPEX do sistema de iluminação quando se utiliza a ILTEL.
- O sistema de refrigeração do local poderá ser reduzido, haja vista que LED dissipam pouca energia em forma de calor, fato esse, que não ocorrem com sistema de iluminação tradicional. Lâmpadas incandescentes dissipam mais de 90% de energia em forma de calor, sobrecarregando o sistema de refrigeração do ambiente.
- Outro benefício indireto da utilização de um sistema LED é com relação ao meio ambiente. Diferente das lâmpadas incandescentes na ocasião de descarte, o LED não emite vapores de mercúrio quando quebrado e permite reciclagem.

4.7.2 ESTRATÉGIA DE MARKETING

A estratégia de marketing engloba quais serão os preços praticados, bem como o produto que será promovido e distribuído aos clientes. Todos estes aspectos visam conquistar a confiança e fidelidade do cliente, atendendo as necessidades e desejos que ele requer, combinados a um preço satisfatório e retorno breve do investimento.

4.7.2.1 ESTRATÉGIA DE PREÇOS

A estratégia a ser adotada na comercialização é a prática de preços competitivos com relação a instalação de um sistema tradicional de iluminação, porém tendo

como diferencial todos os benefícios citados anteriormente ao se instalar a plataforma ILTEL.

O objetivo dessa estratégia de preço é tornar a solução de iluminação oferecida pela ILTEL mais atraente em relação ao sistema de iluminação tradicional.

4.7.2.2 ESTRATÉGIA DE PROMOÇÃO

Para promover a ILTEL, será feita uma campanha de marketing por meio de empresas terceirizadas, contatando diretamente as empresas que possuem maior potencial para se tornar futuros clientes.

Serão realizadas demonstrações em eventos na área de entretenimento, demonstrando as vantagens da utilização de tal sistema. Em adendo, será utilizada a mídia digital para propaganda do produto, incluindo inserções em sites de busca, compra e disponibilização de conteúdo de entretenimento, como o Youtube.

Tendo conquistado a confiança e satisfação de alguns clientes, este poderá ser utilizado como referencia para posteriores clientes.

4.7.2.3 ESTRATÉGIA DE DISTRIBUIÇÃO

Deverá haver uma quantidade mínima de produtos em estoque, já prontos para serem instalados, para atender a demanda de locação para empresas promotoras de eventos.

No caso da venda e instalação definitiva em casas noturnas e locais de eventos, deverá ser realizada uma vistoria no local, realizando o levantamento e os requisitos dos clientes. A partir de tais dados será listada os materiais e equipamentos necessários para atender o cliente. Tendo tais dados em mãos será realizada a compra e importação dos elementos necessários junto aos fornecedores.

Depois de instalada a plataforma ILTEL, o cliente será instruído de como realizar a correta operação da mesma. E em caso de defeito, uma equipe irá até o local para averiguar as causas. Em caso de necessidade de troca de algum elemento do sistema, essa será realizada a partir de sobressalentes dos mesmos, para que o cliente fique o menor tempo possível com a plataforma inoperável, haja vista o processo de importação de alguns componentes das ILTEL.

4.7.2.4 ESTRATÉGIA DE VENDAS

Nesta seção, serão apresentadas as expectativas de venda da plataforma ILTEL, bem como qual o plano de vendas pretende-se adotar para conquistar a parcela do mercado que foi estabelecida.

4.7.2.5 FORECAST

Conforme discutido anteriormente, a comercialização da plataforma ILTEL baseia-se na venda para casas noturnas e casa de eventos e também na locação da estrutura para empresas que promovem eventos.

No caso de vendas, estima-se um valor em torno de R\$ 13.000,00 por metro quadrado de painel. Já para o caso de locação, pretende-se praticar o valor de R\$ 700,00 por metro quadrado de painel por dia. A expectativa de vendas nos 3 primeiros anos é mostrada no Quadro 4.

	Unitário	2013(Jul-Dez)		2014		2015	
		Quatidade	Total anual	Quatidade	Total anual	Quatidade	Total anual
Vendas (m2)	R\$ 13.000,00	30	R\$ 390.000,00	210	R\$ 2.730.000,00	510	R\$ 6.630.000,00
Locações (m2/dia)	R\$ 700,00	120	R\$ 84.000,00	630	R\$ 441.000,00	1800	R\$ 1.260.000,00
Total		-	R\$ 474.000,00	-	R\$ 3.171.000,00	-	R\$ 7.890.000,00

Quadro 4 - Expectativa de Vendas nos 3 primeiros anos de operação.

Fonte: Aatoria Própria

4.7.2.6 PLANO DE VENDAS

Nos primeiros meses de operação, as vendas serão destinadas principalmente as casas noturnas e casas de eventos da cidade de Curitiba e região metropolitana. As locações também terão como foco principal essa região, porém voltada a empresas do ramo de organização de eventos.

A partir do momento que tenha sido comprovada a qualidade do produto instalado e sua operabilidade, será expandida a região de atuação para demais cidades do estado do Paraná, Santa Catarina e São Paulo. Posteriormente, depois de adquirida maior experiência com o negócio, será expandida a área de atuação para todas as regiões do Brasil através de representantes e parceiros comerciais.

4.7.3 ALIANÇAS ESTRATÉGICAS

Inicialmente não serão realizadas alianças estratégicas, visto que a área geográfica de atuação será pequena. Posteriormente será realizado um levantamento de possíveis parceiros para representação da plataforma ILTEL em outras regiões do Brasil.

4.7.4 CRONOGRAMA

Durante os três primeiros anos de operação foram estabelecidas metas a serem atingidas em um intervalo de tempo (Milestones). Estas metas estão dispostas no quadro abaixo, sob a forma de um cronograma de eventos. Também estão listados os responsáveis por cada objetivo.

Milestones	Responsável	ANO/TRIMESTRE											
		2013		2014				2015					
		3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Testes finais do protótipo e validação	Edgar												
Elaboração do design final para venda	Danillo/Edgar												
Projeto da Plataforma ILTEL para demonstração e locação	Edgar												
Compra e importação dos elementos necessários para a ILTEL demonstração e locação	Jean												
Montagem da ILTEL de Demonstração e Locação	Edgar												
Locação da sede da empresa	Danillo												
Vendas e locações da ILTEL	Jean												
Contração e Treinamento de pessoal	Danillo												
Participação em eventos para demonstração	Danillo/Jean												
Pesquisa de Melhorias do produto	Danillo												
Desenvolvimentos de novas aplicação para ILTEL	Danillo/Edgar												
Expansão da área de atuação para todo o Brasil	Danillo/Jean												

Quadro 5 - Cronograma de Atividades Previstas até 2014.

Fonte: Autoria própria

4.7.5 GESTÃO

Esta seção irá abordar as questões de gestão da empresa. Entre elas, incluem-se a estrutura organizacional que será adotada, bem como a apresentação da equipe e do quadro de pessoal.

4.7.6 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

A Estrutura Organizacional de uma empresa é a maneira pela qual as empresas definem como as suas atividades serão desenvolvidas, e distribuem as responsabilidades de cada setor, para a operação adequada da empresa.

Em um primeiro momento, a empresa LEDJed LTDA., utilizará uma Estrutura Organizacional Funcional, qual será composta por três departamentos:

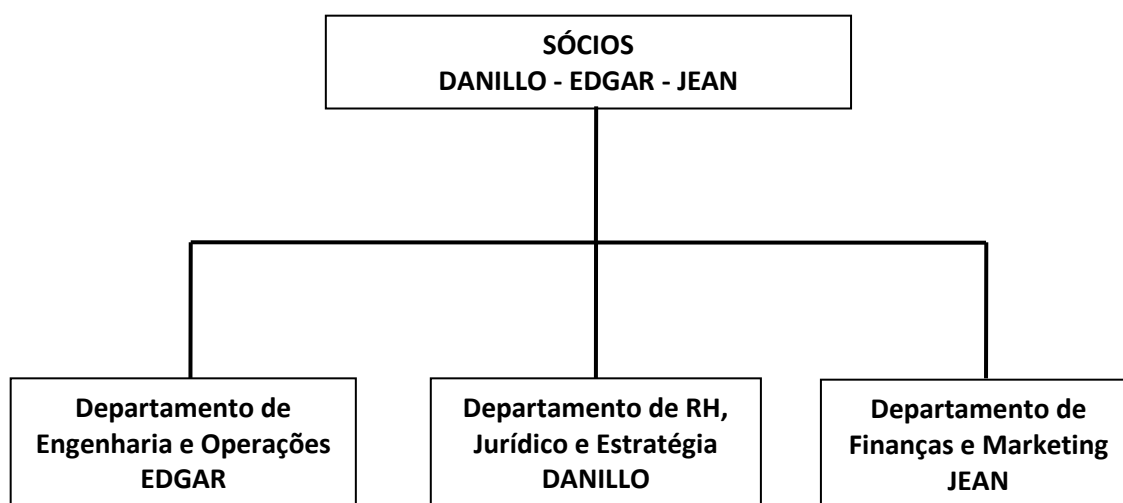


Figura 46 - Estrutura Organizacional.
Fonte: Autoria própria.

