DOI: 10.48011/asba.v2i1.1220

Desenvolvimento de um Poste Fotovoltaico Automatizado para Sistemas de Iluminação Pública no Contexto das *Smart Cities*

Fernando Rodrigues Frazão *
Fernando Martins de Oliveira Neto *
Euler Cásssio T. de Macêdo * **Nady Rocha** *

* *Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba, PB, (e-mails:fernando.frazao@cear.ufpb.br, fernando.neto@cear.ufpb.br, euler@cear.ufpb.br, nadyrocha@cear.ufpb.br).*

Abstract: This paper presents the development of an automated photovoltaic pole for public lighting systems. The project consists of the use of a low cost microcontroller,which is responsible for controlling an automation circuit, through which it is possible to control the intensity of the light, manage the battery voltage and monitor the climatic conditions. Also, an important feature is a remote access of the pole information's using a developed web application.

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de um poste fotovoltaico automatizado para sistemas de iluminação pública. O projeto consiste na utilização de um microcontrolador de baixo custo, responsável por controlar um circuito de automação, por meio do qual é possível realizar o controle da intensidade da luz, gerenciar a tensão da bateria e monitorar as condições climáticas. Além disso, uma característica importante é o acesso remoto às informações do poste por meio de uma aplicação web desenvolvida.

Keywords: Automated pole; street lighting; remote control, monitoring.
Palavras-chaves: Poste automatizado; iluminação pública; controle remoto, monitoramento.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, apesar do imenso potencial energético existente, há uma preocupação constante com o grande consumo de energia elétrica destinado à iluminação pública, e consequentemente é contínua a busca por opções que permitam atenuar esse consumo. No país, aproximadamente 17% do consumo total de energia elétrica está associado à produção de luz, incluindo a iluminação pública (Volpi et al., 2006). Existem 13 milhões de pontos de iluminação pública cadastrados no Brasil. Cada ponto apresenta um consumo médio equivalente a 800 kWh/ano e uma potência média instalada de quase 184 W (SILVA, 2018).

De acordo com o último levantamento cadastral realizado pela Eletrobras, a iluminação pública no Brasil corresponde a 5% da demanda nacional, e a 3% do consumo total de energia elétrica do país. Esse valor equivale a uma demanda de 2,2 GW e a um consumo de 9,7 bilhões de kWh/ano (ELETROBRÁS, 2017). Além disso, em 2010, a ANEEL, determinou no Art. 218 da Resolução Normativa nº 414/2010 (ANEEL, 2010), que as distribuidoras de energia elétrica devem transferir o sistema de Iluminação Pública (IP) registrado como Ativos Imobilizados em Serviço (AIS) para responsabilidade dos municípios.

Essa mudança causou um aumento expressivo no gasto financeiro necessário para a manutenção da rede de iluminação pública. Enquanto responsabilidade das distribuidoras, o gasto médio com a manutenção por ponto de luz era de R$ 1,50. No entanto, quando arcado pelas prefeituras, o valor subiu para R$ 10,00. Foi o que mostrou um estudo feito pelo CREA do Paraná/PR (NETO, 2016). Esse aumento gritante reforça ainda mais a importância do sistema aqui proposto.

Dessa forma, propor maneiras de gerenciar, controlar e modernizar o setor de iluminação pública impactará positivamente na administração das prefeituras, que já demonstram enormes dificuldades para arcar com suas responsabilidades básicas, como educação, saúde e segurança pública, principalmente nesses últimos anos, em razão da recessão econômica e pandemia.

Antes do desenvolvimento deste trabalho foi feito uma revisão bibliográfica acerca de diferentes sistemas de iluminação pública inteligentes com diferentes funcionalidades que visam melhorar a eficiência energética e a qualidade da iluminação. Verificou-se que trata-se de um tema atual e que diversas soluções vêm sendo propostas na bibliografia técnica. Esses sistemas utilizam o conceito de internet das coisas, do inglês *Internet of Things* - IoT e permitem agregar diversas funcionalidades aos sistemas de iluminação (ANILA DEVI, 2014; Malhotra and Kumar, 2016; Volpi et al., 2006). A seguir são apresentados de forma resumida alguns dos trabalhos em destaque.

