

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

FILIPPE TERRA DELBONI

Design, construção e uso de um *datalogger* específico para o
georeferenciamento de postes de iluminação pública

São Carlos

2017

FILIPPE TERRA DELBONI

Design, construção e uso de um *datalogger* específico para o
georeferenciamento de postes de iluminação pública

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Elétrica, da Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Maximilian Luppe

PRIMEIRA VERSÃO

São Carlos

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Tt323d Terra Delboni, Filipe
Design, construção e uso de um datalogger
específico para o georeferenciamento de postes de
iluminação pública / Filipe Terra Delboni; orientador
Maximillian Luppe. São Carlos, 2017.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

1. NBR 5101. 2. datalogger. 3. iluminação pública.
4. georeferenciamento. 5. GPS. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Filipe Terra Delboni

Título: "Design, construção e uso de um datalogger específico para o georeferenciamento de postes de iluminação pública"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 17/11/2017,

com NOTA 9,8 (nove, oito), pela Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Maximilian Luppe - Orientador - SEL/EESC/USP

Profa. Assistente Luiza Maria Romeiro Codá - SEL/EESC/USP

Prof. Associado Evandro Luis Linhari Rodrigues - SEL/EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, pais, irmão e namorada pelo apoio dado durante todas as fases da minha vida, em especial na jornada acadêmica.

Ao professor Maximilian Luppe pela atenção e orientação no decorrer desse projeto e junto à Equipe EESC USP Tupã, que muito contribuiu com a minha formação.

À Escola de Engenharia de São Carlos, seus professores e funcionários, pelo curso oferecido.

RESUMO

DELBONI, F. T. **Design, construção e uso de um datalogger específico para o georeferenciamento de postes de iluminação pública.** 2017. 79 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Esse trabalho apresenta a concepção e implementação de um sistema para o georeferenciamento de postes de iluminação pública, com o objetivo de levantar dados necessários para a elaboração de um projeto luminotécnico conforme a NBR 5101 (iluminação pública). Foi implementado um hardware especificamente desenvolvido para a aplicação, composto de módulos eletrônicos. O uso do equipamento agilizou o cadastro dos postes em campo quando comparado ao método tradicionalmente utilizado. Uma variedade de materiais produzidos com os dados gerados pelo sistema também é apresentado, ilustrando o potencial do equipamento na execução de projetos luminotécnicos.

Palavras-chave: datalogger, iluminação pública, NBR 5101, georeferenciamento, GPS.

ABSTRACT

DELBONI, F. T. Design, build and use of a specific datalogger for georeferencing of public lighting poles. 2017. 79 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

This work presents the design and implementation of a system for the georeferencing of public lighting poles, with the objective of gathering data necessary for the elaboration of a lighting project according to NBR 5101 (public lighting). A specific hardware was built for the application, made of electronic modules. The use of the equipment speeds the registering of lighting poles in the field when compared to the traditional method. A variety of materials produced with the data generated by the system is also presented, illustrating the potential of the equipment in the execution of lighting projects.

Keywords: datalogger, public lighting, NBR 5101, georeferencing, GPS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Malha de cálculo/medição de iluminância conforme NBR 5101:2012.....	26
Figura 2 – Luxímetro de mão.....	27
Figura 3 – Uma luminária por poste, sem necessidade de poste adicional.....	28
Figura 4 – Duas luminárias por poste, sem necessidade de poste adicional.....	28
Figura 5 – Uma luminária por poste e posteamento adicional na calçada.....	29
Figura 6 – Medições de iluminância e geometrias na Rua Rosa Clarícia Dias – Gov. Celso Ramos, SC.....	30
Figura 7 - Mapa das linhas isográficas atual da Rua Rosa Clarícia Dias.....	31
Figura 8 - Mapa das linhas isográficas da Rua Rosa Clarícia Dias com o mínimo exigido pela norma.....	32
Figura 9 – Modelo de GPS de mão comumente usado para o georeferenciamento de postes.....	36
Figura 10 – Câmera acoplada ao carro, permitindo a conferência posterior do tipo de poste.....	39
Figura 11 – GPS com conexão serial pela porta USB.....	40
Figura 12 – Concepção do hardware externo e dos demais equipamentos do sistema.....	41
Figura 13 – Diagrama de blocos do hardware do datalogger.....	43
Figura 14 – Módulo UP501 com destaque à antena integrada.....	46
Figura 15 – Módulo HC-06 (vista superior) com descrição da pinagem.....	47
Figura 16 – Atuação do Módulo Wifi como controle remoto da câmera.....	48
Figura 17 – Desenho do módulo Wifi ESP-12E (vista superior).....	48
Figura 18 – Receptor Super-heteródino sintonizado em 433,92Mhz usado no datalogger.....	49
Figura 19 – Descrição da pinagem de um cartão SD.....	51
Figura 20 – Conexão SPI entre o microcontrolador e o cartão SD.....	51
Figura 21 – Datalogger aberto.....	55
Figura 22 – Datalogger fechado.....	55
Figura 23 – Algoritmo de funcionamento do datalogger.....	57
Figura 24 – Navegação GPS em mapa no QGIS.....	61
Figura 25 – Informações do EXIF de um arquivo JPEG.....	62

Figura 26 – Postes da cidade de Quatá-SP.....	64
Figura 27 – Poste com uma luminária na cidade de Quatá-SP.....	65
Figura 28 – Poste sem luminária na cidade de Quatá-SP.....	65
Figura 29 – Mapa que classifica as vias da cidade de Quatá-SP.....	67
Figura 30 – Linhas isográficas de iluminância da via coletora Dr. Luis Barreto Filho com lâmpada de LED de 13000 lúmens.....	69
Figura 31 – Características de instalação do poste para a via coletora Dr. Luis Barreto Filho.....	70
Figura 32 – Vias percorridas na cidade de Registro-SP nos dois dias de coleta.....	71
Figura 33 – Navegação GPS offline feita com o software GIS e o datalogger.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe de Iluminação para cada tipo de via. Fonte: NBR 5101:2012.....	24
Tabela 2 - Iluminância média e mínima e uniformidade para cada classe de iluminação.....	25
Tabela 3 - Classe de Iluminação para cada tipo de via de pedestres.....	25
Tabela 4 - Iluminância média e mínima e uniformidade para cada classe de iluminação.....	26
Tabela 5 - Iluminância médio (Emédia), Iluminância mínima (Emín) e Fator de Uniformidade (Fator Uni.) da Rua Rosa Clarícia Dias.....	30
Tabela 6 - Classificação da Rua Rosa Clarícia Dias quanto à exigência da norma.....	31
Tabela 7 - Distribuição de lâmpadas de Iluminação Pública instaladas no Brasil (2008).....	34
Tabela 8 – Especificações do módulo GPS UP501.....	44
Tabela 9 – Mensagens NMEA de saída do módulo UP501.....	45
Tabela 10 – Estrutura da mensagem NMEA RMC do exemplo.....	45
Tabela 11 - Classe de Iluminação das Vias.....	66
Tabela 12 – Resumo das Vias Coletoras da cidade de Quatá-SP.....	68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Motivação.....	19
1.2 Objetivos.....	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 Importância da Iluminação Pública.....	21
2.2 A NBR 5101:2012.....	21
2.3 Projetos de Iluminação Pública com o Aproveitamento do Posteameto Existente..	27
2.4 Coleta de Campo dos Dados Usados no Projeto Luminotécnico.....	32
2.5 Georeferenciamento de Postes com o Equipamento Convencional.....	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 Requisitos de um Sistema Específico para a Aplicação	38
3.2 Concepção do Sistema.....	41
3.3 Design do Hardware do Datalogger.....	42
3.4 Módulo GPS.....	43
3.5 Módulo Bluetooth.....	46
3.6 Módulo Wifi.....	47
3.7 Receptor Super-heteródino.....	49
3.8 Cartão SD.....	50
3.9 Microcontrolador.....	52
3.10 Interação Humano-Computador.....	52
4 IMPLEMENTAÇÃO.....	54
4.1 Construção do Protótipo.....	54
4.1 Algoritmo do Datalogger.....	56
4.2 Escolha do Arquivo de Log.....	57
4.3 Software GIS e Navegação Offline.....	60
4.5 Geotagging das Fotos.....	62
5 RESULTADOS.....	64
5.1 Georeferenciamento dos Postes da Cidade de Quatá-SP.....	64
5.2 Postes Fotografados na Cidade de Quatá-SP.....	65
5.3 Mapa Temático da Cidade de Quatá-SP.....	66

5.4 Exemplo de Projeto Luminotécnico com os Dados Colhidos.....	68
5.5 Exemplo da Navegação Offline na Cidade de Registro-SP.....	71
5.6 Resultados Práticos.....	73
6 CONCLUSÕES.....	74
7 REFERÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

No desenvolvimento de projetos de iluminação pública, há necessidade de ir a campo para colher os dados necessários para os cenários de cálculo/simulação luminotécnicos. A coleta dos dados é feita por profissionais, demandando tempo e dinheiro. Para facilitar a coleta, e assim reduzir seus custos, propôs-se a criação de um aparelho específico.

O equipamento proposto deve ser operado por uma equipe composta por um motorista e um operador. Em um veículo, trafegam pela cidade e cadastram os postes encontrados. O sistema deve auxiliar tanto no cadastro dos postes (tipo de poste e sua posição geográfica) quanto na navegação do motorista pelas ruas da cidade. Tido como *datalogger*, grava em uma mídia física a trajetória percorrida, a posição e tipo do poste encontrado. Simultaneamente, fornece as coordenadas geográficas para um computador, que auxilia na navegação.

Para dar ao sistema a possibilidade de conferência posterior à coleta do tipo de posteamento, é utilizada uma câmera que, comandada pelo *datalogger*, tira fotos de cada um dos postes cadastrados.

Para tal, vale-se de vários módulos eletrônicos e de softwares que combinam-se em uma sistema. Destacam-se os módulos GPS para determinar a posição geográfica, módulos Bluetooth e Wifi para a comunicação com câmera e notebook, cartão SD para armazenamento dos dados, entre outros. Os softwares utilizados são úteis na navegação pela cidade, na manipulação dos dados gerados pelo hardware desenvolvido e na criação de mapas temáticos para o projeto luminotécnico.

O trabalho mostra a concepção do equipamento, detalha as diversas partes envolvidas (módulos), seu funcionamento e importância na solução. Também mostra a implementação do sistema, na construção do protótipo, no algoritmo de funcionamento e nos softwares envolvidos na sua operação.

Por fim, são mostrados exemplos de trabalhos desenvolvidos com o uso do equipamento, como o georeferenciamento de todos os postes da cidade de Quatá, um mapa temático que classifica as vias dessa cidade e um projeto luminotécnico desenvolvido para as vias locais do município.

1.1 Motivação

O projeto e dimensionamento da iluminação pública no Brasil envolve a conformidade com uma norma regulamentadora própria [1]. A NBR 5101 enumera uma série de critérios técnicos que devem ser satisfeitos para a correta iluminação de cada tipo de via. A norma visa propiciar conforto ao usuário, sem demasiado gasto com energia elétrica.

O cálculo luminotécnico tem por objetivo a determinação do modelo de luminária (tipo de lâmpada, potência da lâmpada, características do refletor e da posição de instalação)

mais adequado para o local. Para tal, são apresentados critérios de classificação das vias, de acordo com o Código Brasileiro de Trânsito. A norma associa cada tipo de arruamento a uma quantidade de luz (iluminância) e uniformidade de seu espalhamento necessárias à adequação.

Através da apresentação dos principais pontos da NBR 5101:2012 (iluminação pública), em que são discutidos os requisitos necessários para a iluminação dos diversos tipos de vias (para automóveis e pedestres), serão mostradas as principais variáveis usadas para a elaboração do projeto luminotécnico. Será aprofundada a temática da coleta de dados em campo necessária para o dimensionamento das luminárias.

No caso de um projeto de iluminação que aproveite o posteamento existente, há necessidade de ir a campo para colher os dados necessários ao cálculo luminotécnico de adequação da iluminação da via a norma [2]. A contagem dos postes, em cada via, mostra-se especialmente trabalhosa dado o número de postes de uma cidade. Deseja-se cadastrar os postes de uma maneira mais rápida e confiável, seguindo uma metodologia o mais simples possível.

A dificuldade de georeferenciar (determinar a coordenada geográfica) postes de iluminação pública com o equipamento convencional (GPS de mão e mapas de papel), motivou a criação de um sistema específico que conferisse mais agilidade e confiabilidade ao processo. O sistema envolve um hardware específico (que foi desenvolvido) e uma diversidade de softwares. Reuniram-se os requisitos necessários para um sistema específico para esse fim.

1.2 Objetivos

Desenvolver uma solução (hardware específico e uma variedade de softwares) capaz de auxiliar no georeferenciamento de postes de iluminação pública, com o objetivo de obter os dados necessários para um projeto luminotécnico conforme a NBR 5101. O hardware trata-se de um sistema microcontrolado que armazena informações obtidas de um GPS em um *log* contendo o percurso percorrido e a localização dos postes para apreciação posterior. Além disso, também comunica-se com um computador responsável pela navegação pelas ruas da cidade.

No Capítulo 2 é feita uma descrição da NBR 5101, da coleta de campo tradicional e da elaboração de um projeto luminotécnico de uma via pública. No Capítulo 3 são apresentados os requisitos do sistema a ser desenvolvido e os módulos que o compõe. O Capítulo 4 mostra a construção do protótipo, o algoritmo de funcionamento e os softwares usados na solução. O quinto capítulo mostra uma variedade de materiais produzidos com os dados obtidos com o *datalogger*, ilustrando o seu funcionamento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Além de estar ligada a segurança do trânsito no período noturno, a iluminação pública tem por objetivos reduzir a criminalidade, destaque e valorização de monumentos, embelezamento do município, hierarquizar as vias e orientar percursos [1].

2.1 Importância da Iluminação Pública

De acordo com a CIE (Comission Internationale de l'Eclairage), autoridade internacional em iluminação pública, cênica, estudo das cores e ambientação, o desenvolvimento harmonioso de projetos luminotécnicos deve valorizar a integração entre a iluminação para pedestres e automóveis, levando em conta conforto, segurança, preservação do meio ambiente e conservação energética.

Condições de pouca ou má iluminação reduzem as informações que chegam ao cérebro de maneira que a falta ou excesso de iluminação pode tornar-se perigosa, especialmente no trânsito motorizado. A boa iluminação deve prezar por níveis mínimos de luminância, sem provocar ofuscamento. Do ponto de vista da segurança e praticidade, também deve permitir o reconhecimento de pessoas a distâncias razoáveis (3 a 10 metros) [1].

No Brasil, a norma adotada referente à iluminação pública é a NBR 5101:2012. Nessa regra, as vias públicas a serem iluminadas são classificadas com base no seu uso principal (trânsito de veículos, pedestres, zonas comerciais, etc...) e intensidade de uso. A cada classificação de via são associadas as condições de luminância para que a norma seja satisfeita.

2.2 A NBR 5101:2012

A norma brasileira, enraizada na alemã DIN, define os termos técnicos pertinentes à sua implementação (relativos a características da iluminação), classifica as vias a serem iluminadas de acordo com seu propósito e intensidade de uso e estabelece requisitos mínimos para a aprovação da iluminação de uma via. Esses requisitos dizem respeito à intensidade, distribuição e cor da luz, de maneira que sejam adequados à aplicação e confortáveis ao usuário.

Das definições abordadas pela NBR 5101:2012, destacam-se:

- **Luminância:** é a quantidade de luz que incide sobre um ponto de superfície e a área dessa superfície. Está relacionada a forma com que os seres humanos percebem o

brilho de uma área iluminada. É medido em lux [lx], independente da direção do raio de luz incidente

- **Luminância:** descreve a medição da quantidade de emissão de luz que passa ou é refletida a partir de uma superfície inclinada por um ângulo. Indica o quanto a energia luminosa pode ser percebida pelo olho humano. Está associada ao brilho da luz emitida ou refletida por uma superfície. É medida em candela/metro quadrado [cd/m^2].
- **Incremento de Limiar:** é a limitação do ofuscamento perturbador ou inabilitador nas vias públicas, que afetam a visibilidade dos objetos. Seu valor percentual baseia-se no incremento de luminância necessário para tornar-se visível um objeto antes invisível pelo ofuscamento. Tem valor adimensional, em %.
- **Uniformidade de Iluminação:** pretende quantificar a qualidade da distribuição equivalente da luz em sistemas de iluminação. O conceito de uniformidade é aplicado tanto à iluminância quanto à luminância; horizontal e verticalmente.
- **Índice de reprodução de cor:** é a quantificação da comparação de uma determinada fonte de luz artificial com a luz solar. É medida numa escala artificial entre 1 e 100, sendo 100 o melhor índice de reprodução de cores, equiparado a luz solar.

A classificação das vias na NBR 5101:2012 é feita de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro. As vias urbanas, notáveis pela existência de construções às suas margens, são assim subdivididas:

- **Via local:** permite acesso às edificações e a outras vias urbanas, com grandes acessos e pequeno volume de tráfego. Interseções de nível não semaforizadas, destinadas apenas ao acesso locais ou a áreas restritas, com velocidade média de 30km/h.
- **Via coletora:** destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade, com velocidade máxima de 40km/h.
- **Via arterial:** caracterizada com interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando trânsito entre as regiões da cidade, com velocidade máxima de 60km/h.
- **Via de trânsito rápido:** caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível, com velocidade máxima de 80km/h.