4.7.6.1 DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E OPERAÇÕES

O departamento de engenharia e operações será responsável pelos projetos de instalação definitivos da plataforma ILTEL nos clientes, como casas noturnas e casas de eventos. Também está no escopo desta área os projetos de instalações temporárias de plataformas ILTEL, no caso do serviço de locação das plataformas

de iluminação. As análises de melhorias técnicas e implementação de novas funcionalidades serão de responsabilidade desta área.

Esta área também será responsável pelo atendimento aos clientes no caso de reparos e soluções de problemas que venham a ocorrer após a instalação da ILTEL.

A composição inicial da área será de dois técnicos em eletrônica para instalações e realizações de vistorias em campo e mais um técnico para desenvolvimento e reparo das plataformas na sede da empresa.

O departamento de Engenharia e Operações estará sob direção do sócio empresarial Edgar Z. Paul Jr.

4.7.6.2 DEPARTAMENTO DE RECURSOS HUMANOS, JURÍDICO E ESTRATÉGIA

Este departamento pode ser dividido em três subáreas. A primeira, a área de RH será responsável pela contratação de pessoal, controle de presença, treinamento e orientação de pessoal e desligamentos.

A área Jurídica será responsável por representar a empresa perante órgãos da administração pública e tribunais, defender interesses da empresa judicialmente e redigir e analisar contratos. Em um primeiro momento, para essa área será contratada empresa terceirizada de acordo com a necessidade da empresa LEDJed LTDA, mas sob a responsabilidade deste departamento. Posteriormente será realizada a contratação de um advogado para auxiliar nas atividades da área.

Já a terceira subárea, a de estratégia, será responsável pelas análises estratégicas de mercado, assim como o estabelecimento de diretrizes para cada um dos demais departamentos, zelando pelo cumprimento das metas estabelecidas.

O departamento de RH, Jurídico e de Estratégia estará sob a direção do sócio empresarial Danillo M. do Valle.

4.7.6.3 DEPARTAMENTO DE FINANÇAS E MARKETING

Este departamento será dividido em duas subáreas, uma delas é área de Finanças e a outra é a de Marketing.

A área de Marketing será responsável pelo lançamento dos produtos no mercado, assim como a obtenção de mais clientes realizando a negociação e fechamento de contratos de serviços com empresas de frotas veiculares, além de

todo o plano publicitário de venda e locação a ILTEL. No primeiro ano de atuação será realizada a contratação de uma consultoria na área de publicidade e propaganda, sob a responsabilidade do departamento de Finanças e Marketing.

A gestão de tesouraria e gestão de investimentos e riscos serão de responsabilidade da área de Finanças. As atividades envolvidas relacionadas à primeira são as de processamento de pagamentos e cobranças, previsões de tesouraria e controle de contas bancárias. Já a avaliação dos riscos da liquidez, do crédito, das taxas de juro, da moeda e do mercado são atividades relacionadas a gestão de investimentos e riscos. Posteriormente planeja-se contratar um contador para auxiliar nas atividades do setor.

O departamento de Finanças e Marketing está sob direção do sócio empresarial Jean Kuhne.

4.7.7 EQUIPE

A LEDJed LTDA. terá em sua equipe, além dos três sócios que desenvolveram o projeto, um quadro de técnicos e estagiários para auxiliar nas operações iniciais da empresa.

Abaixo se encontra uma lista do perfil dos integrantes da equipe. Esta relação se refere ao corpo de pessoal necessário para o início das atividades da empresa, de acordo com a previsão de instalações pretendidas no primeiro ano de operação.

Danillo M. Do Valle: Engenheiro Eletricista formado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Já atuou na área de automação e área de telecomunicações.

Edgar Z. Paul Jr.: Engenheiro Eletricista formado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Trabalhou anteriormente com pesquisa na área de eletromagnetismo, microcontroladores e telecomunicações.

Jean Kuhne: Engenheiro Eletricista formado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Possui experiência em microcontroladores e na área de telecomunicações.

Técnicos: serão responsáveis pela instalação, configuração e assistência técnica das plataformas ILTEL nos clientes. Também terão a função de atendimento ao cliente, e auxiliarão no desenvolvimento de melhorias nos produtos atuais e novos produtos.

Estagiários: auxiliarão os técnicos e os sócios nas atividades rotineiras de cada departamento.

4.7.8 QUADRO DE PESSOAL

O quadro abaixo demonstra a quantidade de colaboradores na empresa prevista até o ano de 2015.

	2013	2014	2015
Técnico	3	5	8
Estagiário	2	4	6
Advogado	0	0	1
Contador	0	0	1

Quadro 6 - Previsão de Quadro de Pessoal até 2015.

Fonte: Autoria própria.

4.8 PLANO FINANCEIRO

Com base na projeção de vendas apresentado anteriormente (Forecast). Será incluída uma estimativa do plano financeiro da empresa, sendo apresentada a relação de custos, despesas e resultado operacional.

4.8.1 CONSIDERAÇÕES

4.8.1.1 INVESTIMENTO INICIAL

Nos seis primeiros meses de operação da empresa, o objetivo será produzir uma quantidade fixa de módulos para o serviço de “degustação” do serviço, para isso será necessário um aporte inicial para a compra de materiais, como as matrizes de LED, componentes, e estruturas metálicas. O apoio dos fornecedores e parceiros se fará necessária nessa etapa. Nesse período o objetivo é mostrar o produto e serviço, e não produção em escala.

Para a alocação desses materiais, será necessário um *warehouse* local, de preferência juntamente com o escritório, para a verificação, ajuste, reparos e manutenção dos equipamentos. Com isso, considerou-se inicialmente o aluguel de um local com um terreno considerável para realizar essa função. Para tanto, em

Curitiba existem galpões/barracões que cumprem muito bem esse papel, sendo alugados por R\$1600,00 a R\$2100,00 por mês. Esse custo adicionando água, luz, telefone e móveis para um pequeno escritório será o necessário para o estabelecimento inicial da empresa.

Para o marketing, será necessário o investimento em um website, para a publicação dos equipamentos, funcionamentos, e contato com clientes. Em Curitiba, foi considerada a empresa CreativeBizz, que já atua no mercado de design para diversas empresas.

Para o transporte de equipamentos, como não serão muitos, será levada em consideração uma pequena empresa de logística apenas para a cidade de Curitiba.

O quadro abaixo lista o investimento necessário para a abertura da empresa, considerando o primeiro mês de operação.

Investimento Inicial	Valor [R\$]
Legalização	1.600,00
Aluguel	1.800,00
Luz, Água, Telefone	1.500,00
Veículo	25.000,00
Equipamentos	6.000,00
Contabilidade (Honorários)	3.000,00
Marketing	2.000,00
Total	40.900,00

Quadro 7 - Investimento inicial necessário para operação da empresa.

Fonte: Autoria Própria

Não estão sendo considerados os custos de produção do investimento inicial, que serão tratados na próxima seção. Será agregado o valor de R\$ 430.920,00, sendo explicitado nos custos de produção. Como os sócios fundadores não detém este capital para a abertura da empresa, será efetuado um empréstimo junto a uma instituição bancária, no valor de R\$ 470.000,00, a ser pago em 30 meses, com juros de 1% ao mês.

4.8.2 CUSTOS

Os custos podem ser relacionados aos gastos referentes à fabricação do produto. Como o produto não terá fabricação própria, sendo feito por uma empresa terceirizada, o custo de cada unidade (m²) está indicado no quadro abaixo.