Sindhu.A.M et al. (2016) desenvolveram um sistema inteligente de iluminação de ruas utilizando sensores infraver-

melhos e lâmpadas LED em vez de lâmpadas de alta intensidade de descarga, do inglês, (*High-intensity discharge lamps*). O sistema foi implementado em uma via pública e neste caso, as lâmpadas do poste tinham sua intensidade variada conforme o tráfego de pessoas ou veículos.

Já os autores (ANILA DEVI, 2014) implementaram postes de rua completamente baseado em um módulo GSM (*Global System for Mobile*) junto com um módulo Zig-Bee além de alguns sensores adicionais. O sistema foi concebido com base no conceito de rede sem fio para monitoramento das condições ambientais e para isso os postes possuíam sensores acoplados à sua estrutura e sempre que havia risco de alagamento nas ruas a informação era enviada com antecedência para uma central de controle.

Os autores Malhotra and Kumar (2016) trabalharam na implementação de um sistema de iluminação pública inteligente utilizando um módulo wifi ESP 8266, o qual era responsável por enviar mensagens para uma central de controle, informando quais lâmpadas precisariam ser trocadas por estarem queimadas, aumentando assim, a sensação de segurança e boa qualidade do serviço ofertado pela cidade.

A partir das informações supracitadas, verifica-se que este trabalho, além de contemplar algumas das funcionalidades que já foram desenvolvidas em trabalhos correlatos, agrega outras inovações exclusivas, como por exemplo, um sistema de emergência que pode ser acionado a qualquer momento pelo usuário, caso ele esteja passando por uma situação de risco.

Neste contexto, neste trabalho é proposto um poste de iluminação, alimentado por energia fotovoltaica e automatizado a ser empregado em sistemas de iluminação pública utilizando uma luminária LED e uma bateria estacionária que é diariamente recarregada com a energia elétrica gerada pelo painel fotovoltaico.

Conectado ao sistema existe um controlador de carga, o qual verifica instantaneamente o nível de tensão nos terminais da bateria, protegendo-a de ser sobrecarregada, ou descarregada profundamente, e assim garante, que toda a energia produzida pelo painel fotovoltaico, seja armazenada com uma maior eficiência. Também houve uma preocupação na escolha dos componentes, buscando sempre aqueles que fossem capazes de atender os requisitos técnicos do sistemas aliado a uma boa relação custo/benefício.

2. SISTEMA PROPOSTO

Foi utilizado uma luminária de LED 12 V, que é suprida energeticamente por uma bateria estacionária, também de 12 V, a qual é diariamente recarregada com a energia elétrica oriunda de um painel solar. Conectado ao sistema existe um controlador de carga, o qual verifica instantaneamente o nível de tensão nos terminais da bateria, protegendo-a de uma eventual sobrecarga, ou descarga profunda, e assim garantindo, que toda a energia produzida pelo painel fotovoltaico, seja armazenada com uma maior eficácia. O esquemático de funcionamento do sistema proposto é mostrado na Figura 1.

Esse sistema é bastante simples e bastante difundido na bibliografia técnica, porém sem nenhum tipo de funcionalidade adicional, ou inteligência. Dessa forma, procurou-se agregar funcionalidades que tornassem o poste mais sustentável e inteligente. Essas características foram implementadas a partir do conceito muito atual, o da Internet das Coisas - IoT.

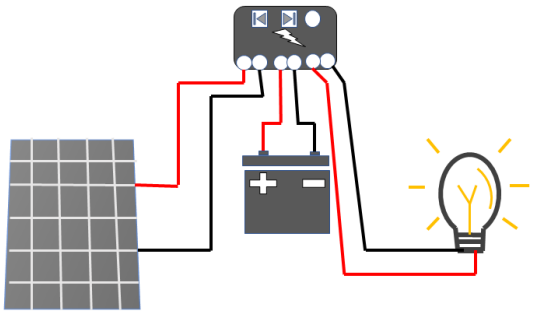

Figura 1. Representação simplificada do sistema de fornecimento de energia do poste.