As vias rurais são estradas de rodagem que nem sempre apresentam uso exclusivo do tráfego motorizado. São assim divididas:

- Rodovias: vias para tráfego motorizado, são pavimentadas, podendo ou não conter acostamento. Há tráfego de pedestres.
- Estradas: vias para tráfego motorizado, podendo ou não conter acostamentos e há tráfego de pedestres. Pode apresentar trechos classificados como urbanos. Não é pavimentada.

Embora essa nomenclatura não se encontre na regra, é comum associar as vias de trânsito rápido ao nome vias expressas e às estradas não pavimentadas, sobretudo as rurais, ao nome vias vicinais.

Ao desenvolver projetos de iluminação para logradouros, como ruas, avenidas, praças, etc, deverão ser utilizados os parâmetros da NBR 5101:2012. Para tal, é feita uma análise da malha viária existente e, juntamente com as classificações das vias conforme o Código de Trânsito Brasileiro, a via é enquadrada em uma das classes de iluminação descritas na norma, conforme as seguintes tabelas:

Descrição da Via	Classe de Iluminação
<i>Vias de Trânsito Rápido; vias de alta velocidade de tráfego, com separação de pistas, sem cruzamento em nível e com controle de acesso; vias de trânsito rápido em geral; autoestradas.</i>	
Volume de Tráfego Intenso	V1
Volume de Tráfego Médio	V2
<i>Vias Arteriais; vias de alta velocidade de tráfego com separação de pistas; vias de mão dupla com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos bem definidos; vias rurais de mão dupla com separação por canteiro.</i>	
Volume de Tráfego Intenso	V1
Volume de Tráfego Médio	V2
<i>Vias Coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado.</i>	
Volume de Tráfego Intenso	V2
Volume de Tráfego Médio	V3
Volume de Tráfego Leve	V4
<i>Vias locais; vias de conexões menos importantes; vias de acesso residencial.</i>	
Volume de Tráfego Médio	V4
Volume de Tráfego Leve	V5

Tabela 1 - Classe de Iluminação para cada tipo de via. Fonte: NBR 5101:2012

Classe de Iluminação	Iluminância média mínima (lm)	Fator de uniformidade mínimo
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Tabela 2 - Iluminância média e mínima e uniformidade para cada classe de iluminação. Fonte: NBR 5101:2012

Descrição da Via	Classe de Iluminação
Vias de uso noturno intenso por pedestres (ex: calçadas, passeios de zonas comerciais).	P1
Vias de grande tráfego noturno por pedestres (ex: passeios de avenidas, praças e áreas de lazer).	P2
Vias de uso noturno moderado por pedestres (ex: passeios e acostamentos)	P3
Vias de pouco uso por pedestres (ex: passeios de bairros residenciais)	P4

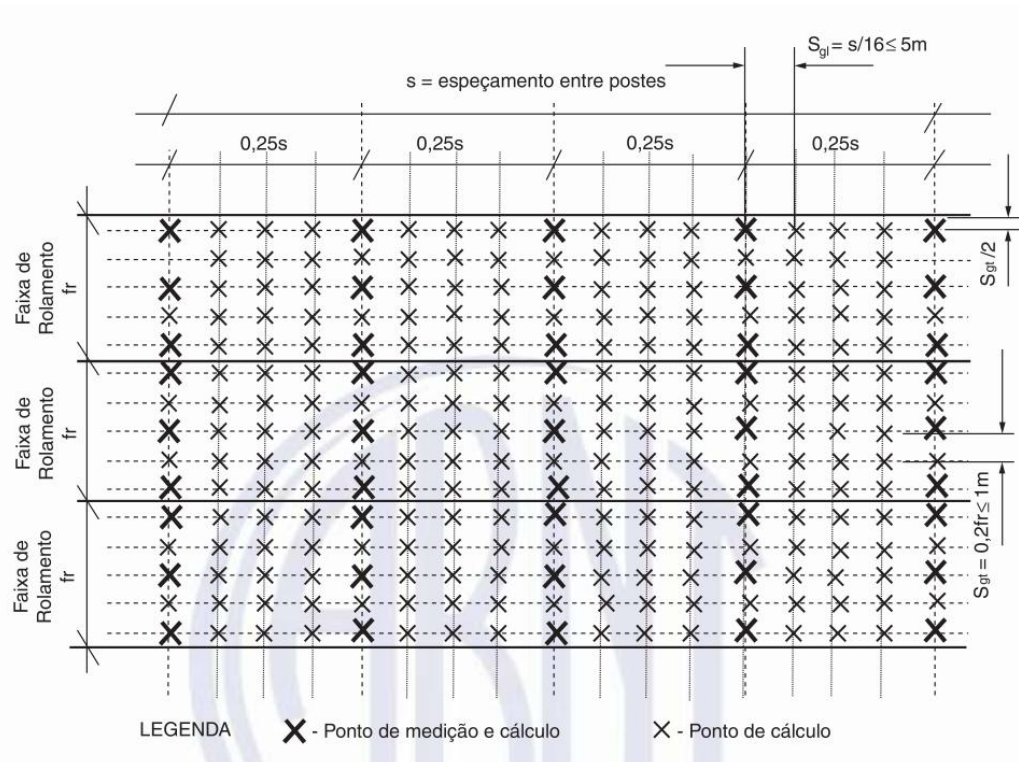
Tabela 3 - Classe de Iluminação para cada tipo de via de pedestres.
Fonte: NBR 5101:2012

Classe de Iluminação	Iluminância horizontal média (lm)	Fator de uniformidade mínimo
P1	20	0,3
P2	10	0,25
P3	5	0,2
P4	3	0,2

Tabela 4 - Iluminância média e mínima e uniformidade para cada classe de iluminação. Fonte: NBR 5101:2012

Para o cálculo da iluminância média e fator de uniformidade, citados nas tabelas anteriores, a norma fornece a geometria de uma malha. Essa malha serve para dispor a localização espacial de pontos onde a iluminância deve ser medida (para verificação da conformidade com a norma) ou calculada (em novos projetos). Nessa malha, são dispostos 15 pontos de medição por faixa de rolamento, distribuídos entre dois postes consecutivos, conforme a imagem a seguir:

Figura 1 – Malha de cálculo/medição de iluminância conforme NBR 5101:2012



Fonte: NBR 5101:2012

Ná prática, usa-se um aparelho chamado de luxímetro (Figura 2) para medir a iluminância no solo aproximadamente nos pontos indicados pela malha de medição. Calcula-se, então, a iluminância média e o fator de uniformidade ($I_{x_{min}}/I_{x_{med}}$). Os valores são então comparados aos das Tabelas 2 e 4, conforme classificação adequada da via. Deseja-se que a iluminância horizontal média seja superior a indicada, o que configuraria desperdício de energia (superdimensionamento da lâmpada). O fator de uniformidade mínimo também deve ser respeitado [2].

Figura 2 – Luxímetro de mão.

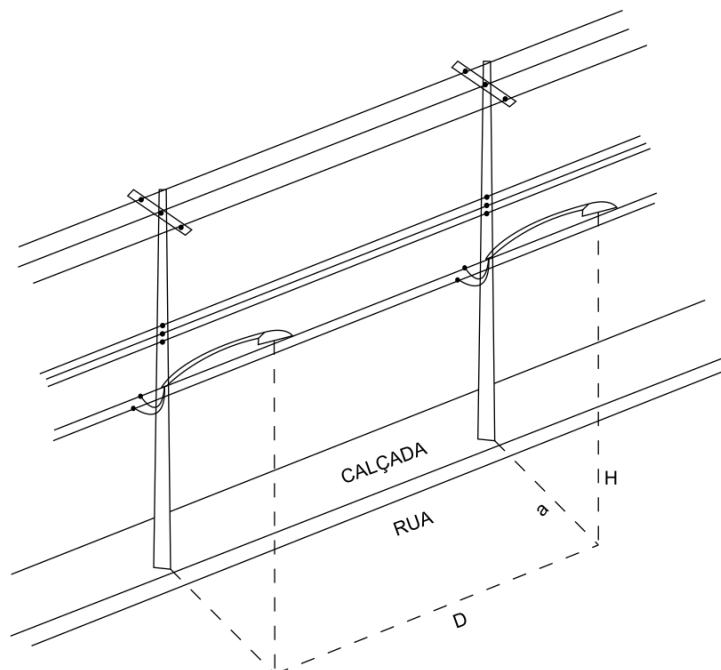


Fonte: Ferramix Brasil

2.3 Projetos de Iluminação com Aproveitamento do Posteameto Existente

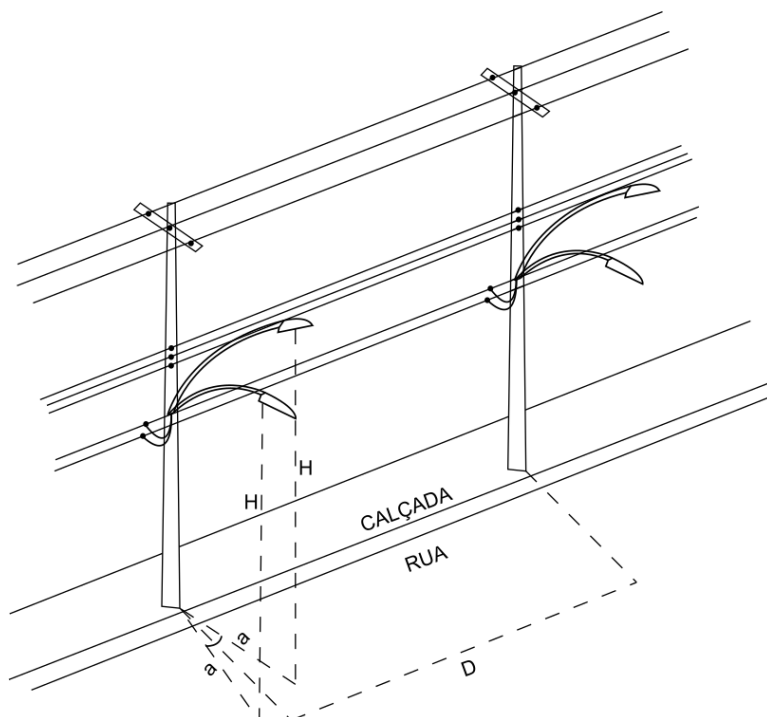
A iluminação pública brasileira é gerida por meio de concessões públicas, ficando alguns tipos de postes disponíveis para o engaste da luminária, enquanto em outros postes isso não é possível (por razões estruturais ou legais). Para fins de economia e praticidade, deseja-se aproveitar os postes (e braços de luminárias) existentes sempre que possível, evitando a instalação de novos [3]. As figuras a seguir mostram diferentes cenários para a instalação de luminárias em postes:

Figura 3 – Uma luminária por poste, sem necessidade de poste adicional



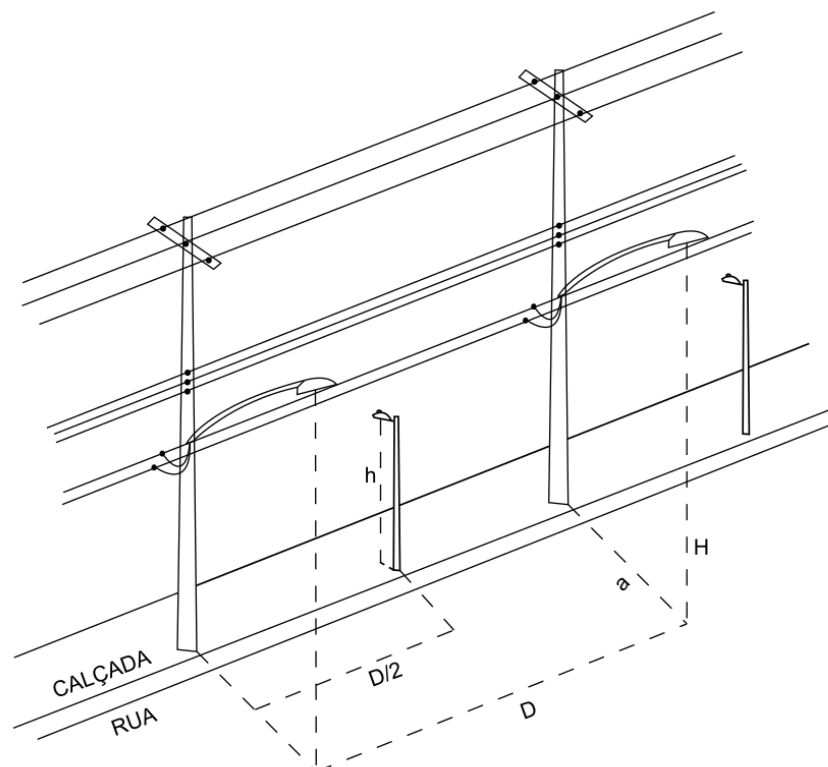
Fonte: autor

Figura 4 – Duas luminárias por poste, sem necessidade de poste adicional



Fonte: autor

Figura 5 – Uma luminária por poste e posteamento adicional na calçada



Fonte: autor

A grande diversidade de cenários encontrados no ambiente urbano desafiam o projetista a cumprir os requisitos mínimos descritos na NBR 5101:2012 sem que para isso sejam feitos grandes gastos (que podem até inviabilizar sua efetivação).

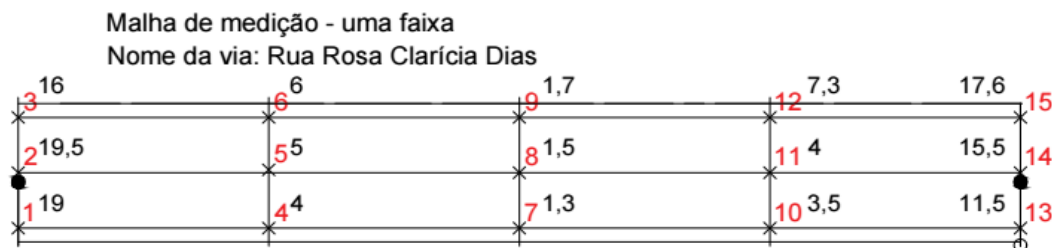
O projeto de iluminação eficiente exige que se conheça um mínimo de informações sobre o logradouro do projeto luminotécnico [1]. Esses são os dados a serem inseridos no software de simulação para o cálculo da lâmpada apropriada.

- Distância entre postes “D”
- Avanço horizontal da luminária “a”
- Altura da luminária “H”
- Ângulo da luminária
- Tipo de lâmpada/refletor

O software luminotécnico é capaz de simular diferentes cenários e calcular a iluminância nos pontos requisitados na norma. É possível validar o modelo de simulação do software

confrontando as medições com o resultado da simulação. A seguir são mostrados dados colhidos em campo numa rua classificada como V4 e P3:

Figura 6 – Medições de iluminância e geometrias na Rua Rosa Clarícia Dias – Gov. Celso Ramos, SC



Espaçamento entre postes: 30 m
Avanço do poste: 1,2 m
Altura do poste: 6,5 m
Largura da faixa de rolamento: 4 m

Fonte: PMI Governador Celso Ramos, Allevant

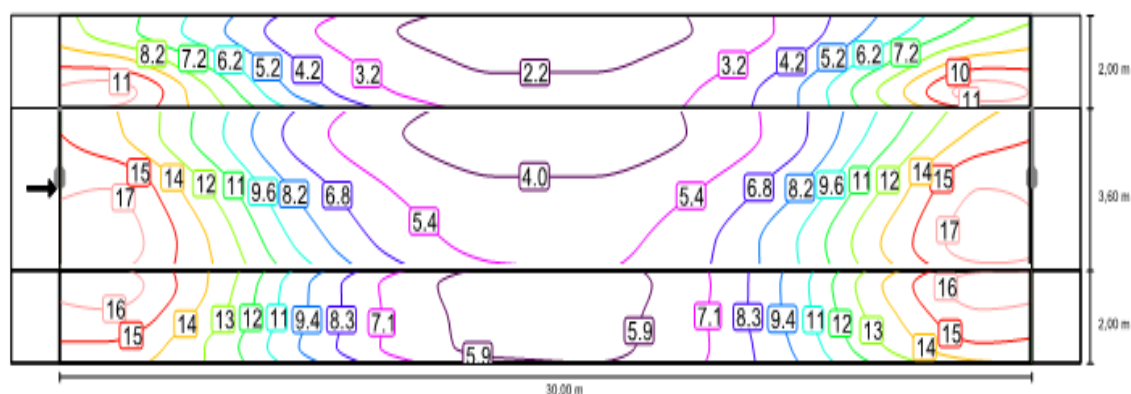
Tabela 5 - Iluminância médio ($E_{média}$), Iluminância mínima ($E_{mín}$) e Fator de Uniformidade (Fator Uni.) da Rua Rosa Clarícia Dias.

$E_{média}$	8,9
$E_{mín}$	1,3
Fator Uni.	0,15

Fonte: PMI Governador Celso Ramos, Allevant

Com os dados colhidos em campo (Figura 6), um engenheiro fez uma simulação [5] no software DIALUX [4] (específico para luminotécnica), considerando-se uma lâmpada de vapor de sódio de 70W instalada em cada luminária (como constatado *in locu*). Na Figura 7 observa-se o mapa das linhas isográficas gerado pelo software, que se aproxima muito da realidade atual da Rua Rosa Clarícia Dias [5].

Figura 7 - Mapa das linhas isográficas atual da Rua Rosa Clarícia Dias.



Fonte: PMI Governador Celso Ramos, Allevant

A Tabela 6 abaixo foi gerada a partir dos requisitos mínimos exigidos pela norma e da realidade atual da rua. Nela estão contidas todas as classes de iluminação exigidas pela norma, tanto para a via quanto para o passeio. A partir disso, foi observada em qual classe de iluminação a via se encontra.