Custos Variáveis	Valor Unitário [R\$]
Matriz RGB	900,00
Microcontrolador	140,00
Componentes	120,00
Placa de Circuito Impresso	600,00
Fonte	120,00
Caixa Metálica	150,00
Vidro Temperado Fumê (10mm)	250,00
Total	2280,00

Quadro 8 - Custos variáveis envolvidos nos processos de produção.

Fonte: Autoria própria

Considerando o ano de 2013, em que é prevista a produção de 180m² de piso, o custo estimado neste semestre será de R\$ 2.280,00 por metro quadrado. Entretanto, será considerada uma margem de 5% a mais na fabricação dos dispositivos, prevendo que eles poderão eventualmente apresentar defeitos, exigindo a respectiva troca. Com esta consideração, o custo total de fabricação será de R\$ 430.920,00, o equivalente a 189m².

4.8.2.1 DESPESAS

Assim como os custos, as despesas também se referem aos gastos, entretanto são os que não estão intrinsecamente ligados à fabricação do piso.

A seguir está representado o quadro de despesas estimadas para os três primeiros anos de operação da empresa.

[R\$]	2013	2014	2015
Despesas Fixas			
Salários e Encargos			
Sócios	45.000,00	90.000,00	90.000,00
Técnicos	21.600,00	72.000,00	115.200,00
Estagiários	7.200,00	28.800,00	43.200,00
Advogado	0	0,00	26.400,00
Contador	0	0,00	14.400,00
Limpeza (Eventual)	1.440,00	1.440,00	1.440,00
Aluguel	10.800,00	21.600,00	21.600,00
Água, Luz, Telefone	9.000,00	18.000,00	18.000,00
Marketing	2.000,00	4.000,00	5.000,00
TOTAL PARCIAL	97.040,00	235.840,00	335.240,00
Despesas Variáveis			
Combustível	1.900,00	2.400,00	2.400,00
Estacionamento	660,00	660,00	660,00
Viagens	2.400,00	3.200,00	4.100,00
TOTAL PARCIAL	4.960,00	6.260,00	7.160,00
TOTAL	102.000,00	242.100,00	342.400,00

Quadro 9 - Projeção do resultado da Empresa nos três primeiros anos de operação.

Fonte: Autoria própria

4.8.3 INDICADORES FINANCEIROS

Os indicadores financeiros representam uma forma de realizar uma análise dos demonstrativos financeiros da empresa. Para efetuar tal análise, é necessário previamente conhecer os ativos e passivos financeiros para o ano desejado. Abaixo, encontram-se estes levantamentos estimados para a empresa LEDJed LTDA., no ano de 2013.

O ativo circulante representa os bens e direitos que possuem liquidez em curto (até 365 dias). Como exemplos, pode-se citar o próprio dinheiro em caixa, os valores das contas em bancos, os estoques, e as contas a receber.

$$\begin{aligned}
 \textit{Ativo Circulante} &= \textit{Caixa} + \textit{Estoque} + \textit{Contas a Receber} \\
 &= \text{R\$ } 237.930,32 + \text{R\$ } 2.010.960,00 + \text{R\$ } 3.171.000,00 \\
 &= \text{R\$ } 5.419.890,32
 \end{aligned}$$

Equação 1 - Ativo Circulante

O passivo circulante, por sua vez, são as obrigações da empresa em curto prazo. Seriam exemplos as contas a pagar (Empréstimos de curto prazo, custos de fabricação), os salários e os impostos.

$$\begin{aligned}
 \textit{Passivo Circulante} &= \textit{Contas a Pagar} + \textit{Despesas} + \textit{Impostos} \\
 &= \text{R\$ } 2.229.499,36 + \text{R\$ } 242.100,00 + \text{R\$ } 634.200,00 \\
 &= \text{R\$ } 3.105.799,36
 \end{aligned}$$

Equação 2 - Passivo Circulante

Há de se considerar também o ativo permanente, em que se consta os imóveis, veículos e equipamentos. São ativos realizáveis em longo prazo, sujeitos a depreciação.

$$\begin{aligned}
 \textit{Ativo Permanente} &= \textit{Veículo} + \textit{Equipamentos} \\
 &= \text{R\$ } 25.000,00 + \text{R\$ } 6.000,00 \\
 &= \text{R\$ } 31.000,00
 \end{aligned}$$

Equação 3 – Ativo Permanente

Por fim, o Passivo Exigível em Longo Prazo representa as obrigações da empresa em um período maior que 365 dias, podendo se aplicar o pagamento do empréstimo no ano de 2015.

$$\begin{aligned}
 \textit{Passivo a Longo Prazo} &= \textit{Empréstimos a Longo Prazo} \\
 &= \text{R\$ } 218.539,36
 \end{aligned}$$

Equação 4 – Passivo a Longo Prazo

A partir destes tópicos apresentados, é possível aferir alguns indicadores financeiros da empresa, com base nos resultados estimados no ano de 2014.

O primeiro deles, a Liquidez Corrente (LC), indica a capacidade de pagamento da empresa em curto prazo. Para esta análise, considera-se a razão entre o ativo circulante e o passivo circulante, realizáveis a curto prazo.

$$LC = \frac{\text{Ativo Circulante}}{\text{Passivo Circulante}} = \frac{R\$ 5.419.890,32}{R\$ 3.105.799,36} = 1,75$$

Equação 5 – Liquidez Corrente

Ou seja, para cada real que a empresa possui como obrigações de realização de curto prazo, ela possui R\$ 1,75 como bens e direitos de curto prazo. Existe outro indicador de liquidez em curto prazo, a Liquidez Seca (LS), a qual debita o estoque do ativo circulante no cálculo da liquidez corrente.

$$LS = \frac{\text{Ativo Circulante} - \text{Estoques}}{\text{Passivo Circulante}} = \frac{R\$ 5.419.890,32 - 2.010.960,00}{R\$ 3.105.799,36} = 1,10$$

Equação 6 – Liquidez Seca

Ou seja, excluindo o estoque, para cada real que a empresa possui como obrigações de realização de curto prazo, ela possui R\$ 1,10 como bens e direitos de curto prazo.

O próximo indicador é a Liquidez Geral (LG), a qual mostra a capacidade de pagamento da empresa em longo prazo. São considerados os direitos e obrigações da empresa de curto e longo prazo.

$$LG = \frac{\frac{\text{Ativo Circulante} + \text{Realizável a Longo}}{\text{Prazo}}}{\frac{\text{Passivo Circulante} + \text{Exigível a Longo}}{\text{Prazo}}} = \frac{R\$ 5.419.890,32 - R\$ 31.000,00}{R\$ 3.105.799,36 - R\$ 218.539,36} = 1,87$$

Equação 7 – Liquidez Geral

Ou seja, para cada real que a empresa possui como obrigações de realização de curto e longo prazos, ela possui R\$ 1,87 como bens e direitos.

4.8.4 ANÁLISE DO PONTO DE EQUILÍBRIO

O Ponto de Equilíbrio, usualmente denominado como Break-Even Point, indica o ponto em que a soma dos custos e despesas é igual ao das receitas provindas.

Considerando as expectativas de vendas apresentadas anteriormente, é possível estimar o ponto de equilíbrio. O quadro abaixo mostra as receitas e gastos citados anteriormente, com um adicional do acumulado aos anos anteriores.

[R\$]	2013	2014	Acumulado	2015	Acumulado
Receita Bruta	474.000,00	3.171.000,00	3.645.000,00	7.890.000,00	11.535.000,00
Despesas	102.000,00	242.100,00	344.100,00	342.400,00	686.500,00
Impostos	94.800,00	634.200,00	729.000,00	1.578.000,00	2.307.000,00
Custos de Produção	359.100,00	2.010.960,00	2.370.060,00	5.530.140,00	7.900.200,00
Juros	2.081,55	11.656,69	13.738,24	32.055,89	45.794,13
Total Gastos	557.981,55	2.898.916,69	3.456.898,24	7.482.595,89	10.939.494,13

Quadro 10 - Receitas e Gastos Acumulados.

Fonte: Autoria própria

No gráfico abaixo, observa-se a evolução das receitas e dos gastos acumulados neste período.

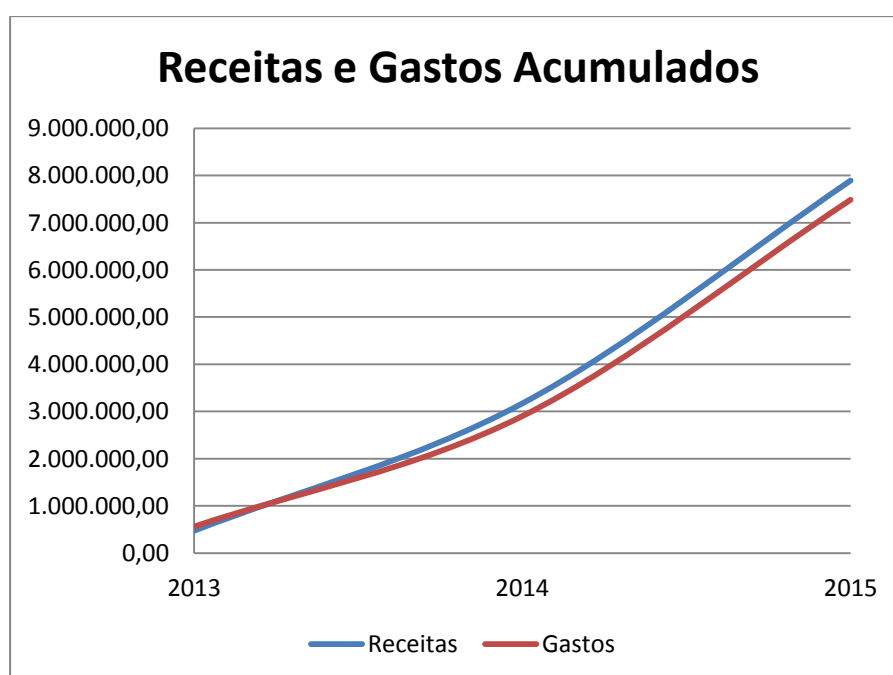


Gráfico 1 - Evolução das Receitas e Gastos Acumulados.

Fonte: Autoria Própria

É possível prever, através do gráfico, que o investimento na empresa passará a ser rentável a partir do segundo semestre de 2013. Neste ponto, observa-se que as receitas acumuladas igualam-se aos gastos acumulados.

4.8.5 PROJEÇÃO DO RESULTADO

Mostra-se a seguir, o demonstrativo de resultados referente aos três primeiros anos de operação da LEDJed LTDA..

[R\$]	2013	2014	2015
RECEITA BRUTA	474.000,00	3.171.000,00	7.890.000,00
Impostos	-94.800,00	-634.200,00	1.578.000,00
RECEITA LÍQUIDA	379.200,00	2.536.800,00	6.312.000,00
Custo do Produto	-359.100,00	2.010.960,00	5.530.140,00
RESULTADO BRUTO	20.100,00	525.840,00	781.860,00
Despesas	-102.000,00	-242.100,00	-342.400,00
RESULTADO OPERACIONAL	-81.900,00	283.740,00	439.460,00
Contribuição Social	-	-25.536,60	-39.551,40
Imposto de Renda	-	-42.561,00	-65.919,00
RESULTADO LÍQUIDO	-81.900,00	215.642,40	333.989,60

Quadro 11 - Projeção do resultado da empresa nos três primeiros anos de operação.
Fonte: Autoria própria

Portanto, estima-se que o resultado líquido da LEDJed LTDA., será de R\$ 333.989,60 no final de 2015.

Abaixo, segue o gráfico do resultado líquido para os três primeiros anos de operação:

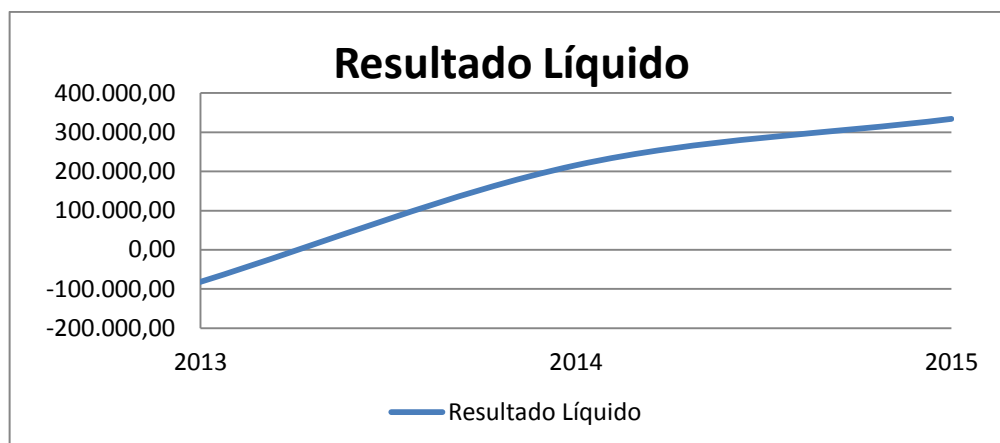


Gráfico 2 - Evolução do Resultado Líquido da empresa nos três primeiros anos de operação.
Fonte: Aatoria Própria

4.8.6 PROJEÇÃO DO FLUXO DE CAIXA

O Fluxo de caixa consiste na estimativa de entradas e saídas da empresa ao longo de determinado período de tempo. Assim, tem-se como objetivo avaliar a viabilidade econômica do projeto.

[R\$]	2013	2014	2015
Saldo Anterior	-40.900,00	237.930,32	235.033,36
Resultado Anual	-81.900,00	215.642,40	333.989,60
Empréstimo	470.000,00	-	-
Juros	-109.269,68	-218.539,36	-218.539,36
RESULTADO ACUMULADO	237.930,32	235.033,36	350.483,60

Quadro 12 - Projeção do fluxo de caixa da empresa nos três primeiros anos de operação
Fonte: Aatoria Própria

Abaixo, segue o gráfico do fluxo de caixa para os três primeiros anos de operação.

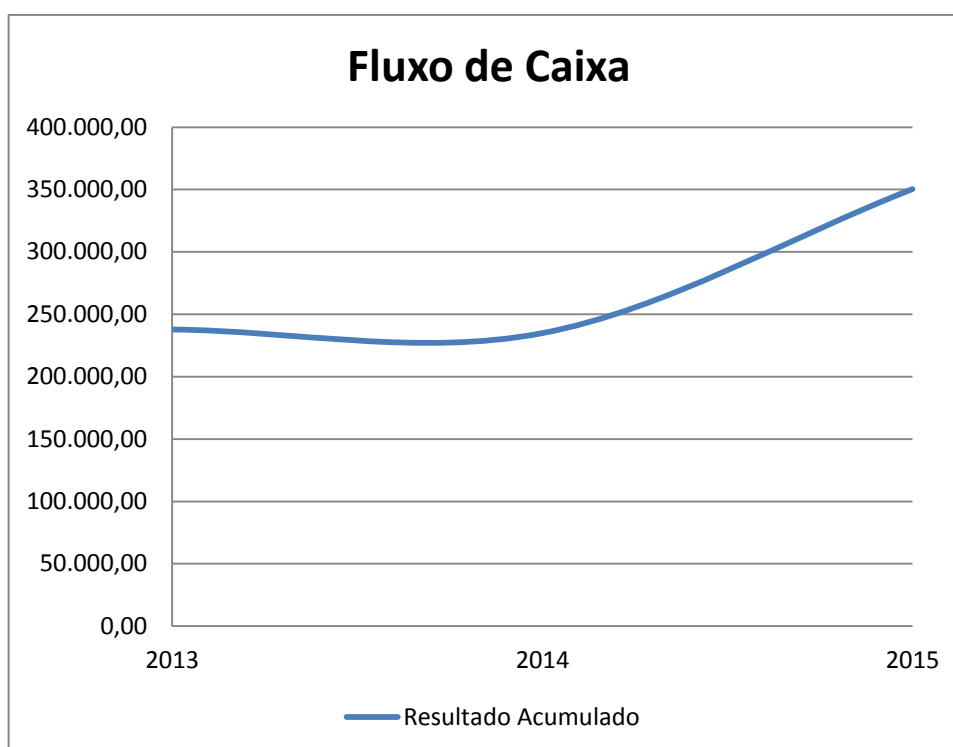


Gráfico 3 - Projeção do fluxo de caixa da empresa nos três primeiros anos de operação.
Fonte: Autoria Própria

4.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nesse plano de negócios apresentado, é possível apontar a viabilidade deste projeto como venda ou aluguel de um produto.