Tabela 6 - Classificação da Rua Rosa Clarícia Dias quanto à exigência da norma.

Rua Rosa Clarícia Dias				
Classe de iluminação	Emédio	Emín	Uniformidade	Norma
V1	-	OK	-	-
V2	-	OK	-	-
V3	-	OK	-	-
<u>V4</u>	-	OK	-	-
V5	OK	OK	-	-
P1	-	-	OK	-
P2	-	-	OK	-
<u>P3</u>	OK	-	OK	-
P4	OK	-	OK	-

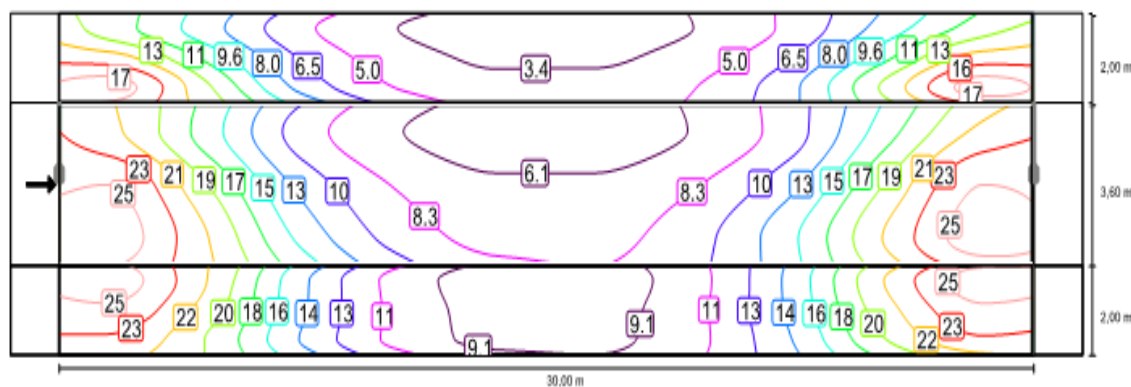
Fonte: PMI Governador Celso Ramos, Allevant

Como pode ser comparado com a Tabela 2 e com a Tabela 4, a Rua Rosa Clarícia Dias está fora de norma tanto para a classe de iluminação da via (V4 e V5) quanto para a de passeio (P3). Com isso foi feita uma simulação pelo software para a adequação da via à

norma. Descobriu-se que a potência da lâmpada de vapor de sódio usada deveria ser elevada para 100W.

Na Figura 8 observa-se o mapa das linhas isográficas gerado pelo software de como deveria ser a situação atual.

Figura 8 - Mapa das linhas isográficas da Rua Rosa Clarícia Dias com o mínimo exigido pela norma.



Fonte: PMI Governador Celso Ramos, Allevant

No caso da Rua Rosa Clarícia Dias, constatou-se que o posteamento e braço de luminária instalados eram adequados aos requisitos da norma, sendo necessário apenas um aumento na potência da lâmpada. Quando há uma grande carência de postes instalados, constata-se uma planta tão subdimensionada que faz-se necessário adicionar braços com mais luminárias em cada poste ou até mesmo postes intermediários.

2.4 Coleta de Campo dos Dados Usados no Projeto Luminotécnico

Os dados usados para a simulação da solução luminotécnica devem ser tão fidedignos quanto possível. Idealmente, a localização e características de cada poste deve ser coletada em campo. De maneira análoga, também devem ser coletadas todas as geometrias pertinentes à simulação luminotécnica e à verificação aos requisitos da norma [2].

Destacam-se algumas medidas a serem tomadas em campo para a simulação luminotécnica em áreas já posteadas, como mostrado no item anterior:

- Distância entre postes – essa medida varia entre um poste e outro. Usa-se a média desse valor na simulação. Pode ser medido com o auxílio de uma trena convencional, a laser ou roda de medição. Muitas medidas são necessárias para se encontrar um valor médio confiável
- Avanço horizontal do braço – medido normalmente com uma trena a laser. Poucas medições são necessárias pois esse valor repete-se em postes do mesmo tipo
- Altura da luminária – medida normalmente com trena a laser. Poucas medições são necessárias
- Largura da faixa de rolamento – medida normalmente com trena. Poucas medidas são necessárias numa mesma cidade (sobretudo quando as ruas apresentam-se em poucos padrões)
- Posicionamento do poste – em apenas um lado da via, em ambos os lados, no canteiro central, etc...
- Tipo de poste – com uma luminária, com duas em ângulo, com duas opostas, sem luminária
- Iluminância medida conforme a malha da NBR 5101:2012
- Tipo de lâmpada usada em cada poste – quando não é possível a sua visualização, é comum inferir o tipo e potência da lâmpada confrontando a medição de iluminância a simulações. As tecnologias mais comuns são: vapor de sódio, vapor de mercúrio, CFL e LED.

Na maioria dos projetos de soluções luminotécnicas para áreas públicas, por se tratarem de editais em que se exige um estudo financeiro, há necessidade de se conhecer o número de postes de cada tipo. Somada à necessidade de se conhecer a distância média entre postes, o tipo de poste e de lâmpada, torna-se conveniente saber o posicionamento espacial de cada poste, devidamente identificado. A isso chama-se de georeferenciar os postes.

Como exemplo do uso dos dados coletados em campo no projeto, toma-se um pedaço uniforme de um município constituído apenas por vias locais. Contados todos os postes ali existentes, é possível usar imagens de satélite para se estimar com grande precisão o comprimento das vias. Com o comprimento total, calcula-se a densidade linear de postes (postes por km). Fazendo algumas poucas medições do tamanho da faixa de rolamento e das

características do braço da luminária, já é possível dimensionar uma lâmpada adequada para o uso nas vias locais da região por meio de simulações [2] em software, como demonstrado.

O conhecimento do parque luminotécnico instalado também é útil para cálculos e projeções de consumo de energia elétrica. Do ponto de vista financeiro, permite a avaliação da viabilidade do investimento em troca de lâmpadas por tecnologias mais econômicas (como LED e lâmpadas de indução) ou técnicas de acionamento (dimerização e comando por telemetria) [5].

Como evidenciado anteriormente, a coleta de campo dos dados necessários para o projeto luminotécnico de iluminação pública vale-se de várias medidas. Algumas, como a geometria dos postes e largura de vias, podem ser feitas de maneira ágil, já que esses dados repetem (com pequena margem de erro) entre um poste e outro de um mesmo tipo, ou entre ruas de mesma hierarquia, numa área uniformemente urbanizada.

Outros dados, como a localização e quantidade de cada tipo de poste, são muito mais maçantes de serem colhidos. Dados do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica mostram uma estimativa da quantidade dos principais tipos de lâmpadas usadas em iluminação pública e sua proporção de uso [6].

Tabela 7 - Distribuição de lâmpadas de Iluminação Pública instaladas no Brasil (2008)

Tipo de Lâmpada	Quantidade	Porcentagem
Vapor de Sódio	9.294.611	62,93%
Vapor de Mercúrio	4.703.012	31,84%
Mista	328.427	2,22%
Incandescente	210.417	1,43%
Fluorescente	119.535	0,81%
Multi-Vapor Metálico	108.173	0,74%
Outras	5.134	0,03%
Total	14.769.309	100,00%

Fonte: PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica)

Considerando que em 2008 a população brasileira era de 193 milhões de habitantes, temos uma média de 13,06 habitantes por lâmpada de iluminação pública. Considerando que

a imensa maioria dos postes conta com apenas uma luminária, a quantidade de postes existentes em uma cidade é em torno de uma ordem de grandeza inferior a sua população.

Uma cidade com 100.000 habitantes, por essa métrica, contaria com aproximadamente 8.000 postes. Esse número varia bastante de cidade para cidade, dependendo do nível de desenvolvimento, estilo de urbanização e sobretudo o nível de verticalização das construções. Cidades que concentram prédios apresentam um menor número de postes por habitante, já que a densidade populacional é maior. Por outro lado, áreas pouco urbanizadas, como favelas, também acumulam menor quantidade de postes por habitante.

2.5 Georeferenciamento de Postes com o Equipamento Convencional

O termo “georeferenciamento” é muito usual em estudos de geomática, em especial de agrimensura. Nessas aplicações, em que se trata da propriedade de uma área de terras, a precisão e exatidão das medições são críticas. De fato, dado o preço dos terrenos urbanos ou rurais, espera-se que as divisas de propriedades sejam definidas na casa dos poucos centímetros. O georeferenciamento de logradouros e marcos urbanos (como postes, pontos de ônibus...) públicos, exige uma precisão muito menor, já que não se discute a propriedade nem a localização exata de um objeto, apenas a sua existência e localização aproximada [7].

No caso específico do georeferenciamento de postes para elaboração de um projeto luminotécnico, uma vez que deseja-se apenas calcular o número total de cada tipo de poste em cada tipo de via (local, coletora, arterial...) para determinação da densidade linear de postes, não há problema que o erro na posição de cada poste esteja na ordem de alguns metros.

Embora existam diversas outras tecnologias para a determinação de coordenadas geográficas, a de longe mais utilizada é o GPS (*Global Positioning System*). Trata-se de um dispositivo que recebe ondas de rádio provenientes de satélites em órbitas muito elevadas, processa-os e fornece informações como latitude, longitude, velocidade, ângulo de curso, etc... A precisão espacial da tecnologia GPS varia significativamente de modelo a modelo, mas gira de 2 a 6 metros [8]. Mais adiante essa tecnologia será melhor abordada.

A miniaturização da tecnologia de recepção GPS, atualmente já totalmente integrada em silício, fez diminuir os custos de sua implementação. Juntamente com a redução do consumo de energia da tecnologia, resultou-se no cenário atual, em que uma grande diversidade de aparelhos domésticos de baixo custo já dispõe de localizador.

Tradicionalmente, a contagem de postes é feita com o auxílio de um GPS de mão (Figura 9)[9]. O operador vai até próximo do poste e marca a localização no aparelho de mão, que identifica o local por um número. Em seguida, anota o número do local e a característica do poste (tipo de luminária, braço...). Um smartphone com GPS também pode ser usado para esse fim.

Figura 9 – Modelo de GPS de mão comumente usado para o georeferenciamento de postes.



Fonte: Garmin Brasil

Como é fácil de inferir, o processo de georeferenciamento dos postes de uma cidade, mesmo que pequena, é uma tarefa bastante maçante devido ao número total de postes ser elevado e a extensão a ser percorrida muito grande. Somam-se a isso alguns problemas:

- Catalogar todos os postes (nenhuma área posteada pode ser esquecida)
- Postes georeferenciados mais de uma vez (quando se passa no mesmo local repetidas vezes)
- Navegar pelas vias (normalmente desconhecidas)

- Possibilidade de conferir se os dados cadastrados são verídicos após o georeferenciamento

Dada a complexidade e tamanho do trabalho, é comum que ele seja realizado por uma dupla, em que um dirige e o outro navega com um mapa, anotando as vias já percorridas e georeferenciando os postes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Pensando em montar um equipamento específico ao uso para o georeferenciamento de postes, compilou-se uma lista de requisitos e características desejáveis. Essa lista, por vez, será usada como base para o desenvolvimento de um produto composto por diversos módulos.

3.1 Requisitos de um Sistema Específico para a Aplicação

Deseja-se um sistema portátil que auxilie, o máximo possível, a tarefa do operador de cadastrar diferentes postes. Visando aumentar a velocidade de cadastramento individual de cada poste, possibilitando o cadastro de mais postes em um mesmo dia de trabalho.

São as características que devem nortear o desenvolvimento do sistema:

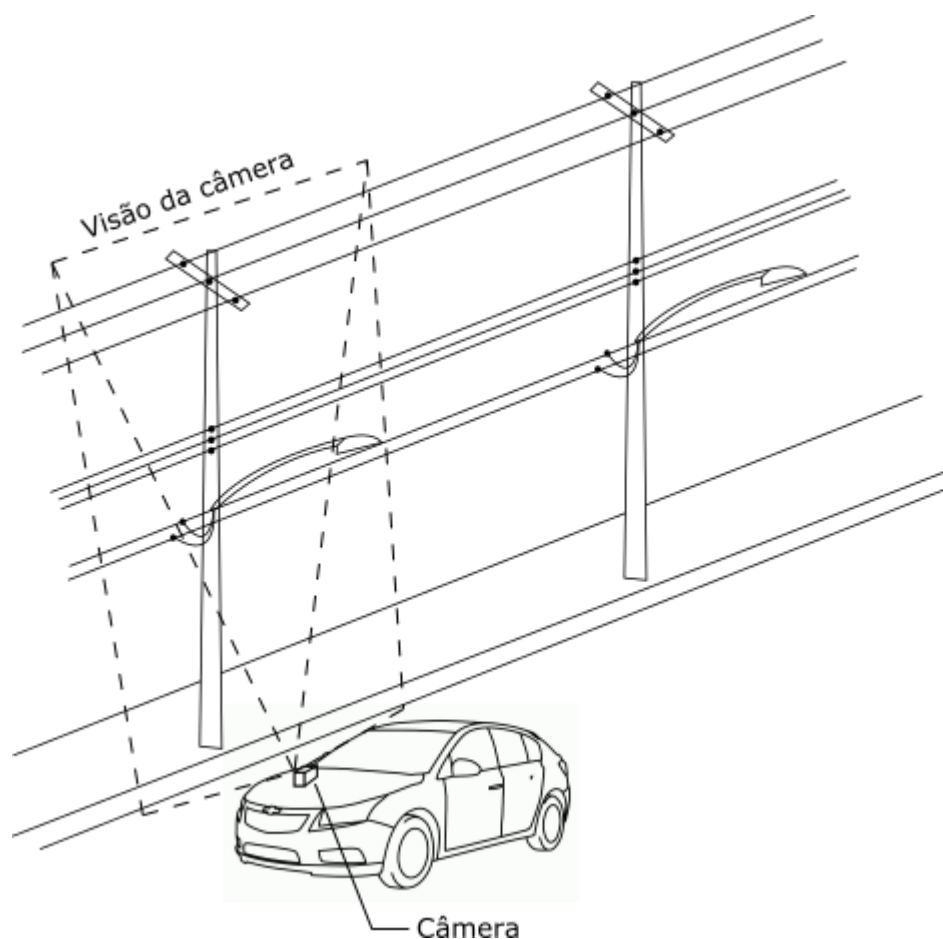
- Cadastrar rápida e facilmente postes de diferentes tipos
- Auxiliar no processo de navegação, indicando as áreas já visitadas para que os seus postes não sejam cadastrados novamente
- Permitir a conferência da existência/tipo de poste em momento posterior a coleta

Associado a isso, assim como em todo e todo aparelho eletrônico, deseja-se:

- Praticidade de uso, a ponto de poder ser utilizado por um leigo com poucas horas de treinamento
- Evitar a possibilidade do operador manejar errado o aparelho e “perder o dia de trabalho”, seja por não ter operado o equipamento corretamente, seja por ter deletado o arquivo gerado
- O custo deve ser competitivo com o de um equipamento de GPS portátil dedicado com navegação *offline*
- Resistência mecânica, robustez a impactos e vibrações
- Compatibilidade com os softwares comumente usados em geomática

Focando na possibilidade de conferir a existência e o tipo de poste em momento posterior a coleta, uma vez que tecnologias como o *Street View* [10] não estão disponíveis em todas as vias brasileiras, optou-se por usar uma câmera acoplada ao carro. Essa câmera deve possuir um ângulo de abertura alto o suficiente para visualização da parte superior do poste, possibilitando assim a conferência do tipo de poste colhido. A Figura 10 ilustra esse conceito.

Figura 10 – Câmera acoplada ao carro, permitindo a conferência posterior do tipo de poste



Fonte: autor

Outro grande desafio é a função de auxiliar na navegação, com o auxílio de mapas offline e de marcações nas áreas já visitadas. Essa parte, em especial, se desenvolvida, demandaria muito tempo, dada a alta complexidade do software. A oferta de softwares com essa funcionalidade, felizmente, é bastante ampla.

Conhecidos por GIS (*Geographic Information System*), ou em português SIG (Sistema de Informação Geográfica), é uma família de softwares de geomática usado para capturar, armazenar, manipular e apresentar dados geográficos. Embora a funcionalidade e operação de cada um dos softwares GIS seja particular, todos baseiam-se em associar os dados a serem manipulados a coordenadas geográficas [11]. Às coordenadas são associados objetos, comumente chamados de “feições”, que podem indicar um ponto no espaço, delimitar uma área com um polígono formado por uma lista de coordenadas, indicar um caminho ou até mesmo carregar uma informação colhida naquela coordenada, como uma temperatura ali medida.

Uma funcionalidade comumente encontrada nos softwares GIS é a de mostrar a coordenada proveniente da saída de um GPS, sobre um mapa pré-existente, em tempo real. A

conexão com o localizador pode ser feita tanto por meio de IP (*Internet Protocol*), quanto pela porta serial do computador [12]. A Figura 11 mostra um GPS com conexão serial feita pela porta USB. Muitos GPS portáteis também possuem essa funcionalidade, seja por conexão RS-232, USB ou Bluetooth.

Figura 11 – GPS com conexão serial pela porta USB.



Fonte: Garmin Brasil

O software GIS seria usado, então, tanto para a visualização dos dados gerados pelo sistema (localização espacial de cada tipo de poste e do caminho percorrido) quanto para auxiliar na navegação, ao indicar num mapa a posição atual do operador, assim como as localidades por onde já passou (que são constantemente armazenadas em um “caminho”).