Tecnicamente, o negócio será viável. Todo o conjunto técnico do projeto desenvolvido cumpre com as especificações que foram propostas. Os resultados obtidos em laboratório mostraram bom desempenho e luminosidade indoor. Ao longo do tempo, novas funcionalidades serão inseridas na plataforma e software.

No aspecto mercadológico, o negócio também se apresenta viável. Conforme a análise de mercado feita, o mercado regional de iluminação decorativa para eventos ainda é escasso, ou quase nulo, sendo um fator principal para a procura de casas noturnas e eventos de formatura atrás da solução proposta pela ILTEL. Até o final de 2015 estima-se que serão vendidas plataformas para 25 estabelecimentos e alugadas para mais 85.

Analisando as questões econômicas e financeiras, as projeções apresentadas anteriormente também indicam que o negócio é viável. Mesmo sendo necessário um investimento inicial de R\$ 470.000,00 para a fabricação das plataformas e estabilização da LEDJed LTDA. em Curitiba, através de empréstimo bancário, e a análise do primeiro balanço demonstrando um prejuízo de R\$ 81.900,00, a LEDJed LTDA. passará a gerar lucro a partir do primeiro semestre de 2014, chegando a um fluxo de caixa de R\$ 350.483,60 no final de 2015.

Por fim, esses três aspectos indicam a viabilidade do projeto.

5 CONCLUSÃO

Com a finalização deste projeto, foi possível a assimilação de vários conceitos abordados no decorrer do curso de Engenharia Industrial Elétrica com Ênfase em Eletrônica e Telecomunicações da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O desafio envolvido em implementar uma plataforma de iluminação, baseada em matrizes de LEDs RGB microcontrolados, foi encorajador para os integrantes da equipe.

Este relatório integrou todos os conceitos utilizados para a elaboração do projeto, bem como os procedimentos utilizados e a descrição dos módulos desenvolvidos.

Três grandes motivações foram a base para a realização deste projeto. A primeira foi o caráter multidisciplinar do projeto. Conforme percebido ao longo do curso, quer tenha sido nas atividades de laboratório ou no dia a dia no mercado de trabalho, a eletrônica não é uma ciência auto-suficiente. Apesar de fascinante, percebe-se o seu real valor quando conjugada a outras ciências. Sem o conhecimento da teoria das cores, dos mecanismos fisiológicos da visão como persistência visual e do fenômeno de ordem psíquica conhecida como o efeito PHI, não haveria um norte definido para orientar questões como quantidade adequada de informação de cor para acender um pixel, taxa apropriada de atualização dos módulos da matriz para criação de quadros de imagens e percepção de movimento. A segunda motivação foi a integração dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso. Os conhecimentos de programação orientada a objetos foram fundamentais para o uso do framework QT, ferramenta utilizada para tratamento dos sinais visuais. Os conhecimentos de eletrônica digital e sistemas embarcados foram vitais para desenvolver a lógica e programação da interação entre o microcontrolador e o painel de LED. As ferramentas das cadeias de gestão como gerência de projetos foram fundamentais para levantar os requisitos do projeto, divisão de atividades e alocação de tempo e recursos, apesar da negligência em alguns destes itens e impactos no projeto. A terceira motivação foi a possibilidade de trabalhar com LEDs. Quanto mais se aprofundavam as pesquisas, mais fascinante o tema se tornava, desde as técnicas de acionamento e controle até o impacto ambiental do ciclo de vida do LED. É realmente um “admirável mundo novo” de possibilidades que se abrem com o seu

domínio, permitindo o desenvolvimento de produtos voltados para iluminação, decoração e entretenimento.

Apesar do impacto causado pelo projeto, o mesmo pode ser resumido na maneira pela qual os LEDs são endereçados para formação de imagens. O primeiro aspecto importante do projeto foi a maneira pela qual os LEDs recebem a informação de cor. É natural pensar no uso de PWM para acionamento e controle de brilho de LEDs. Segundo Batsocks (2009) “...*the problem is that Hardware PWM channels are limited in number (they're similar to jelly-beans in that manner you can never have enough)*...” (o problema é que canais de PWM são limitados em número – assim como jujubas, você nunca tem o suficiente). Após a identificação da escassez de PWM para acionamento dos LEDs, os estudos conduziram para o uso da técnica PCM modificada, tratando as informações de cores como estados de cores que podem ser representadas no espaço das cores RGB. Esta abordagem permite um novo tratamento do sinal da cor, permitindo inclusive uso de técnicas de multiplexação para adequada exibição das cores.

Como a imagem deveria ser exibida numa matriz, ficou claro que as linhas deveriam ser endereçadas e o conteúdo das suas posições informado via shift register e latch, usando drivers de corrente. Neste momento surgiu a segunda grande barreira do projeto, que consistiu em um novo aspecto importante. Fisicamente haveria um emaranhado de fios em função da quantidade de LEDs RGB a serem endereçados. Novas pesquisas conduziram ao painel utilizado, que consiste basicamente num shift register, latch e driver de corrente. Resolvida esta questão foi necessário desenvolver a lógica mais apropriada para acionamento no painel de modo que as imagens fossem exibidas de maneira coerente e sem a presença de flicker.

O terceiro ponto de destaque foi o tratamento do sinal a ser exibido. Apesar do avanço dos estudos para tratamento de imagens e vídeos, a descoberta da ferramenta open source QT desonerou a equipe da responsabilidade de desenvolver código para a aquisição da informação de cor a ser enviada para cada pixel. Foi uma lição valiosa que mostrou que muitas vezes o mercado possui ferramentas viáveis e de fácil acesso, conferindo assim agilidade ao processo de desenvolvimento de um produto.

O projeto foi fundamental para gerar ativos de conhecimento sobre o LED. As aplicações e vantagens do seu uso são inúmeras como longo ciclo de vida, grande

resistência mecânica, baixo consumo de energia, baixa dissipação de potência além do apelo de tecnologia verde, muito valorizada hoje em dia.

A Figura 47 mostra um gráfico teia criado pelo departamento de energia americano mostrando o impacto em 15 áreas diferentes do uso de lâmpadas incandescentes (Inc), lâmpadas incandescentes compactas (CFL), LED em 2012 e os LEDs disponíveis em 2017. Quanto mais afastado do centro maior o impacto negativo.

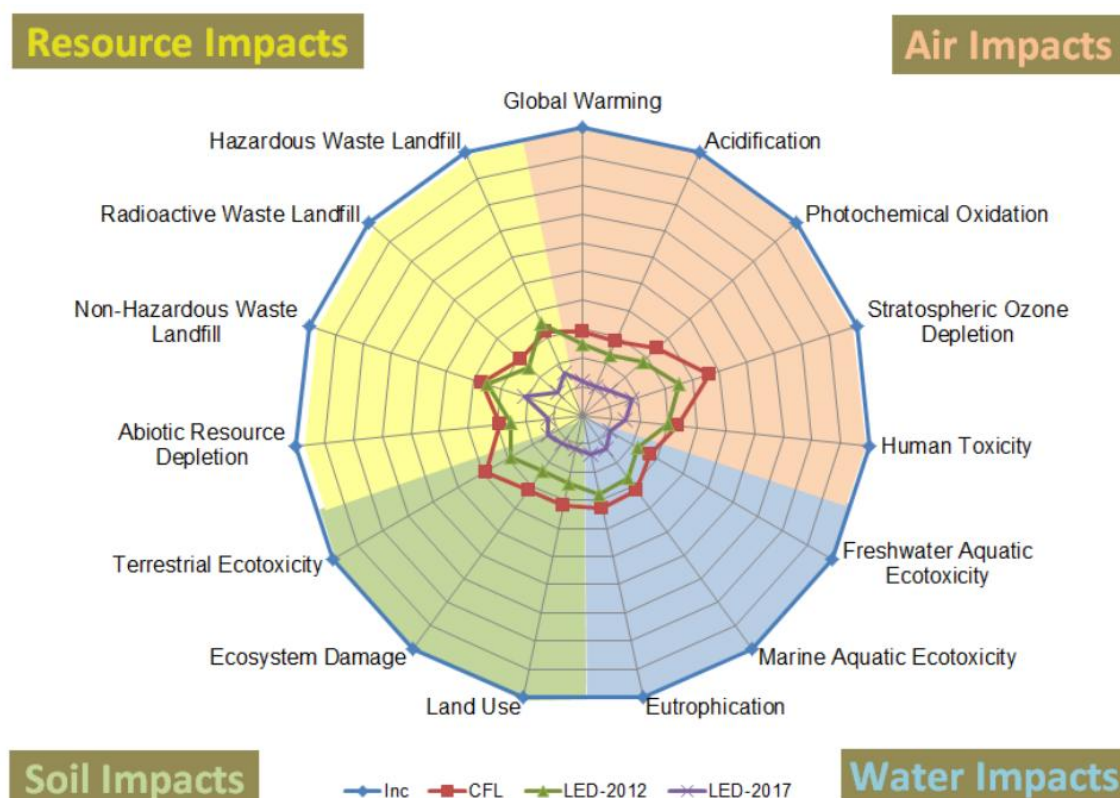


Figura 47 – Avaliação do impacto do ciclo de vida das lâmpadas em relação à lâmpada incandescente.