Com o uso de um localizador GPS conectado a um software GIS, seria possível montar um sistema completo com os requisitos acima citados. Um exemplo, seria uma interface em que a pessoa pressiona uma tecla para inserir no mapa um certo tipo de poste na localização atual informada pelo GPS. Nesse cenário, enquanto uma pessoa da dupla (motorista e operador) navega, a outra é responsável pela navegação e por apertar as teclas correspondentes aos postes que vê no momento em que passa perto dele. Não é crítico (para a determinação da densidade linear de postes) que os postes sejam marcados no lado certo da rua em que se encontram, já que a densidade linear é igual ao comprimento da via dividido pelo número de postes.

Essa proposta, entretanto, é bastante suscetível a erros por parte do operador, já que ele deve manejar o software com destreza, tendo inclusive que manusear o arquivo gerado, salvando-o apropriadamente. A dependência do computador para aquisição dos pontos também mostra-se frágil no caso de *crashes* dos softwares envolvidos (algo frequente).

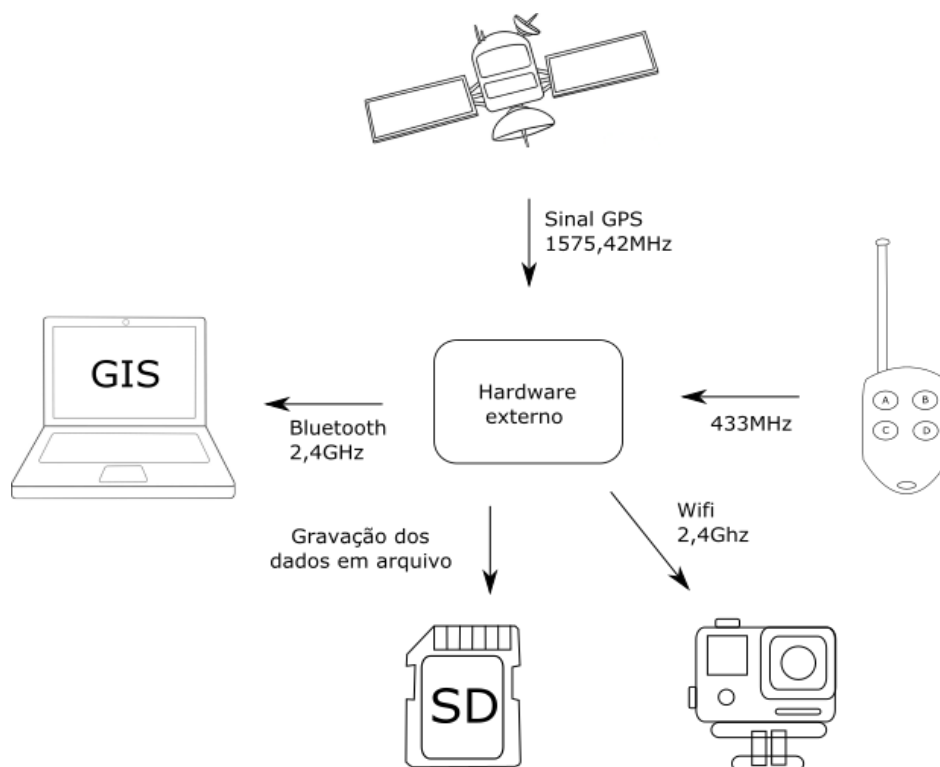
Do ponto de vista do hardware, as teclas de um computador ou um monitor *touchscreen* não são os mais indicados para a tarefa, sendo preferíveis botões com alto apelo tátil e acionamento profundo, evitando acionamentos falsos. O uso de controle remoto também daria mais liberdade de movimento ao operador. Um sinal sonoro e luminoso também são desejáveis.

3.2 Concepção do Sistema

A necessidade do uso do software GIS, que depende de um *notebook* ou *tablet* potente força o uso de um hardware adicional, já que a maioria dos modelos de notebook e tablet não possuem um GPS apropriado. Optou-se por unir em um único hardware, externo ao computador, todo o necessário para a captura de dados, ficando o software GIS responsável apenas pela navegação e visualização das áreas já visitadas. Em caso de *crash* do software do computador, bastaria reiniciar o programa problemático, sem prejuízo ao arquivo gerado no hardware externo. Enquanto o software não retoma a funcionalidade normal, novos postes podem ser cadastrados.

O hardware externo ficaria responsável, então, por receber os dados de localização GPS, gravando-os em um cartão SD. Também receberia comandos de controle remoto, referentes a diferentes tipos de postes. Ao receber esses comandos, grava a posição com o tipo de poste identificado e envia um comando para o disparo da câmera. Simultaneamente, envia os dados recebidos pelo GPS para o computador (rodando software GIS) através da tecnologia Bluetooth. Esse esquema pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12 – Concepção do hardware externo e dos demais equipamentos do sistema



Fonte: autor

Nessa concepção, usa-se um controle remoto convencional de portão eletrônico/alarme dotado de vários botões. A cada botão associamos um tipo de poste a ser cadastrado. Como exemplo, o botão “A” é apertado na presença de um poste com luminária simples, “B” é apertado na presença de um poste sem luminária e “C” em postes com duas luminárias. Ao apertar o botão, o hardware externo, que será referido futuramente por *datalogger*, grava a existência e tipo do poste em cartão SD e envia um comando para o disparo da câmera, que registra o poste em foto, como na Figura 10.

A câmera usada, além de ter uma grande abertura de lente, também precisa aceitar comandos Wifi para ligar/desligar e capturar fotos. Exemplos de câmeras com essas funcionalidades são a GoPro Hero 4 e a SJ4000.

O termo *datalogger* (em português “registrador de dados”) é um aparelho que armazena dados de um sensor ou instrumento de medida ao decorrer de intervalos de tempo, mudança de localidade ou mudanças nas variáveis assistidas. O termo é usado para definir os mais diversos tipos de sistemas, normalmente eletrônicos, responsáveis pelo registro de informações que estão sendo colhidas no decorrer do tempo. Exemplos são estações atmosféricas que registram temperatura, umidade, precipitação, etc... e contadores de automóveis instalados em rodovias. Existe no mercado uma variedade de *GPS dataloggers* que registram em cartão SD a localidade em que estiveram, seja periodicamente, seja por movimento [13].

No caso, tem-se um *datalogger* de dados geográficos obtidos de um módulo GPS. Os dados são amostrados e gravados em intervalos de tempo fixos, possibilitando traçar a rota percorrida. Ao receber o comando da existência de um poste, o próximo dado é gravado com um adendo que identifica-o por tipo (com uma luminária, sem luminária, com duas luminárias..).

3.3 Design do hardware do *datalogger*

Visando a praticidade de uso, optou-se por uma interface simples: uma chave gangorra liga/desliga um único LED que indica o status de operação e um botão com retenção mecânica para gravar/não gravar os dados em mídia SD. Também há um *buzzer*, utilizado para emitir um sinal sonoro confirmando a gravação dos dados do poste.

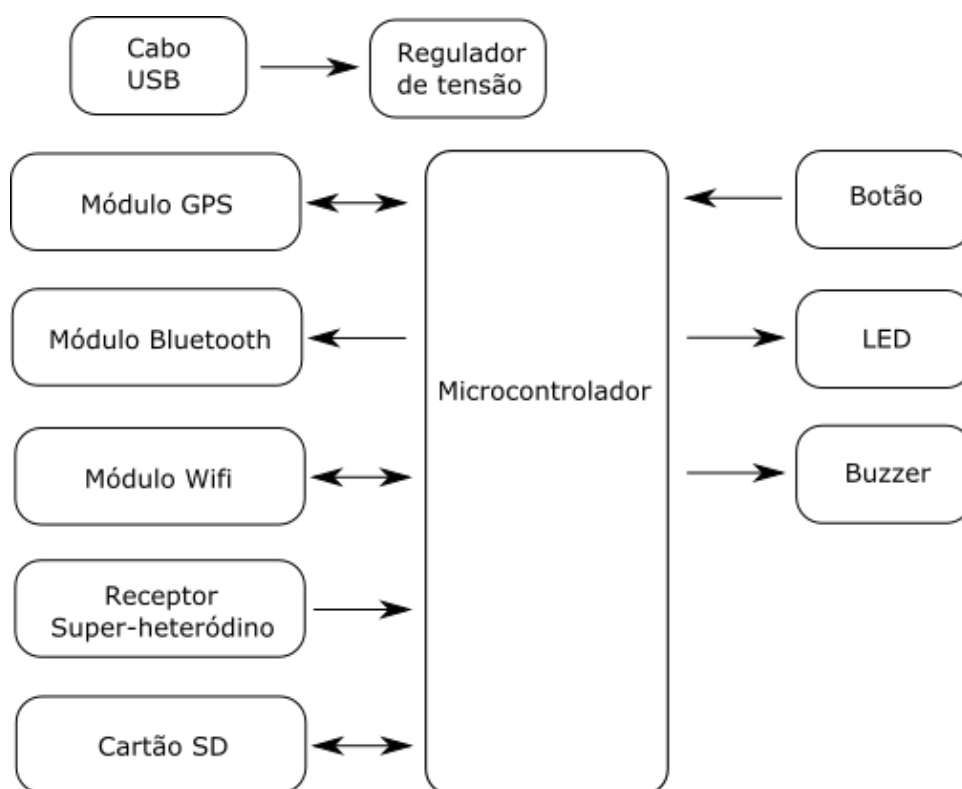
Adicionalmente, temos vários módulos dedicados às diferentes funções do *datalogger*. São:

- Módulo GPS – recebe sinais de satélite GPS, processa-os e fornece uma saída serial tipo NMEA, a ser analisada pelo microcontrolador
- Módulo Bluetooth – emparelha-se com um computador, onde é criada uma porta COM. O módulo emula uma conexão serial a fio com o microcontrolador

- Módulo Wifi – conecta-se a câmera, enviando comandos de ligar, desligar e capturar foto, conforme solicitado pelo microcontrolador
- Receptor super-heteródino – demodula ondas de rádio de 433,92MHz emitidas por controle remoto de modo que possam ser processadas pelo microcontrolador
- Cartão SD – mídia *flash* onde são gravados os arquivos de log, por meio da porta SPI

Para alimentar o *datalogger*, há um cabo USB A macho que pode ser conectado em um carregador, numa porta USB do tipo host ou num *power bank*. A Figura 13 mostra um diagrama de blocos do hardware do *datalogger*.

Figura 13 – Diagrama de blocos do hardware do *datalogger*



Fonte: autor

3.4 Módulo GPS

O módulo GPS utilizado foi o UP501 da Fastrax [14]. A semelhança da maioria dos módulos de recepção GPS encontrado no mercado, usa a conexão serial para configuração e para a saída de dados. Para funcionar, requer uma alimentação de uso geral e outra para o RTC (Real Time Clock) e SRAM internos. A Tabela 8, proveniente do *datasheet* do módulo, mostra as suas principais especificações.

Tabela 8 – Especificações do módulo GPS UP501

Receiver	GPS L1 C/A-code, SPS
Channels	66 acquisition and 22 tracking
Update rate	1 Hz default (fix rate configurable up to 10Hz)
Acquisition Sensitivity (Cold start)	-148 dBm (1)
Re-acquisition Sensitivity	-158 dBm (1)
Navigation Sensitivity	-165 dBm (1)
Supply voltage, VDD	+3.0 V...+4.2 V (+3.0V...+5.5V for UP501U/H)
Back up supply voltage, VDD_B	+2.0 V...+4.2 V (+2.0V...+5.5V for UP501H)
USB supply voltage	+4.0V...+5.5V (UP501U only)
Power consumption, VDD	75 mW typical @ 3.0 V (2) (Typ. 115mW@3.0V in satellite search phase)
Power consumption, VDD_B	15 uW typical @ 3.0 V (during battery backup state).
Operating temperature range	-40 °C...+85 °C (4)
Serial port protocol	Port 0: NMEA
Serial data format	8 bits, no parity, 1 stop bit
Serial data speed (default)	NMEA: 9600 baud
CMOS I/O signal levels (3)	V _{IL} : -0.3V...0.8V, V _{IH} : 2.0V...3.6V, V _{OL} : -0.3V...0.4V, V _{OH} : 2.4V...3.2V
I/O sink/source capability	+/- 2 mA max.
PPS output	+/- 50 ns (RMS) accuracy

Fonte: *datasheet* do UP501 [14]

Nesse *design*, o módulo é alimentado por uma linha de 3,3V e uma bateria CR2023 de 3V. Tipicamente, a taxa de atualização da localização é de 1Hz, podendo ser aumentada para até 10Hz. A serial está configurada para 9600 8N1 ao ligar, podendo a velocidade de transmissão ser alterada para as *baud rates* usuais (até 115200 8N1). O consumo de energia do módulo, quando em funcionamento, é de 75mW (não é *low-power*). Outra característica notória é a capacidade de receber sinais de até 66 satélites diferentes simultaneamente, analisando os dados provenientes de até 22 deles. Todos esses satélites são da constelação GPS. Esse módulo não é capaz de decodificar sinais de satélites GLONASS, Galileo ou Beidou, como fazem alguns módulos mais modernos.

A comunicação com o módulo é feita pelo protocolo NMEA 0183 v3.01, padrão na maioria dos módulos GPS. Tratam-se de diferentes mensagens de texto que contém as informações colhidas pelo GPS, ou mensagens enviadas para o módulo com a intenção de configurá-lo. Esse protocolo foi desenvolvido pela NMEA (*National Marine Electronics Association*), para padronizar as comunicações de computadores de bordo com periféricos como sonares, GPS, giroscópios, barômetros, etc... Contém uma grande diversidade de mensagens, identificadas por letras, cada uma contendo uma sequência definida de dados e uma parte final usada para soma de verificação. A tabela 9 mostra as mensagens NMEA de saída que podem ser produzidas pelo módulo UP501:

Tabela 9 – Mensagens NMEA de saída do módulo UP501

NMEA record	Description
GGA	Global positioning system fixed data
GLL	Geographic position - latitude/longitude
GSA	GNSS DOP and active satellites
GSV	GNSS satellites in view
RMC	Recommended minimum specific GNSS data
VTG	Course over ground and ground speed

Fonte: *datasheet* do UP501 [14]

Dessas mensagens, destaca-se a RMC, que contém informações de latitude, longitude, data, hora e ângulo de curso, entre outras. A estrutura de uma mensagem RMC é ilustrada no exemplo a seguir. A Tabela 10 mostra o significado dos números mostrados e a sequência de dados da mensagem.

Exemplo de grafia de uma mensagem NMEA RMC:

- \$GPRMC,053740.000,A,2503.6319,N,12136.0099,E,2.69,79.65,100106,,,A*53

Tabela 10 – Estrutura da mensagem NMEA RMC do exemplo

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPRMC		RMC protocol header
UTC Time	053740.000		hhmmss.sss
Status	A		A=data valid or V=data not valid
Latitude	2503.6319		ddmm.mmmm
N/S Indicator	N		N=north or S=south
Longitude	12136.0099		dddmm.mmmm
E/W Indicator	E		E=east or W=west
Speed over ground	2.69	knots	True
Course over ground	79.65	degrees	
Date	100106		ddmmyy
Magnetic variation		degrees	
Variation sense			E=east or W=west (Not shown)
Mode	A		A=autonomous, D=DGPS, E=DR
Checksum	*53		
<CR> <LF>			End of message termination

Fonte: *datasheet* do UP501 [14]

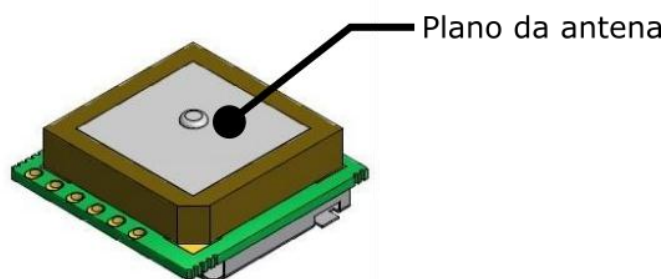
Ao ligar, o módulo carrega da SRAM com os últimos dados que estavam sendo utilizados para rastrear os satélites. Dependendo da pertinência desses dados com a constelação de satélites atual, consegue começar a fornecer dados confiáveis (dá-se o nome

“*Fix*”) em poucos segundos. Se os dados não forem pertinentes para a presente configuração de satélites (constelação), alguns minutos podem ser necessários para o primeiro *Fix*.

Esses dados, que auxiliam no rastreamento e decodificação dos dados de satélite são conhecidos por *Almanac* e ficam armazenados na SRAM (dependente de alimentação constante, feita por bateria).

A Figura 14 mostra um desenho do módulo UP501, com destaque à face superior, que é uma antena integrada. A boa recepção do sinal dos satélites depende da visada desse plano a cada um dos satélites. Obstáculos como construções, nuvens, vegetação e sobretudo a orientação da antena influenciam na qualidade da recepção e dos dados gerados pela tecnologia. A antena deve ser apontada para cima, via de regra.

Figura 14 – Módulo UP501 com destaque à antena integrada



Fonte: *datasheet* do UP501 [14] com adaptações do autor

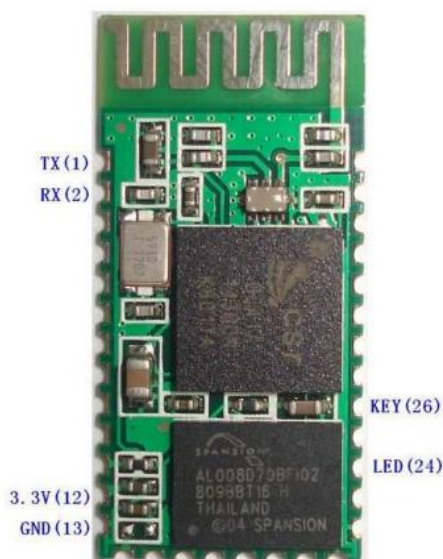
3.5 Módulo Bluetooth

A conexão do *datalogger* com o computador ou tablet é feita pela criação de uma porta COM Bluetooth, com driver padrão em Windows, MAC e Linux. Um módulo Bluetooth modelo HC-06 [15] é usado para tal. Ele contém todo o necessário para emular uma conexão serial a fio do microcontrolador com a porta COM do computador, sendo entretanto, um dispositivo Bluetooth sem fio.

O protocolo Bluetooth exige um emparelhamento, em que o computador encontra o sinal de um dispositivo e conecta-se a ele com uma senha. O módulo HC-06 permite ao usuário mudar o nome do dispositivo Bluetooth e configurar a senha de emparelhamento. Também é possível configurar a velocidade de transmissão comunicação serial. A configuração do módulo é feita por meio de comandos seriais do tipo AT (padrão comum para a configuração de dispositivos seriais) e é armazenada em *flash*, podendo ser feita apenas uma vez.

No *datalogger* não há conexão do pino TX (saída serial) do módulo HC-06 com o circuito. A entrada serial (RX), entretanto, é conectada a saída serial (TX) do microcontrolador. A Figura 15 mostra uma foto do módulo HC-06 e sua pinagem. A Figura 13 mostra a unidirecionalidade da comunicação do módulo com o microcontrolador.

Figura 15 – Módulo HC-06 (vista superior) com descrição da pinagem



Fonte: *datasheet* do HC-06 [15]

3.6 Módulo Wifi

A funcionalidade de comandar a captura de foto no momento em que um poste é detectado (Figura 10), depende de uma conexão com uma câmera. Muitos modelos de câmera apresentam conexão para disparo de foto por fio ou luz infravermelha. Essas conexões não permitem, porém, saber alguma confirmação de que a foto foi capturada, nem se a câmera está funcionando adequadamente.

Existem, entretanto, câmeras que podem ser comandadas por Wifi. No modelo GoPro Hero 4, uma câmera apropriada para essa aplicação, consegue-se fazer toda a configuração da câmera pela rede Wifi [16], sendo possível, inclusive, ligar e desligar a câmera. Conectando-se a uma *Access point* criado pela câmera com SSID e senha definidos pelo usuário, basta acessar alguns links para executar funções específicas na câmera. Para desligar a câmera, por exemplo, conecta-se à sua rede e acessa-se o seguinte link:

- <http://10.5.5.9/gp/gpControl/command/system/sleep>

Para disparar uma foto, tem-se o link:

- <http://10.5.5.9/gp/gpControl/command/shutter?p=1>

Monitorando o status da conexão Wifi é possível saber se a câmera está funcionando corretamente ou não, já que a conexão é perdida em caso de desligamento ou problemas com a câmera.

Para simplificar o desenvolvimento do hardware, decidiu-se por isolar toda a parte relacionada à conexão Wifi com a câmera em uma única peça, separada, que funciona como um controle remoto. O microcontrolador sinaliza por meio de uma linha o desejo de ligar,

desligar ou capturar uma foto. Como resposta, recebe da peça uma saída que sinaliza o correto funcionamento da câmera. A Figura 16 mostra esse conceito.

Figura 16 – Atuação do Módulo Wifi como controle remoto da câmera

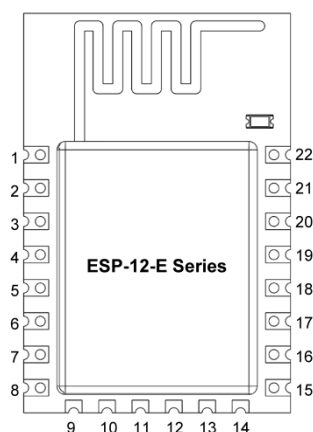


Fonte: autor

O hardware escolhido foi o ESP-12E (Figura 17), que é um módulo baseado no SoC ESP8266. Trata-se de um microcontrolador com capacidades TCP/IP e de rádio na banda do Wifi implementados em hardware. Ele torna possível com um único integrado, uma *flash* externa e uma dezena de componentes passivos, a construção de uma solução Wifi completa. Mostra-se especialmente útil em projetos de IoT.

O módulo ESP-12E reúne o ESP8266, 4Mb de *flash*, todos os passivos e antena necessários para o funcionamento, faltando apenas a alimentação de tensão e conexão dos pinos para as funções desejáveis. O uso do módulo simplifica muito as implementações do ESP8266, que requerem um estudo detalhado no projeto das vias de alta frequência do rádio.

Figura 17 – Desenho do módulo Wifi ESP-12E (vista superior)



Fonte: *datasheet* do ESP-12

O ESP8266 é muito versátil em termos de plataformas de programação. Existem SDKs (*firmware* base para desenvolvimento) fornecidas pelo fabricante (Espressif), várias não-oficiais e até mesmo na popular plataforma Arduino IDE. Embora apresente um hardware bastante poderoso, que com um projeto delicado conseguisse englobar os demais módulos sem a necessidade do uso de um outro microcontrolador, isso não foi feito. O ESP8266 mostra-se menos estável que um microcontrolador comum de 8 bits, exigindo um

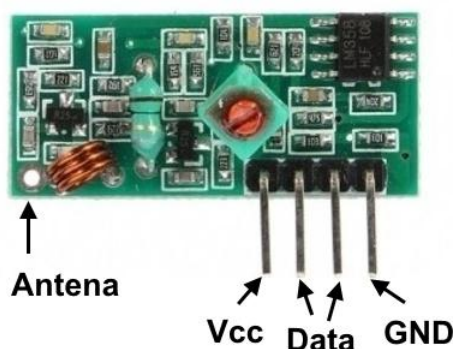
grande refinamento de software para sanar os problemas. A quantidade de pinos também não mostrou-se suficiente para a conexão de todos os módulos.

3.7 Receptor Super-heteródino

A recepção dos sinais provenientes do controle remoto é feita com o uso de um receptor super-heteródino sintonizado em 433,92MHz, muito utilizado em centrais de alarme e portões eletrônicos. O receptor demodula o pulso de rádio proveniente do controle remoto em um trem de pulsos que é analisado pelo microcontrolador.

Existe uma grande variedade de codificações usadas em controles remoto de 433,92Mhz. O escolhido usa modulação OOK/FSK e codificação *Rolling Code* [17], a exemplo da maioria dos vendidos no mercado brasileiro. Cada botão, quando pressionado no controle remoto, faz enviar uma sequência de números, que contém uma parte fixa e uma variável (daí o nome *rolling code*). A saída do receptor é conectada a um pino com capacidade de interrupção externa, o que possibilita o microcontrolador a recepção e decodificação a qualquer momento. A Figura 18 mostra uma foto do receptor usado.

Figura 18 – Receptor Super-heteródino sintonizado em 433,92Mhz usado no *datalogger*



Fonte: autor

A existência de uma parte fixa no código enviado, que é única de cada botão do controle, permite a diferenciação dos botões apertados. A cada botão é associado uma identificação única que pode ser expressa por um número decimal de nove dígitos.

A saída do receptor super-heteródino é muito ruidosa, devido a própria natureza instável desse receptor. A saída oscila entre os níveis alto e baixo mesmo sem estímulo aparente. Isso faz a rotina de interrupção ser acionada constantemente (dezenas de vezes por segundo), o que exige cuidado em sua implementação.

3.8 Cartão SD

As mensagens NMEA, após serem processadas pelo microcontrolador, atualizam vários dados do GPS. Destacam-se a latitude, longitude, altitude, velocidade, data, hora (pelo padrão UTC), ângulo de curso e identificação dos satélites detectados. Sempre que recebe-se uma mensagem NMEA que atualize a posição (GGA, GLL, RMC...), ou seja, que contenha informações de latitude e longitude, o presente conjunto de dados é armazenado em mídia.

Tem-se, a cada atualização de posição, um ciclo de gravação em que são armazenados:

- Data e hora (pelo padrão UTC)
- Posição (latitude e longitude)
- Velocidade
- Ângulo de curso
- Número de satélites rastreados
- Comentário (identifica o tipo de posteamento, quando presente)

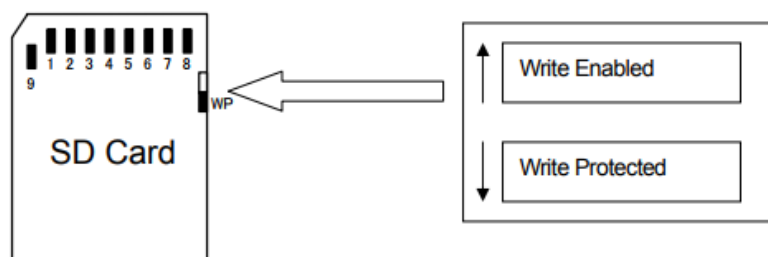
Considerando uma atualização de posição por segundo (frequência configurada para saída da mensagem RMC nessa implementação), tem-se 3600 ciclos de gravação em hora hora. Uma vez que o aparelho é feito para funcionar horas a fio, isso resulta em dezenas ou até centenas de milhares de ciclos a serem armazenados.

O grande volume de dados a serem gravados e a necessidade de abri-los e processá-los em um computador fez optar-se por gravá-los em arquivos em uma mídia externa não volátil. A escolha natural foi a memória *flash* na forma do cartão SD, pelos seguintes motivos:

- Baixo custo por *byte* quando comparado ao EEPROM ou outras tecnologias não voláteis
- Compatibilidade com computadores e tablets (exigindo, no máximo, um adaptador)
- Resistência a vibrações
- Compatibilidade com os principais sistemas de arquivos
- Possibilidade de gravação por uma porta SPI padrão

O cartão SD possibilita vários modos de operação. A principal diferença está na largura do barramento de dados, que varia de 1 a 4 bits [18]. Aplicações que exigem leitura ou gravação em altas velocidades valem-se de barramentos mais largos para transmitir os dados em menos ciclos de *clock* (o cartão SD é uma memória síncrona). A Figura 19 descreve a pinagem de um cartão SD.

Figura 19 – Descrição da pinagem de um cartão SD [18]



SD card pin assignment

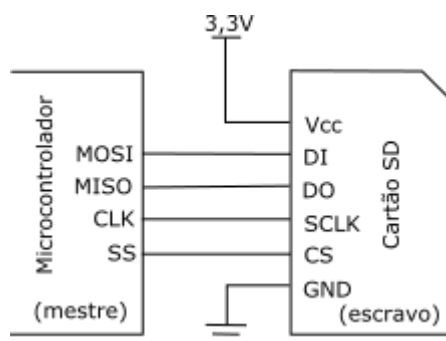
Pins	SD Mode			SPI Mode		
	Name	IO type ¹	Description	Name	IO Type	Description
1	CD/ DAT3	I/O /PP	Card Detect/ Data Line [Bit3]	CS	I	Chip Select (Negative True)
2	CMD	PP	Command/Response	DI	I	Data In
3	V _{SS1}	S	Ground	V _{SS}	S	Ground
4	V _{dd}	S	Supply Voltage	V _{dd}	S	Supply Voltage
5	CLK	I	Clock	SCLK	I	Clock
6	V _{SS2}	S	Ground	V _{SS2}	S	Ground
7	DAT0	I/O /PP	Data Line [Bit0]	DO	O/PP	Data Out
8	DAT1	I/O /PP	Data Line [Bit1]	RSV	-	Reserved (*)
9	DAT2	I/O /PP	Data Line [Bit2]	RSV	-	Reserved (*)

1) S: Power Supply, I: Input, O: Output, I/O: Bi-directionally, 'PP' - IO using push-pull drivers
 (*) These signals should be pulled up by host side with 10-100k ohm resistance in the SPI Mode.

Fonte: TOSHIBA SD Card Specification [18]

Pode-se observar que a pinagem muda de acordo com o modo de operação. No “Modo SD” a largura do barramento de dados é de 4 bits . A conexão quando feita com apenas um bit no barramento de dados é dita “Modo SPI” (Figura 20), padrão *de facto* para comunicação entre circuitos integrados. O microcontrolador age como mestre (comandando o *clock*) e o cartão SD como escravo.

Figura 20 – Conexão SPI entre o microcontrolador e o cartão SD



Fonte: autor

A gravação dos dados no cartão é feita em arquivos. Para tal, adotou-se o sistema de arquivos FAT32, de leitura compatível com os principais sistemas operacionais. O

microcontrolador é responsável por toda a lógica de gravação nesse sistema, o que é feito com o auxílio de uma biblioteca.

A baixa frequência de atualização da posição (1Hz), e por conseguinte de ciclos de gravação, dá ao microcontrolador de 8 bits e 16MHz tempo suficiente para abrir o arquivo correto a ser gravado (entre vários que podem estar presentes no cartão), ir até o final dele, gravar os novos dados e fechar o arquivo. Esse processo é feito a cada novo ciclo de gravação.

3.9 Microcontrolador

A grande variedade de módulos existentes nessa implementação, cada um necessitando de software complexo de se implementar (total ou parcialmente) motivou a escolha de uma plataforma rica em bibliotecas e códigos exemplo. Escolheu-se o microcontrolador de 8 bits Atmega328p com o *clock* de 16Mhz (implementação mais comum do Arduino). Oferece o número de portas necessário para a conexão de todos os módulos citados e várias bibliotecas específicas para cada um dos hardwares apresentados. O microcontrolador é alimentado com 3,3V para poder comunicar-se com os módulos GPS, Bluetooth e cartão SD sem a necessidade de *level shifters*.

Do hardware do Atmega328p usado, destacam-se:

- Barramento SPI usado para comunicação com o cartão SD
- UART usada para comunicação com o GPS e o módulo Bluetooth
- INT0 (interrupção externa 0) usada para decodificar a saída do receptor super-heteródino
- GPIOs simples para o LED, *buzzer*, botão e lógica de comunicação com o módulo Wifi

3.10 Interação Humano-Computador

A interface do aparelho é composta com um botão com retenção mecânica, um buzzer e um LED. A função do botão é a de gravação dos dados em cartão. Quando apertado, sinaliza a intenção de que os dados GPS e de postejamento devem ser gravados no cartão SD. O LED serve para indicar o *status* de funcionamento do aparelho. Quando desligado, significa que não é possibilidade de se gravar os dados, seja por falha no cartão SD (inexistência, má conexão...) ou a ausência de *fix* do GPS (por sinal fraco ou almanaque desatualizado). Ao piscar, significa que está pronto para a gravação, porém ainda não está gravando (espera o botão ser apertado). Ao ficar permanentemente aceso, indica que os dados estão sendo corretamente gravados no cartão. O piscar do LED está associado aos três estados possíveis do *datalogger* em funcionamento:

- Desligado – Inapto a gravar
- Piscando – Pronto para gravar (em espera)

- Ligado – Gravando

A função da retenção mecânica do botão é agir como memória da intenção de gravar. No cenário do operador estar gravando um percurso e perder o sinal GPS (num túnel, por exemplo), o LED antes ligado, desliga (indicando que não há sinal de GPS). Ao sair do túnel e a recepção ser retomada, o aparelho volta a gravar e o LED liga novamente pois o botão permaneceu apertado. O mesmo acontece caso a bateria acabe e seja substituída.

O buzzer emite um sinal sonoro quando um poste é detectado (se um sinal válido do controle remoto é decodificado) e sua existência gravada no cartão SD. Auxilia o operador no sentido de que ele não precisa olhar para o aparelho para confirmar o cadastro de um poste, podendo continuar atento a rua.

4 IMPLEMENTAÇÃO

Uma vez selecionados os módulos que devem compor o *datalogger*, iniciou-se o processo de montagem e programação do protótipo, seguido da seleção dos softwares usados no sistema.

4.1 Construção do Protótipo

A fase inicial da construção do protótipo foi a de divisão dos pinos do microcontrolador entre os diferentes módulos. Algumas conexões, como as seriais (recepção de mensagens NMEA do módulo GPS e o seu envio para o módulo Bluetooth), SPI para conexão com o cartão SD e uma interrupção externa para o receptor super-heteródino, não podem ser conectadas em outros pinos que não alguns definidos pelo hardware do microcontrolador. As demais conexões foram espalhadas nas portas restantes, conforme comodidade da conexão.

Deixando a recepção e envio das mensagens seriais por conta da UART do microcontrolador e a decodificação do sinal do receptor em um pino de interrupção externa, a recepção das mensagens NMEA pode ser feita simultaneamente a recepção do sinal do controle remoto.

As ligações entre os componentes foram desenhadas em papel quadriculado, servindo de modelo para a montagem, feita em placa ilhada de fibra de vidro (com espaçamento padrão de 0,1 polegada). As conexões foram feitas com *jumpers* de estanho e fio de cobre. Capacitores e resistores SMD também foram usados na face inferior, reduzindo o número de componentes na face superior da placa. A Figura 21 mostra uma foto do *datalogger* aberto, podendo-se observar todos os módulos acima citados.

Tomou-se o cuidado de remover a placa de circuito impresso abaixo das antenas dos módulos Bluetooth e Wifi, uma vez que objetos metálicos nessa região (trilhas de cobre) prejudicam a correta irradiação nas antenas desses módulos. Com o *datalogger* fechado, na face superior, observa-se os buracos para o som do *buzzer*, um LED vermelho e o botão “gravar” na cor cinza. Lateralmente, tem-se a chave gangorra liga/desliga, a saída do cabo USB de alimentação e conector do cartão SD.