Fonte: (USENERGYDEPARTMENT,2012)

O uso do LED cria a sensação de peça única ao produto desenvolvido. Esta percepção leva o consumidor a substituir o bem ao invés de tentar concertá-lo na ocasião de defeito, agregando assim mais valor ao produto (PHILIPS,2010).

Quanto ao plano de negócios, estima-se um portfólio de 66 clientes no período de 24 meses, o que equivale a aproximadamente 30% das casas noturnas da capital paranaense. Estima-se que, no final deste período, tenham sido vendidos 240 m² do piso e alugados 750 m², gerando uma receita de R\$ 3.645.000,00. De acordo com os estudos, o custo de produção é R\$ 2.280,00 por metro quadrado, enquanto que o

valor de venda e locação é R\$ 13.000,00 e R\$ 700,00 o metro quadrado, respectivamente.

Para o exercício de 2013, estima-se uma liquidez corrente de 1,75 e liquidez seca de 1,10, indicando que mesmo descontando os estoques, a empresa tem condições de honrar seus compromissos de curto prazo, implicando num capital de giro líquido positivo. Já o indicador de liquidez geral, que indica capacidade da empresa de honrar compromissos de longo prazo, possui índice de 1,87. De acordo com o Gráfico 1 do capítulo anterior, atinge-se o *Break-Even* ainda no primeiro ano apesar do empréstimo de R\$ 470.000,00 e prospecta-se um resultado líquido de R\$ 215.642,40 para o final de 2014 e de R\$ 333.989,60 para o final do exercício de 2015. Assim, é possível concluir que é viável a criação da empresa e investimento no promissor mercado de produtos baseados em LED.

APÊNDICE A – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO LED

Uma vez que o projeto é baseado em uma matriz de leds optou-se por enfatizar o processo de eletroluminescência, que é o mecanismo pelo qual o LED emite luz.

Um diodo eletroluminescente é um dispositivo semicondutor que emite radiação óptica quando estimulado por uma corrente elétrica. Por radiação óptica entende-se emissão de frequências na faixa do espectro visível. Os dispositivos que obedecem a tal critério são conhecidos como diodos emissores de luz, tradução direta do inglês do termo “light emitting diode”, do qual deriva o acrônimo LED (GOOCH, 1973, p.1).

As primeiras observações de eletroluminescência foram obtidas a partir de experiências com detectores de ondas de rádio. Em 1907 o britânico Henry Joseph Round, assistente pessoal de Guglielmo Marconi, verificou que luzes amarelas eram produzidas ao passar corrente por um detector de carbeto de silício (SiC) (GOOCH, 1973, p.2).

A Figura 48 abaixo traz um excerto a respeito do primeiro relato conhecido sobre a emissão de luz a partir de diodos, publicado por Round em 1907 na *Electrical World*:

A Note on Carborundum.

To the Editors of Electrical World:

SIRs:—During an investigation of the unsymmetrical passage of current through a contact of carborundum and other substances a curious phenomenon was noted. On applying a potential of 10 volts between two points on a crystal of carborundum, the crystal gave out a yellowish light. Only one or two specimens could be found which gave a bright glow on such a low voltage, but with 110 volts a large number could be found to glow. In some crystals only edges gave the light and others gave instead of a yellow light green, orange or blue. In all cases tested the glow appears to come from the negative pole, a bright blue-green spark appearing at the positive pole. In a single crystal, if contact is made near the center with the negative pole, and the positive pole is put in contact at any other place, only one section of the crystal will glow and that the same section wherever the positive pole is placed.

There seems to be some connection between the above effect and the e.m.f. produced by a junction of carborundum and another conductor when heated by a direct or alternating current; but the connection may be only secondary as an obvious explanation of the e.m.f. effect is the thermoelectric one. The writer would be glad of references to any published account of an investigation of this or any allied phenomena.

NEW YORK, N. Y.

H. J. ROUND.

Figura 48 - Carta de Round à *Electrical World*, em 1907, informando a verificação do fenômeno de eletroluminescência
 Fonte: (ECSE,2013)

Resultados similares e de maneira independente foram relatados pelo russo Oleg Vladimirovich Lossev em 1923 ao trabalhar com detectores de carborundo. Lossev realizou estudos sistemáticos a respeito deste efeito e os publicou numa série de 16 artigos entre 1924 e 1930. Lossev compreendeu a natureza não térmica

da emissão da luz, mediu os limites de corrente, reconheceu que o efeito observado estava associado ao processo de retificação além de medir as características de tensão-corrente do dispositivo em detalhes, como mostrado na Figura 49. Também teve uma patente reconhecida em 31 de dezembro de 1929, “Light Relay”, que resumidamente propunha usar o efeito para modular comunicação telefônica e transmissão de imagens, o que poderia ter sido o início da revolução das telecomunicações fotônicas (ZHELUDEV, 2007).

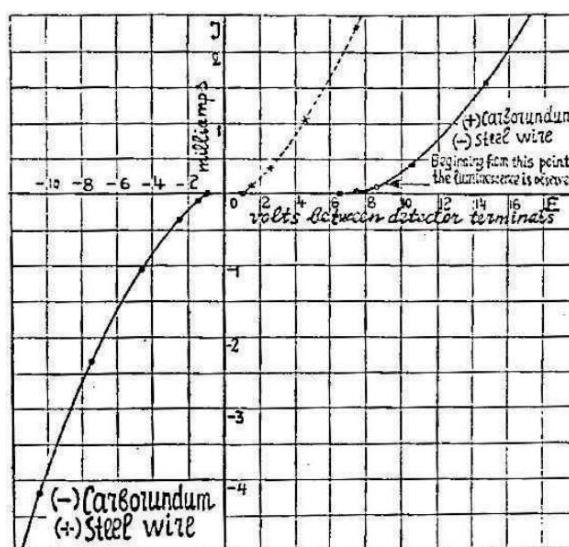


Figura 49 Curva tensão-corrente levantada por Lossev indicando tensão de emissão de luz-1928.

Fonte: (ZHELUDEV, 2007).

Apesar de toda pesquisa e patentes registradas por Lossev, passaram-se várias décadas sem uma utilidade prática para as suas descobertas até que, em 01 de dezembro de 1962, Nick Holonyak Jr publicou no “Applied Physics Letters” o primeiro espectro de radiação na faixa visível de um LED vermelho, mostrado na Figura 50 o que lhe conferiu o título de pai do LED (LEMENSON-MIT,2007).

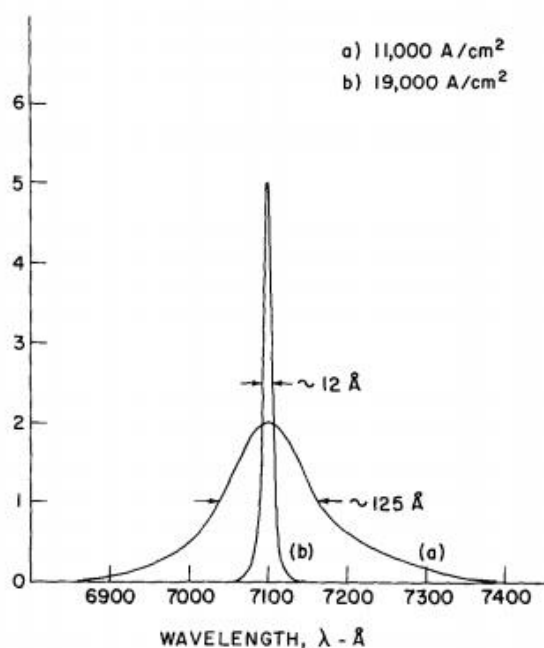


Figura 50 - Espectro obtido à partir do primeiro LED, na faixa do vermelho, por Nick Holoniack Jr em 1962.