Amarrado ao cabo de alimentação USB, tem-se um adaptador de cartão SD Micro para USB. Isso é útil em computadores que não tem a entrada para cartão SD nativa.

A posição de uso do *datalogger* é com a antena do GPS voltada para cima. Em um carro, é posicionado com a face do LED e botão voltada para o passageiro, com o auxílio de uma ventosa. A ventosa também segura um *power bank* que alimenta o *datalogger*. A carga da bateria do *power bank* é indicada por um LED nele embutido. O modelo utilizado, com bateria lítio padrão 18650 de 2200mAh, mostrou-se capaz de acionar o *datalogger* por cinco horas seguidas.

4.2 Algoritmo do *Datalogger*

Ao ligar, o *datalogger* comanda o módulo Wifi para que mantenha a câmera desligada. Os arquivos do cartão SD são lidos para determinar-se o nome de um novo arquivo a ser gravado (que deve ser diferente dos existentes). Ao receber o primeiro *fix* do GPS, o LED começa a piscar, indicando a possibilidade de iniciar a captura de dados.

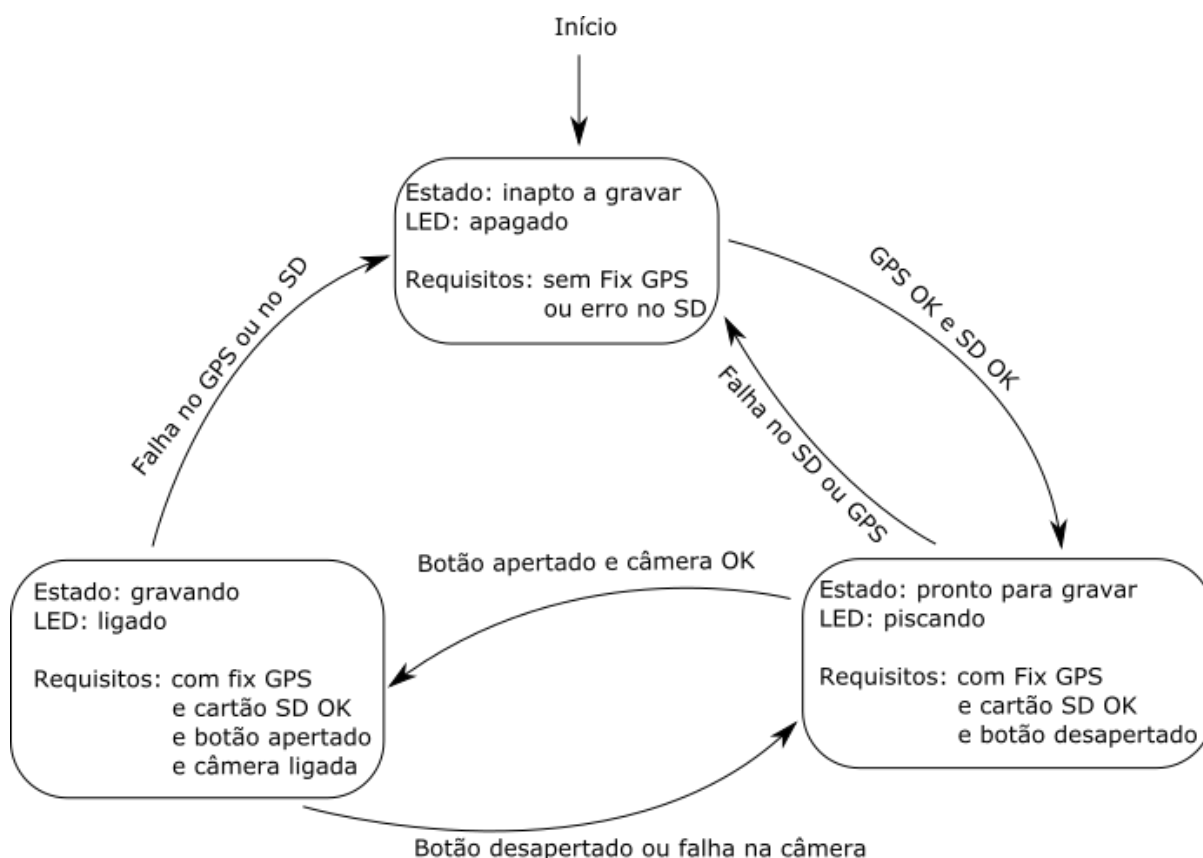
Ao apertar o botão “gravar” enquanto o LED pisca, o módulo Wifi é comandado a ligar a câmera. Espera-se até o módulo Wifi sinalizar que a câmera está ligada. Isso faz com que o LED ligue permanentemente. Nesse momento, já é possível gravar a localização dos postes com o auxílio do controle remoto. Ao ver um poste de um certo tipo, o operador pressiona o respectivo botão no controle remoto. O *datalogger* confirma a gravação desse poste com um *beep* e comanda a captura de uma foto.

Para interromper o ciclo de gravação iniciado, desaperta-se o botão. O módulo Wifi é comandado a desliga a câmera e o LED volta a piscar, indicando que um próximo ciclo já

pode ocorrer quando o botão for pressionado novamente. A cada novo ciclo de gravação, um novo arquivo de *log* é gerado. A Figura 23 mostra um esquema do algoritmo de funcionamento do *datalogger*.

Todos os dados provenientes do módulo GPS são encaminhados para o módulo Bluetooth para que possam ser apreciados por softwares num computador emparelhado.

Figura 23 – Algoritmo de funcionamento do *datalogger*



Fonte: autor

4.3 Escolha do Arquivo de Log

A gravação no cartão SD é feita por meio do sistema de arquivos FAT32. Isso permite que o microcontrolador possa salvar o arquivo de *log* (gravação) em qualquer extensão, desde que seja capaz de compor o arquivo e manipulá-lo. O uso de um microcontrolador de 8 bits e com pouca memória RAM (2048 bytes), entretanto, limita a complexidade do arquivo a ser gerado.

O formato mais utilizado para o intercâmbio de informações de GPS é o *.gpx* (*GPS eXchange Format*) [20]. Ele é utilizado pela maioria dos aparelhos de GPS convencionais, como o da Figura 9. O formato GPX é bastante complexo, permitindo carregar pontos, rotas e caminhos. Também permite levar comentários nos pontos, sendo portanto adequado para a utilização no *datalogger* em questão (os comentários seriam relativos ao tipo de postejamento, quando presente). Abaixo temos um exemplo de grafia de um arquivo *.gpx*.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<gpx version="1.1" creator="Garmin Connect" xsi:schemaLocation="http
  <metadata>
    <link href="connect.garmin.com">
      <text>Garmin Connect</text>
    </link>
    <time>2015-08-09T18:03:23.000Z</time>
  </metadata>
  <trk>
    <name>Bentonville Running</name>
    <trkseg>
      <trkpt lon="-78.28429399989545" lat="38.76018354669213">
        <ele>1043.199951171875</ele>
        <time>2015-08-09T18:03:23.000Z</time>
        <extensions>
          <gpstpx:TrackPointExtension>
            <gpstpx:hr>125</gpstpx:hr>
          </gpstpx:TrackPointExtension>
        </extensions>
      </trkpt>
      <trkpt lon="-78.284308668226" lat="38.760171979665756">
        <ele>1043.4000244140625</ele>
        <time>2015-08-09T18:03:24.000Z</time>
        <extensions>
          <gpstpx:TrackPointExtension>
            <gpstpx:hr>126</gpstpx:hr>
          </gpstpx:TrackPointExtension>
        </extensions>
      </trkpt>
    </trkseg>
  </trk>
</gpx>
```

<!-- more data here -->

Como pode ser observado, esse arquivo apresenta uma estrutura bastante complexa. Os dados relativos a cada ponto e são localizados entre *headers* e marcadores, o que dificulta a sua manipulação pelo microcontrolador. A cada ciclo de gravação, deve-se procurar a posição onde o dado deve ser inserido (texto em verde), sem alterar os marcadores. Outra grande desvantagem do GPX é que, embora seja passível de leitura direta por humanos (principalmente quando corretamente indentado), não é otimizado para isso. A relação entre

caracteres gravados e caracteres que representam dados, também não é boa. O arquivo GPX foi considerado inadequado. Busca-se um formato com as seguintes características:

- Fácil manipulação pelo microcontrolador
- Passível de leitura direta por humanos
- Grave poucos caracteres que não são dados úteis
- Compatibilidade com os principais softwares de geomática
- Não seja proprietário de uma empresa (o uso implicaria o pagamento de *royalties*)

A seleção entre os diversos tipos de arquivos existentes foi feita com auxílio do site www.gpsbabel.org. Esse site contém informações sobre os principais formatos de arquivos de GPS e permite o download de um programa que faz conversões entre os formatos [21]. O escolhido foi o .csv do tipo *unicsv* (*Universal csv with field structure in first line*). É um tipo específico de arquivo CSV (*Comma Separated Value* ou arquivo separado por vírgula) em que a primeira linha indica o significado da coluna de dados, como em uma tabela.

Arquivos do tipo CSV são utilizados por uma grande variedade de hardwares e softwares (incluindo o Excel), não existindo uma padronização característica da extensão. O tipo *unicsv*, entretanto, é padronizado e aceito pela maioria dos softwares de geomática. A seguir tem-se um exemplo de grafia do arquivo:

```
lon,lat,alt,speed,cour,utc_d,utc_t,sat,comment
-47.839416,-24.497072,29.6,0.0,0.0,2017/10/3,10:42:24.0,10,
-47.839416,-24.497072,29.6,0.0,0.0,2017/10/3,10:42:24.0,10,
-47.839416,-24.497072,29.6,0.0,0.0,2017/10/3,10:42:25.0,10,
-47.839416,-24.497072,29.6,0.0,0.0,2017/10/3,10:42:25.0,10,106179429
-47.839416,-24.497072,29.6,0.0,0.0,2017/10/3,10:42:26.0,10,
-47.839416,-24.497072,29.6,0.0,0.0,2017/10/3,10:42:26.0,10,
-47.839416,-24.497072,29.7,0.0,0.0,2017/10/3,10:42:27.0,10,
```

A primeira linha serve para indicar o conteúdo de cada uma das colunas da tabela de dados (separados por vírgula). No exemplo, temos as seguintes colunas:

- lon – longitude em graus
- lat – latitude em graus
- alt – altitude em metros
- speed – velocidade em metros por segundo
- cour – ângulo de curso em graus
- utc_d – data no formato UTC
- utc_t – tempo no formato UTC
- sat – número de satélites rastreados
- comment – comentário relacionado ao tipo de posteamento (quando presente)

Cada linha (exceto a primeira) indica um ponto por onde o GPS passou. Apenas os pontos com comentários (como na quinta linha) indicam postes. O número presente no comentário está relacionado com a identidade única de cada controle remoto do tipo *rolling code*.

A grande vantagem desse tipo de arquivo é a sua simplicidade de gravação. A cada ciclo, basta abrir o arquivo e adicionar uma linha de dados no final. O aproveitamento dos caracteres também se mostra muito melhor do que no GPX. Caso seja necessário usar os dados gerados pelo *datalogger* em um programa que aceite apenas GPX, basta converter o formato usando o software GPSBabel.

4.4 Software GIS e Navegação Offline

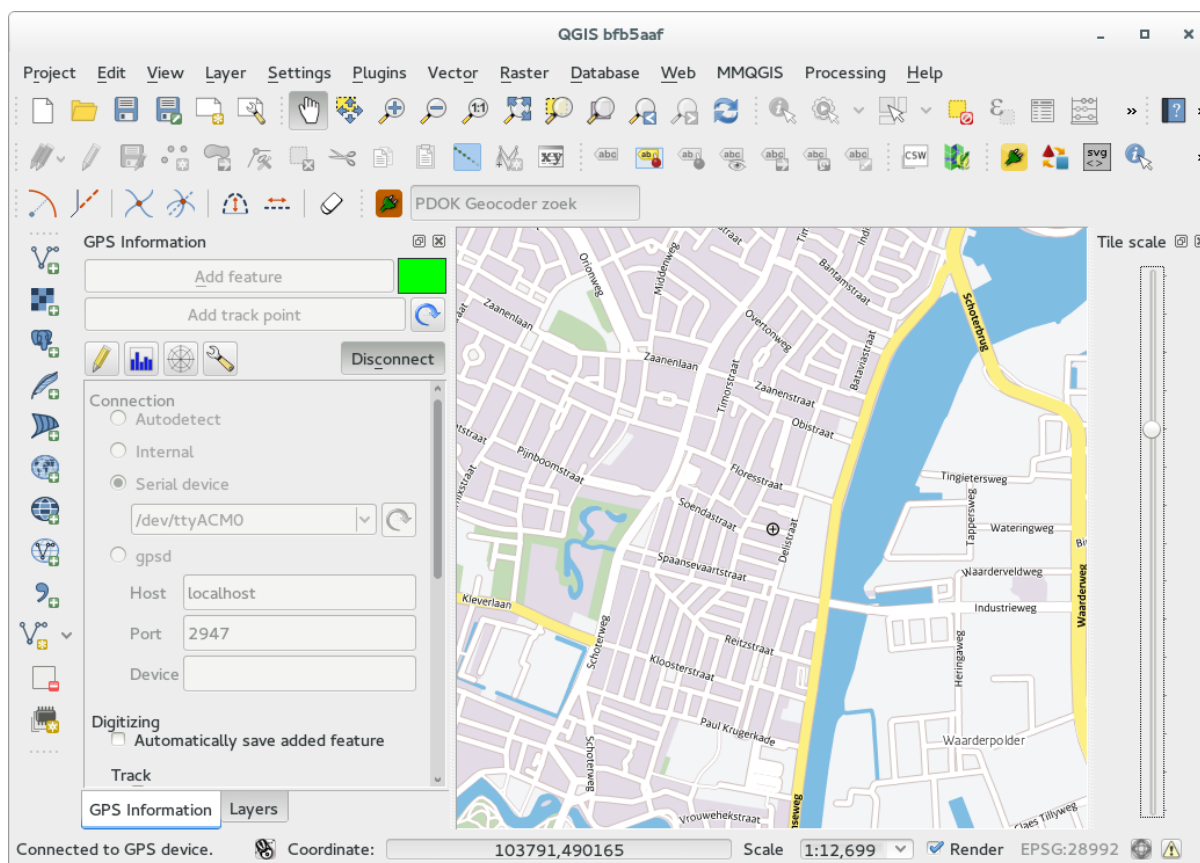
Embora não seja essencial no processo de georeferenciar os postes com o auxílio do *datalogger* no interior de um carro (como observado na Figura 10), é importante que o motorista do carro saiba navegar pela cidade de maneira eficiente, percorrendo rapidamente as áreas a serem diagnosticadas. Também é interessante conhecer se rua já foi previamente percorrida para que seus postes não sejam georeferenciados duas vezes.

Um requisito da navegação é que funcione independente da internet. Isso é vital em áreas sem sinal de celular, também torna o sistema mais robusto. Para tal, é usado um software GIS que abre um mapa previamente baixado, em disco. O software tem uma funcionalidade que permite integrar um sinal de GPS, mostrando sua localização no mapa e o caminho percorrido (Figura 24).

O software escolhido foi o QGIS [21] (software livre). Trata-se de uma plataforma para georeferenciamento muito poderosa, capaz de editar, visualizar e analisar dados georeferenciados. Contém todo o necessário para processar os dados gerados pelo *datalogger*, sendo compatível com o arquivo *.csv*.

Os mapas que mostram as vias dos locais visitados são baixados do banco de dados do OpenStreetMaps, uma plataforma aberta e colaborativa de mapas de todo o mundo. Esses mapas, no formato *.osm*, tem tamanho bastante reduzido e são manipulados pelo QGIS com eficiência.

Figura 24 – Navegação GPS em mapa no QGIS.



Fonte: qgis.org

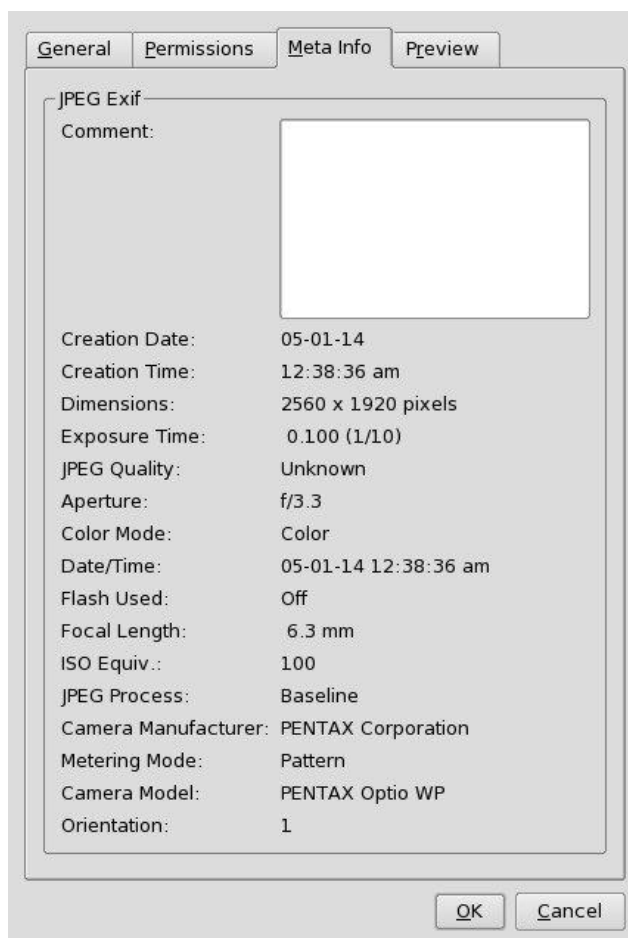
4.5 Geotagging das Fotos

A capacidade de conferir o tipo de poste só é possível se o lugar onde a foto foi feita é conhecido. Para tanto, é feito um processo que adiciona ao arquivo de cada foto informações de latitude e longitude. Esse processo é chamado de *geotagging*.

O processo de *geotagging* é feito cruzando-se os dados do *datalogger* com as fotos. Isso é possível pois ambos contêm informações de data e hora. Um software fica responsável por encontrar a melhor equivalência (menor diferença de tempo) entre cada foto e cada poste cadastrado.

No arquivo CSV gerado pelo *datalogger*, as informações de data e hora são respectivas dos campos “utc_d” e “utc_t”. Já no arquivo da foto, no formato JPEG, é armazenado em um cabeçalho próprio, chamado de EXIF (Figura 25).

Figura 25 – Informações do EXIF de um arquivo JPEG



Fonte: Wikipedia (artigo JPEG)

O software usado no processo de *geotagging* é o GpicSync [22]. Ele aceita arquivos GPX e JPEG, exigindo uma conversão do CSV para GPX (feita pelo GPSBabel). Uma das vantagens desse software é a de gerar automaticamente um arquivo para Google Earth (extensão *.kml*) onde as fotos podem ser observadas com um clique sobre um ícone na sua localização.

5 RESULTADOS

O protótipo foi testado em campo, servindo de base para a produção de vasto material usado no projeto luminotécnico, como mostrado a seguir.

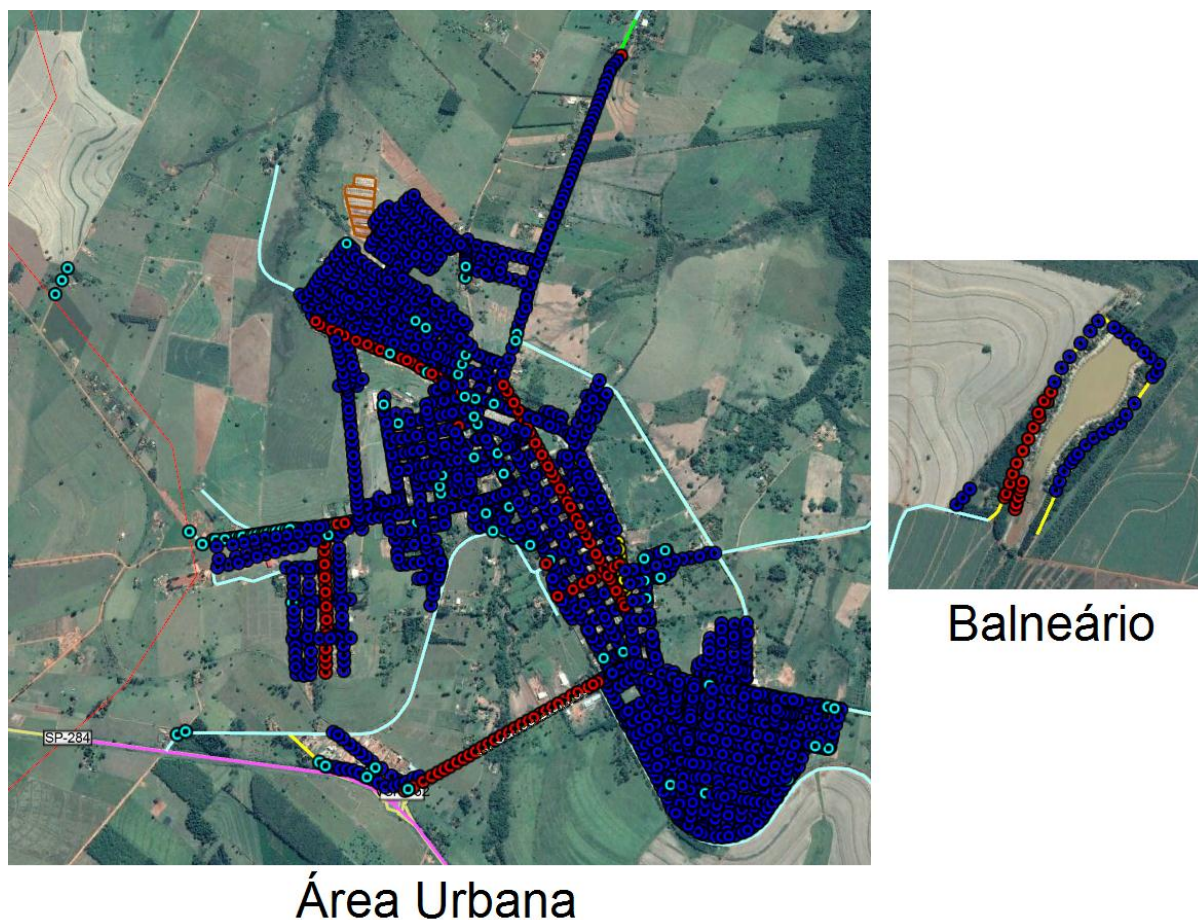
5.1 Georeferenciamento dos Postes da Cidade de Quatá-SP

O sistema foi usado na cidade de Quatá – SP para o georeferenciamento de todos os postes do município como parte da coleta de dados para um projeto de iluminação pública [23]. No decorrer de dois dias (cerca de 6h em cada dia), percorreu-se todas as vias posteadas da cidade. Observou-se a existência de três tipos distintos de posteamento:

- Postes com uma luminária – 1938 (cor azul)
- Postes com duas luminárias – 150 (cor vermelha)
- Postes sem luminária – 80 (cor verde)

A Figura 26 mostra os postes georeferenciados sobre a visão de satélite do município. As casas ficam concentradas em duas áreas distintas, como pode ser observado.

Figura 26 – Postes da cidade de Quatá-SP

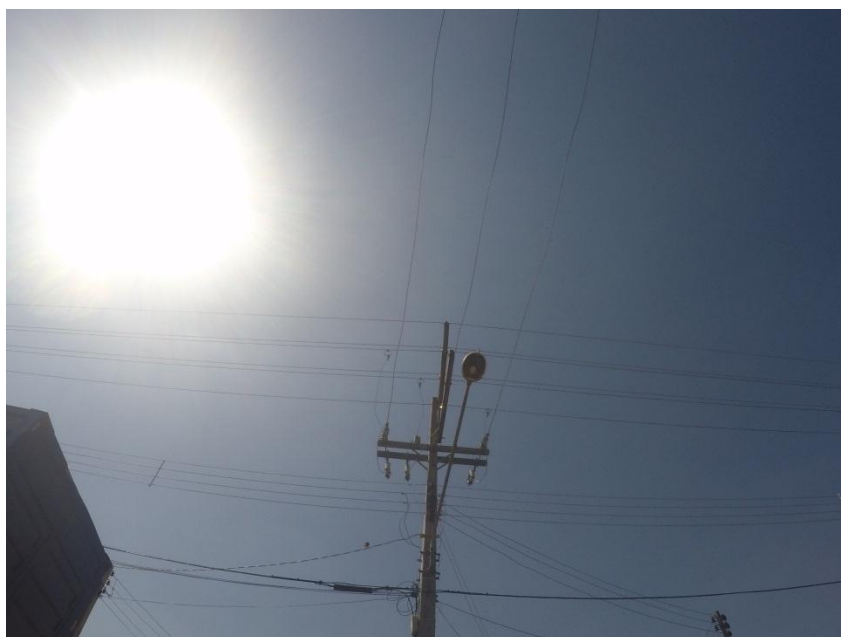


Fonte: PMI Quatá, Allevant

5.2 Postes Fotografados na Cidade de Quatá-SP

Durante o georeferenciamento dos postes da cidade, também foram tiradas fotos do posteamento, como exemplificado na Figura 10. As fotos passaram pelo processo de *geotag* para relacioná-las aos postes da Figura 26. A seguir temos duas fotos de postes feitas na cidade com o uso do sistema.

Figura 27 – Poste com uma luminária na cidade de Quatá-SP



Fonte: autor

Figura 28 – Poste sem luminária na cidade de Quatá-SP



Fonte: autor

5.3 Mapa Temático da Cidade de Quatá-SP

A coleta de campo na cidade, além do georeferenciamento dos postes, também obteve informações como largura das ruas e a geometria dos postes [23]. A visita ao local permitiu que se classificassem as vias conforme o Código Brasileiro de Trânsito para a elaboração do projeto luminotécnico conforme a NBR 5101.

A seguir (Figura 29) temos um mapa que classifica as vias da cidade e indica áreas sem poste ou com posteamento ainda a ser instalado (áreas novas, tidas como expansão imediata). Nessa cidade, as vias coletoras, arteriais e expressas tiveram cada uma um projeto luminotécnico próprio. O projeto das vias locais foi único para todo o município. A elaboração dos projetos luminotécnicos usou a densidade linear de postes e largura das vias conforme colhidos em campo.

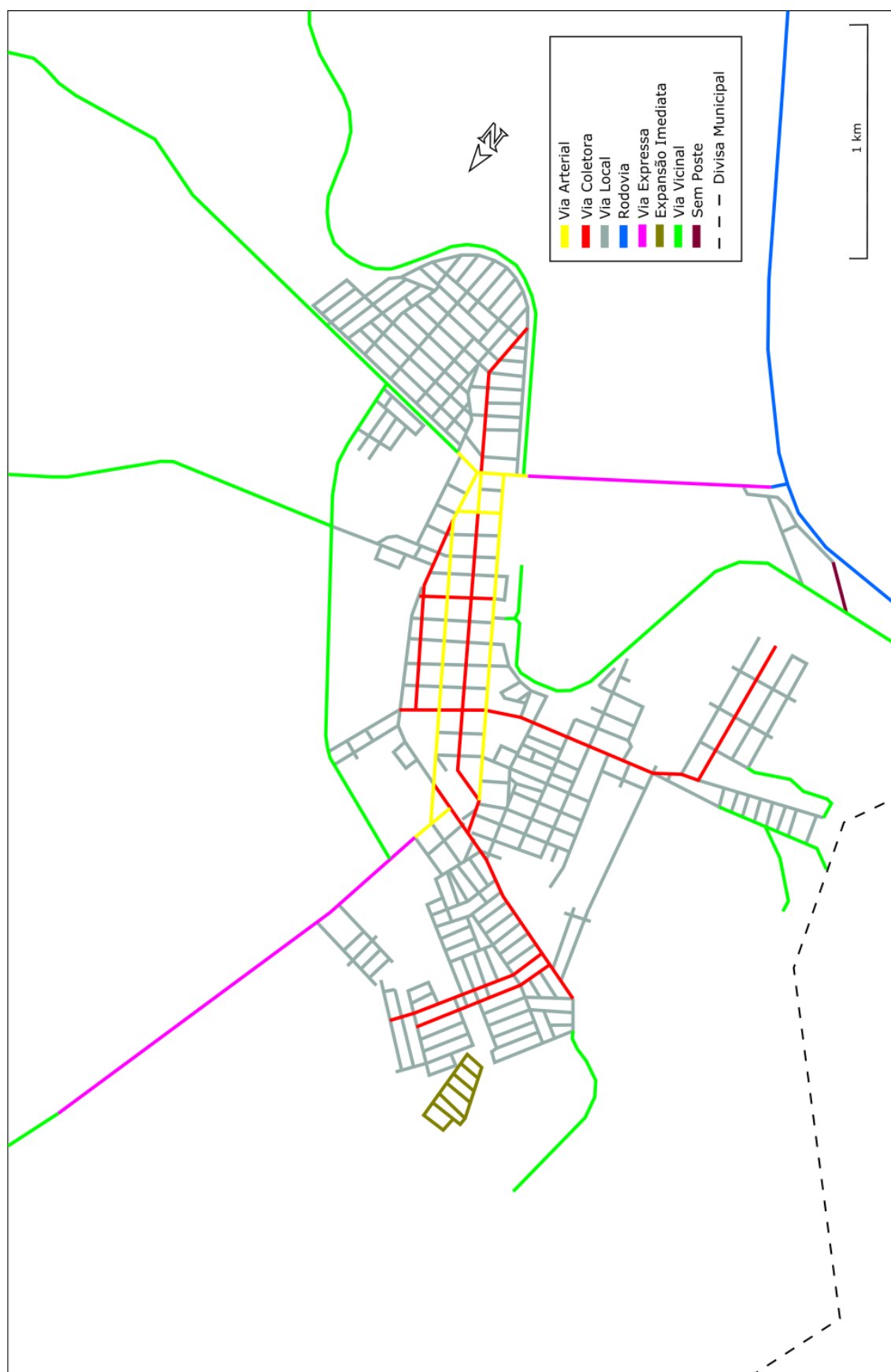
A Tabela 11 mostra as classes de iluminação usadas no projeto de cada tipo de via nessa cidade. Ela é montada conforme instrução das Tabelas 1 e 3.

Tabela 11 - Classe de Iluminação das Vias [23]

Tipo de Via	Classe de Iluminação
Expressa Norte	V1 e P1
Expressa Sul	V1 e P3
Arterial	V2 e P2
Coletora	V2 e P3
Local	V4 e P4

Fonte: PMI Quatá, Allevant

Figura 29 – Mapa que classifica as vias da cidade de Quatá-SP [23]



Fonte: PMI Quatá, Allevant

5.4 Exemplo de Projeto Luminotécnico com os Dados Colhidos

Hierarquizadas as ruas da cidade conforme a Figura 29 e classificadas conforme a Tabela 11, reúnem-se os dados de campo necessários para a elaboração do projeto luminotécnico. A Tabela 12 mostra os dados relativos às vias coletoras do município.

Tabela 12 – Resumo das Vias Coletoras da cidade de Quatá-SP [23]

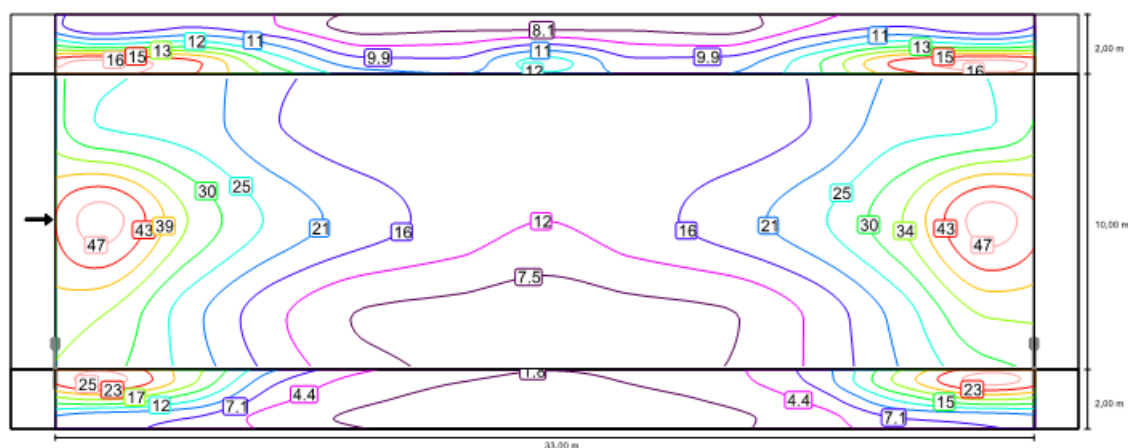
Nomes das vias	Extensão total (km)	Largura da rua (m)	Postes			Espaçamento (m)	Observação
			Com luminária	Duas pétalas	Sem luminária		
Rua Dr. Luis Pereira Barreto Filho	0,33	10	10			33	
Av. Modesto Carone	2,01	10	51	19		29	
Rua Clodomildo F. de Lima	1,37	7	45			30	
A. Rui Barbosa	1,12	10	36			31	
Av. Rafael Matheus	1,12	7	17	26	6	26	Tem canteiro central
Av. Heitor Rodrigues Maia	0,69	14	22		1	31	
Rua Duque de Caxias	0,85	14	28			30	11 de LED
Rua. Joao Nucci	0,29	7	8		1	36	
Total	7,78	-	217	45	8	-	
				Total de postes	270		
				Total de luminárias	307		

Fonte: PMI Quatá, Allevant