Fonte: (NICK,2004)

Até 1968 o LED tinha pouca utilidade em função do seu custo: cada unidade chegava a custar U\$200,00 em média (SCHUBERT, 2003, p.1).

A compreensão do mecanismo do efeito de Lossev deriva do trabalho de Lehovec, Accardo e Jamgochian, que propuseram o modelo baseado no diagrama de bandas de uma junção p-n. Neste modelo, de uma maneira simplificada, elétrons são injetados numa junção p-n polarizada diretamente e se combinam com lacunas da região p da junção. (GOOCH, 1973, p.2). Para os diodos de silício e germânio a energia liberada é transferida para o cristal sob a forma de calor. Já para outros semicondutores que utilizam gálio, arsênio ou fósforo, o LED permite que essa energia seja dissipada na forma de onda eletromagnética dentro do espectro visível (MILLMAN et al., 1981, p.79), como mostrado na Figura 51, podendo assumir as cores vermelho, verde, amarelo, azul e laranja para os LEDs monocromáticos além de permitir combinação das cores primárias para criação de outras cores nos LEDs RGBs (MALVINO,1987, p114).

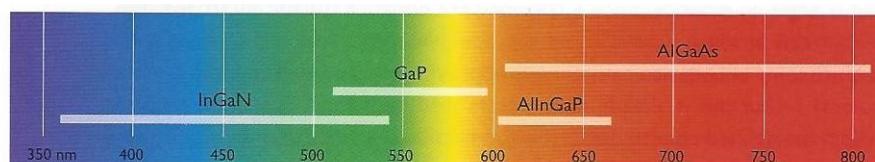


Figura 51 -Espectro para LEDs monocromáticos e seus respectivos materiais.
Fonte: (PHILIPS,2010)

Essa emissão de energia eletromagnética é protagonizada pelo fóton, que é emitido quando acontece a recombinação, encontro do elétron com a lacuna. A recombinação ocorre quando o elétron sai da banda de condução em direção à banda de valência sendo a energia desse processo integralmente convertida em um quantum de radiação. O comprimento de onda desta radiação de energia é dada de acordo com a equação abaixo, onde h é a constante de Planck e c é a velocidade da luz.

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$$

A cor é definida pelo comprimento de onda da energia irradiada, de acordo como e espectro eletromagnético apresentado na figura anterior.

Recombinação

Vários são os processos de recombinação possíveis quando os elétrons que foram repelidos da região n encontram as lacunas no lado p de uma junção p-n diretamente polarizada. O processo de recombinação pode ser radiante ou não radiante. A energia emitida do processo radiante se manifesta na forma de fótons (luz) enquanto que a energia não radiante se manifesta na forma de fônons (calor).

Um dos processos é a recombinação banda-a-banda. Trata-se da recombinação do elétron na extremidade inferior da banda de condução com a lacuna na extremidade superior da banda de valência. A energia do fóton é aproximadamente igual à diferença de energia entre as bandas de condução e valência do cristal. Este mecanismo de recombinação radiante é predominante em materiais tipo direct band gap, como o GaAs (HP, 1977, p.3) e ilustrado na Figura 52.

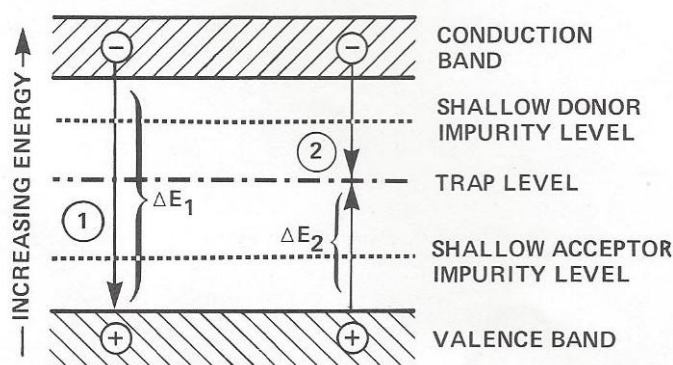


Figura 52 - (a) Recombinação banda-a-banda (b) Recombinação por centros iso-eletrônicos. Fonte: (HP, 1977).

Outro processo de recombinação radiativa ocorre na formação e eliminação de um salto energético em um centro iso-eletrônico. Centros iso-eletrônicos, associados a impurezas específicas no cristal, normalmente são neutros apesar de introduzirem um potencial local que se torna atrativo para os elétrons. Desta maneira é possível a presença de elétron na região anteriormente proibida entre a banda de valência e a banda de condução. Para materiais do tipo p, um elétron injetado é preso neste centro que, agora carregado negativamente captura um lacuna da banda de valência. A aniquilação deste par elétron-lacuna emite um fóton com energia igual diferença de energia entre as bandas de valência e condução menos a energia que aprisiona o elétron injetado. Este mecanismo de recombinação radiativa é predominante em materiais tipo indirect band-gap como o GaP. (HP, 1977, p.5)

Direct e Indirect band gap

Na recombinação, os processos radiativos e não radiativos estão em constante competição. Os semicondutores luminescentes são aqueles que apresentam maior probabilidade de transições radiativas ocorrendo numa determinada faixa do espectro e que apresentam menor probabilidade de ocorrência de transição não radiativa.

Em relação à estrutura de banda, os semicondutores podem ser divididos em duas classes: direct band gap e indirect band gap.(sem tradução)

O diagrama abaixo, que mostra a energia do elétron/lacuna em relação ao momento, ilustra a diferença entre estas duas classes. As energias representadas fazem menção à energia da banda de valência e da banda de condução.

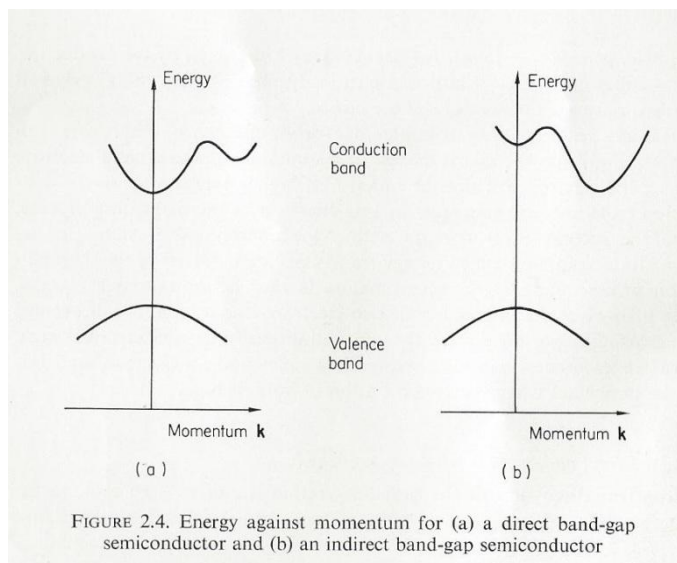


Figura 53 - Energia em função do momento (a) material direct band gap (b) material indirect band gap.

Fonte: (GOOCH, 1973).

Materiais com características direct band gap, para um dado valor do momento, apresentam o mínimo valor de energia da banda de condução e o máximo valor na banda de valência. Isto implica que quando um elétron da banda de condução se recombina com uma lacuna da banda de valência um fóton é emitido, conservando o total do momento do sistema. Este é o tipo de recombinação com maior probabilidade de ocorrer.

Para materiais com características indirect band gap, o valor máximo de energia da banda de valência e o valor mínimo de energia da banda de condução não ocorrem para um mesmo valor do momento. Em situações como essas o processo de recombinação emitindo fóton não conservaria o momento, o que é inadmissível pela teoria da conservação do momento. Esta diferença então é absorvida pela rede de cristais, onde estados vibracionais são quantizados na forma de fônons. Vale lembrar que esse processo envolve níveis de energia maiores do que os requeridos no direct band gap. Qualitativamente, isto implica que a recombinação neste modelo ocorrem com menor probabilidade se comparada com o direct band gap. A probabilidade de recombinação desses dois casos diferem na ordem de grandeza de 10⁷.