Com os dados apresentados na Tabela 12 e com a geometria dos postes (também colhido em campo), é possível fazer o projeto luminotécnico de cada uma das vias. À seguir, é mostrado o projeto da Rua Dr. Luis Pereira Barreto Filho:

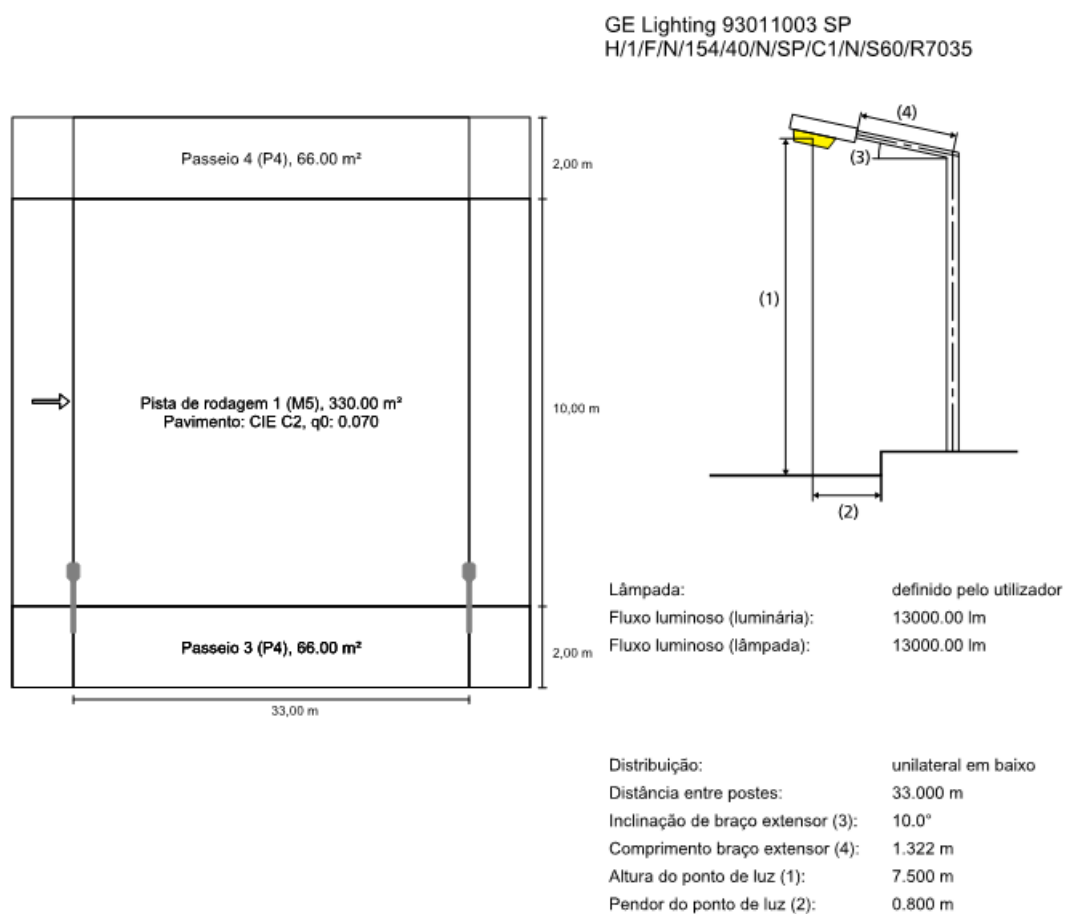
Essa via possui 0,33 km de extensão e 10 postes com luminárias, resultando em um espaçamento de 33 m. Assim, a proposta para essa via é que sejam instaladas luminárias LED de 13000 lúmens. Na figura abaixo podem ser observadas as linhas isográficas de iluminância para a via coletora Rua Dr. Luis Pereira Barreto Filho com lâmpada de LED de 13000 lúmens.

Figura 30 – Linhas isográficas de iluminância da via coletora Dr. Luis Barreto Filho com lâmpada de LED de 13000 lúmens [23]



Fonte: PMI Quatá, Allevant

Figura 31 – Características de instalação do poste para a via coletora Dr. Luis Barreto Filho [23]



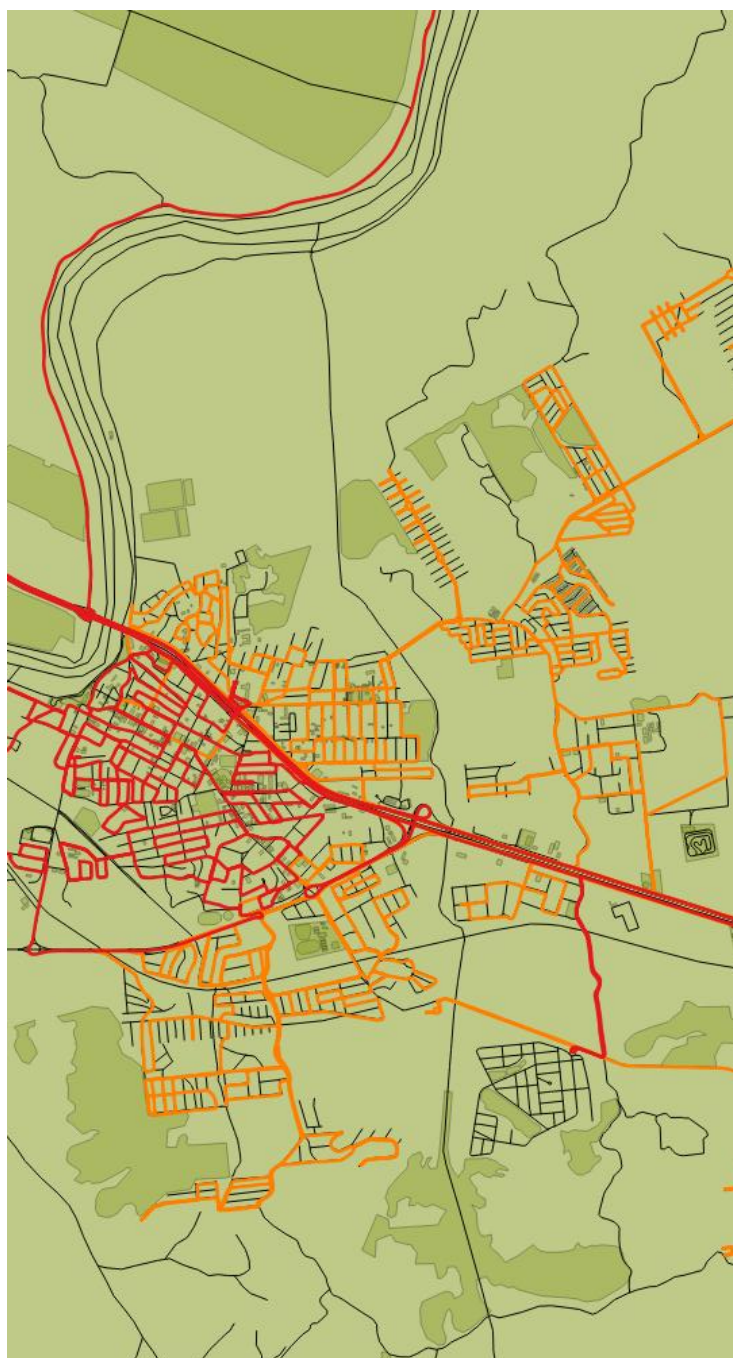
Fonte: PMI Quatá, Allevant

Uma vez que cada tipo de lâmpada apresenta uma eficiência luminosa específica (lúmens/Watt), o projeto especifica a lâmpada em lúmens e não em Watts. A Figura 31 mostra as características da instalação das luminárias no poste. Os principais fatores a serem observados são o tamanho do braço, altura da lâmpada e inclinação da luminária.

5.5 Exemplo da Navegação Offline na Cidade de Registro-SP

Outra cidade onde o sistema foi utilizado é Registro – SP. Nessa cidade, os postes foram parcialmente georeferenciados em dois dias, com o mesmo objetivo de determinar da densidade linear de postes e a classificar as vias. A Figura 32 mostra o mapa da cidade obtido do OpenStreetMaps. É possível observar em laranja as ruas percorridas no primeiro dia e em vermelho no segundo.

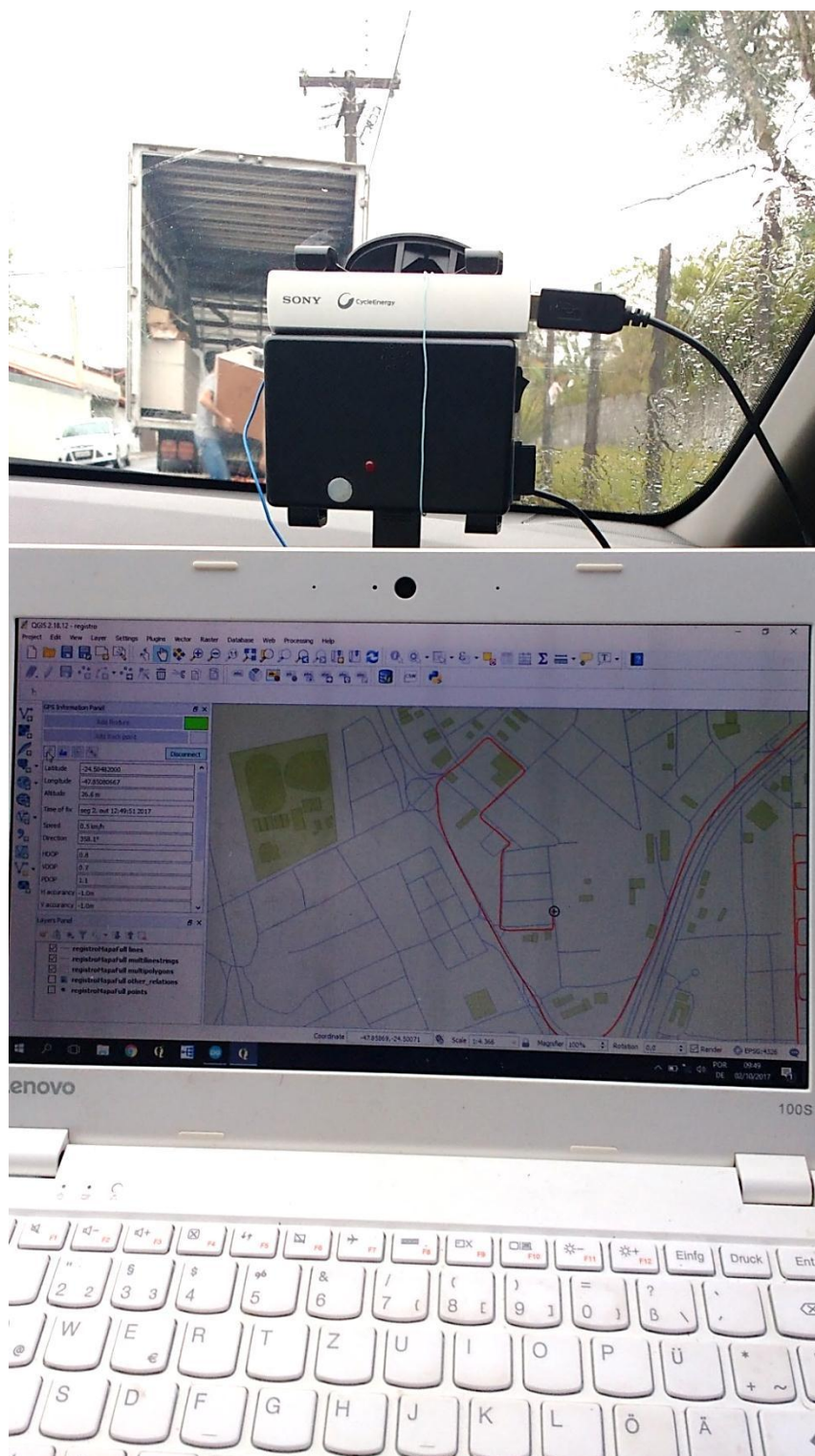
Figura 32 – Vias percorridas na cidade de Registro-SP nos dois dias de coleta



Fonte: autor

A Figura 33 mostra o uso de um notebook associado ao *datalogger* para auxiliar na navegação. No mapa mostrado na tela do notebook, é possível observar uma trilha vermelha que indica por onde o carro já passou.

Figura 33 – Navegação GPS offline feita com o software GIS e o *datalogger*



Fonte: autor

5.6 Resultados Práticos

O uso do *datalogger* permitiu acelerar e baratear o levantamento dos postes das cidades em que foi usado, em relação ao processo convencional. Sem o equipamento, demorou-se em torno de uma semana para cadastrar os postes da cidade de Governador Celso Ramos – SC (cerca de 14 mil habitantes) e outra semana para a cidade de Guaropaba – SC (cerca de 18 mil) com cinco pessoas sendo alocadas para isso. Com o *datalogger*, a cidade de Quatá – SP (cerca de 13 mil habitantes) teve seus postes contados em dois dias com uma equipe de duas pessoas. A cidade de Registro – SP (cerca de 56 mil habitantes) teve em torno de dois terços dos seus postes contados em dois dias por duas pessoas.

A diminuição do tempo necessário à contagem permitiu a empresa abrir seus horizontes a trabalhar com cidades de maior porte.

6 CONCLUSÃO

A elaboração de projetos de iluminação pública no Brasil, requer a adequação aos requisitos da NBR5101 (Iluminação Pública). A norma enumera uma série de critérios técnicos que devem ser satisfeitos para a correta iluminação de cada tipo de via. Visa propiciar conforto ao usuário, sem demasiado gasto com energia elétrica.

O projeto em lugares já posteados requer que se conheça as características do posteamento de maneira a melhor aproveitá-lo, evitando a instalação de novos postes. Vá-se a campo para colher os dados necessários para o projeto luminotécnico. Postes são georeferenciados e medidas das ruas tomadas de maneira a obter os dados necessários para o cálculo das luminárias apropriadas.

A dificuldade de georeferenciar os postes com equipamentos convencionais como GPS de mão e mapas impressos motivou o desenvolvimento de uma solução que tornasse prática e confiável o processo. Reunidos os requisitos para a montagem do protótipo, foram selecionados diversos módulos (GPS, Bluetooth, Wifi, etc...) e hardwares externos (câmera, controle remoto e notebook). Juntos, tornam possível georeferenciar e fotografar postes de maneira prática, além de ajudar na navegação pelas vias.

O sistema foi a campo, onde sua praticidade e funcionalidade foram testados, com bons resultados. São mostrados o georeferenciamento dos postes da cidade de Quatá-SP e exemplificado o processo que leva ao cálculo luminotécnico de uma de suas ruas usando as medidas colhidas. O sensível aumento na velocidade em que os postes são cadastrados com o uso do *datalogger* em relação ao método convencional fez diminuir os custos de operação da empresa (que faz o estudo luminotécnico) e abriu horizontes para trabalhar em maiores cidades.

O *datalogger* desenvolvido pode ser útil em quaisquer outras aplicações que demandam georeferenciamento ou *track* de veículos. Pode servir de base para o desenvolvimento de outros equipamentos de georeferenciamento, onde pode ser melhor explorada a integração com o *software* GIS.

7 REFERÊNCIAS

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 5101: Iluminação Pública”, Rio de Janeiro, 2012.
- [2] D. P., GUERRINI, “Iluminação Teoria e Projeto”, Editora Érica Ltda., 1º Edição, São Paulo, 2007.
- [3] FGL - FORDERGEMEINSCHAFT GUTES LICHT. "Good lighting for safety on roads, paths and squares" Braunshweig, Westermann Druck, p.14 2004.
- [4] Dial Germany, "Dialux EVO manual", Disponível em https://www.dial.de/fileadmin/documents/dialux/DIALux_downloads/DIALux%20evo%20manual.pdf Acesso em 12 de setembro de 2017.
- [5] Allevant, "Plano de Iluminação Pública - Governador Celso Ramos", São Carlos, 2016
- [6] Eletrobrás–Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, “Iluminação Pública no Brasil”. Acesso em 11 de setembro de 2017 e disponível em <http://www.eletrobras.gov.br/ELB/procel/main.asp?TeamID={EB94AEA0B206-43DE-8FBE-6D70F3C44E57}>
- [7] IBGE. Resolução da Presidência do IBGE nº05, de 31 de março de 1993. “Especificações e Normas Gerais para Levantamentos GPS: versão preliminar”. Disponível em http://www.inde.gov.br/images/inde/normas_gps.pdf. Acesso em 9 de setembro de 2017.
- [8] Força Aérea dos EUA, Informações oficiais sobre o GPS", Disponível em <http://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104610/global-positioning-system> Acesso em 9 de setembro de 2017.
- [9] Geodetic Survey of Canada. "Guidelines and Specifications for GPS Surveys (Draft 2.0)". Geodetic Survey Division, Surveys, Mapping and Remote Sensing Sector, Energy, Mines and Resources Canada. Ottawa. Maio de 1991.
- [10] Wikipedia, "Google Street View (artigo em português do Brasil)" Disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Google_Street_View#Brasil Acesso em 10 de setembro de 2017.
- [11] Huisman, Otto. "Principle os Geographic Information System" The internationsl Institute do Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, 2009.
- [12] CENSIPAM, "Quantum GIS: Manual do usuário". Versão 1.4.0 Disponível em http://portal.mda.gov.br/terralegal/pages/download/file/qgis-1.4.0_manual_do_usu%C3%A1rio_0.1c.pdf Acesso em 10 de setembro de 2017.

- [13] Onset Computer Corporation, "Data logger basics", Bourne, 2013.
- [14] Fastrax, "Fastrax UP5011 GPS Description", Vantaa, 2010.
- [15] Guangzhou HC Information Technology CO., "HC-06 Datasheet", Guangzhou, 2011.
- [16] Hackaday, "Make a cheap GoPro Remote from an ESP8266". Disponível em <https://hackaday.com/2015/12/29/make-a-cheap-gopro-remote-from-an-esp8266> , Acesso em 15 de setembro de 2017.
- [17] Microchip, "HC301 KeeLoq Code Hopping Encoder", DS21143B, Chandler, 2001.
- [18] Toshiba, "TOSHIBA SD Card Specification", Tóquio, 2006.
- [19] Atmel, "ATmega328/p Datasheet", San Jose, 2016.
- [20] Wikipedia, "GPX (artigo em português do Brasil)" , Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/GPX> Acesso em 13 de setembro de 2017.
- [21] GPSTracker, "Converts waypoints, tracks, and routes between popular GPS receivers" Disponível em <https://www.gpsbabel.org> , Acesso em 13 de setembro de 2017.
- [22] GPicSync, "Automatically geocode pictures from your camera and a GPS track log" Disponível em <https://sourceforge.net/projects/gpicsync> , Acesso em 14 de setembro de 2017.
- [23] Allevant, "Plano de Iluminação Pública - Quatá", São Carlos, 2017.