Apesar disso verifica-se no mercado LEDs feitos de materiais com características de indirect band gap como o GaP. Isso é possível em função de adição de impurezas de modo a permitir a conservação do momento durante a

recombinação. Ambas abordagens são válidas e usadas para criação de dispositivos eletroluminescentes (GOOCH, 1973, p.11-14).

APÊNDICE B – CIRCUITO PAINEL DE LED

REFERÊNCIAS

ANAMORFIA. **Teoria da cor: a cor e suas propriedades.** Disponível em: <<http://www.anamorfia.com/teoria-da-cor-a-cor-e-suas-propriedades/>> Acesso: 02 abr. 2013.

ARTISTIC. **App Note 11:An overview of the electronic drive techniques for intensity control and colour mixing of low voltage light sources such as LEDs and LEPs.** Disponível em: <<http://www.artisticlicence.com/WebSiteMaster/App%20Notes/appnote011.pdf>> Acesso: 28 abr. 2013.

ASHDOWN. **Extended parallel pulse code modulation of LEDs.** Disponível em: <<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=1291536>>. Acesso: 10 abr. 2013.

AUMONT, J. **A imagem.** Campinas: Papirus. 2004.

AZOCLEANTECH. **Recycling of LED Lights.** Disponível em: <<http://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=249>>. Acesso: 25 ago. 2012.

BACKSTAGE. **TECNOLOGIA DE LED é a tendência de iluminação no Brasil.** Disponível em: <http://www.backstage.com.br/newsite/ed_ant/materias/146/Leds.pdf>. Acesso: 03 abr. 2013.

Batsocks. **LED dimming using Binary Code Modulation.** Disponível em: <http://www.batsocks.co.uk/downloads/art_bcm_01.pdf>. Acesso: 28 abr. 2013.

CAMBRIDGEINCOLOUR. **BIT DEPTH TUTORIAL.** Disponível em:<<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/bit-depth.htm>>. Acesso: 02 abr. 2013.

CAMPOS, Marcelo Aguiar de. **Claritek soluções em energia, Eficiência Energética: Iluminação Led.** Disponível em: <<http://www.sme.org.br/arquivos/pdf/SMEEFICIENCIAENERGETICA.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2011.

CEPSRM. **Página dinâmica para Aprendizado de Sensoriamento Remoto.** Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/formcor.html>>. Acesso em: 16 abri. 2013.

DATASHEETDIR. Disponível em: < <http://www.datasheetdir.com/Modulation-Techniques-For-Led-Dimming+Application-Notes>>. Acesso em: 10 abr. 2013.

ECSE. Disponível em: <<http://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/chap01/F01-01%20Round%20Schottky%20LED.jpg> >. Acesso em: 02 abri. 2013.

ECYCLE. **Lâmpadas LED podem ser recicladas?** Disponível em: <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/49-lampadas/685-lampadas-led-podem-ser-recicladas.html>> Acesso: 18 mai. 2011.

EXPLICATORIUM. **O olho humano.** Disponível em: <http://www.explicatorium.com/CFQ8/Luz_Olho_humano.php>. Acesso: 03 abri. 2013.

FOLEY, J. D.; VAN DAM, A.; FEINER, S.K.; HUGHES, J. F. **Computer graphics: principles and practice.** Reading, MA: Addison-Wesley. Página 1176, 1990.

FRANCO, Gilberto. **Iluminação Residencial.** Disponível em: <<http://www.tokstok.com.br/app?page=MostraJeito&service=page&ps=4,41,51292,51295>>. Acesso em: 19 out. 2011.

GODOY, P.; STILLER, E. **Técnica, experiência e criatividade interagem no design da iluminação.** São Paulo: Projeto Design, 2000.

GOOCH, C. H. **Injection Electroluminiscent Devices.** John Wiley & Sons LTD,1973.

GRAND ILLUSIONS. **Persistence of Vision, by Stephen Herbert.** Disponível em: <http://www.grand-illusions.com/articles/persistence_of_vision/> Acesso em: 03 abri. 2013.

HP. **Optoelectronics Applications Manual.** Hewlett-Packard Company, 1977.

HOBBYPCB. **16x32 rgb led matrix blog series.** Disponível em : <<http://www.hobbypcb.com/blog/item/2-16x32-rgb-led-matrix-blog-series.html> >. Acesso em: 16 mar. 2013.

IBGE. Disponível em: <http://estados.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=pr&tema=sinopse_censodemog2010>. Acesso em: 01 mai. 2011.

INEE. Instituto Nacional de Eficiência energética. Disponível em: <http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia>. Acesso em: 20 mai. 2011.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Semáforo plano de leds é mais leve e reduz custos de instalação e manutenção.** Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010115070913>> Acesso em: 20 mai. 2011.

LEMENSON-MIT. **Nick Holonyak, Jr. 2004 Lemelson-MIT Prize Winner.** Disponível em: <<http://web.mit.edu/invent/a-winners/a-holonyak.html>>. Acesso em: 03 abri. 2007.

LED. Disponível em: <<http://www.hebeiltd.com.cn/led.datasheet/540R2GBC-CC.pdf>>. Acesso em: 08 abri. 2013.

LIGHTWELL. **P6(ph6) 3528/5050 3in1 1r1g1b smd indoor full color led module(epistar,cree,silan,opto).** Disponível em : <http://lightwell.en.alibaba.com/product/641637712-214364932/P6_ph6_3528_5050_3in1_1r1g1b_smd_indoor_full_color_led_module_epistar_cree_silan_opto_.html?tracelog=cgsotherproduct1> Acesso em: 28 mar. 2013.

MALVINO. **ELETRÔNICA, Volume 1.** São Paulo: McGraw-Hill. Página 114,1987.

MERCADOLIVRE. Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-468918933-estruturas-de-aluminio-p25-somente-250-reais-o-metro-_JM>. Acesso em: 28 abri. 2013.

MILLMAN, J.;HALKIAS C.C.; **Eletrônica: dispositivos e circuitos elétricos. Volume 1.** São Paulo: McGraw-Hill. Página 79, 1981.

NICK. Disponível em: <<http://scitation.aip.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&id=APPLAB000001000004000082000001&idtype=cvips&doi=10.1063/1.1753706&prog=normal&bypassSSO=1>>. Acesso em: 28 mar. 2013.

PERCEBENDO A LUZ. **Como Funciona a Visão.** Disponível em: <<http://saude.hsw.uol.com.br/visao2.htm>>. Acesso em: 02 abri. 2013.

PHILIPS. **LED LIGHT EXPLAINED.** Página 13, 2010.

PHOTONET. **Color Vision.** Disponível em : <<http://photo.net/learn/optics/edscott/vis00010>>. Acesso em: 02 abri. 2013.

PRINCÍPIOS DE CINEMATOGRAFIA. **Apostila de Cinematografia.** Disponível em: <http://www.mnemocine.art.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=52&limit=5&order=name&dir=ASC&Itemid=72>. Acesso em: 03 abri. 2013.

SCHUBERT, E. F. **Light-Emitting Diodes.** Cambridge University Press. Página 1, 2003.

SOUTO, Roberto Pinto. **Segmentação de imagem multiespectral utilizando-se o atributo matiz.** São José dos Campos: INPE, 2000. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/pgsere/Souto-R-P-2000/publicacao.pdf>>. Acesso em: 16 abri. 2013.

STM32F4. **Product Specifications.** Disponível em: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/data_brief/DM00037955.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2013.

USENERGYDEPARTMENT. **Life-Cycle Assesment os Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products.** Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/2012_led_lca-pt2.pdf>. Acesso em: 20 abri. 2013.

VISUAL PERCEPTION. **The World of Visual Arts and Aesthetics: Its Functions and Limitations.** Disponível em: <<http://www.macalester.edu/academics/psychology/whathap/ubnrp/aesthetics/perception.html>>. Acesso em: 02 abri. 2013.

WRIGHT, W. D. **The rays are not coloured. Nature.** Página 20, 1963.

ZHELUDEV, N. **The life and times of the LED: a 100-year history**. Disponível em: <<http://www.nanophotonics.org.uk/niz/publications/zheludev-2007-1tl.pdf>>. Acesso em: 02 de abri. 2013.