A implementação das funcionalidades adicionais, como comunicação e o aumento da eficiência energética foi realizada a partir do uso do microcontrolador ESP 32 e um conjunto de sensores. Dentre os fatores que direcionaram para a escolha desse modelo de microcontrolador pode-se citar o baixo custo em comparação a outros modelos, baixo consumo e abrangente disponibilidade de pinos de entradas tanto analógicas quanto digitais, além da possibilidade de conexão à uma rede sem fio (*wifi*).

Dentre os sensores empregados no sistema, tem-se um de temperatura e umidade que afere constantemente o valor dessas grandezas, há também um sensor de tensão, no qual estabelece um intervalo de tensão para operação da bateria, o sensor realiza a medição do valor da tensão instantaneamente, funcionando como um segundo controlador de carga, além disso, existe um sensor de detecção de movimento do tipo PIR (*Passive Infrared Sensor*) que sempre que a lâmpada está ligada, ele verifica se há presença de veículos ou pessoas e, uma vez detectado algum movimento, a lâmpada opera com potência máxima, caso contrário ela é reduzida para um percentual inferior, que após testes, adotou-se 40% da potência máxima com o intuito de não prejudicar a segurança. Essa funcionalidade permite aumentar a economia de energia e prolongar o tempo de vida útil tanto da bateria quanto da lâmpada.

Ademais, com o intuito de aplicar o sistema desenvolvido em um número elevado de postes, foi estabelecido um protocolo de acesso remoto entre usuário e postes. Considerou-se cada poste como sendo um nó sensor e assim, o conjunto de postes e uma rede de sensores sem fio.

Foi desenvolvida uma ferramenta *web*, que permite o gerenciamento remoto por meio de um site ou a partir de aplicativo de celular. A partir do sistema foi desenvolvido um banco de dados, o que possibilitou o acompanhamento das informações relacionadas a cada poste e a consequente tomada de decisões pelos gestores da rede. A seguir são detalhadas algumas das funcionalidades disponíveis.

2.1 Controle de Luminosidade

O controle de luminosidade da luminária foi implementado utilizando um sensor de movimento infravermelho (PIR), que permite detectar movimentos com até 7 metros de distância em conjunto com um LDR (*Light Dependent Resistor*). Quando o LDR detecta uma redução de 60% da incidência de iluminação natural, a lâmpada é acionada. Na sequência, é feita a verificação da existência de movimentos na região do poste, caso seja detectado a presença de um pedestre ou veículo a lâmpada funciona com sua potência nominal de 50 W, caso contrário, a lâmpada só funciona com 40% de sua potência nominal, ou seja, 20 W. Na Figura 2 é representado o fluxograma do controle de luminosidade.

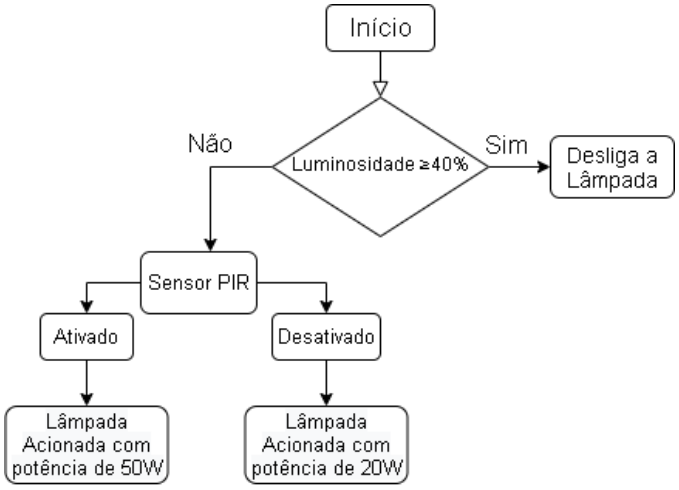

Figura 2. Fluxograma do controle de iluminação.

2.2 Controle e Automação do Sistema de Iluminação

Conforme informado, o microcontrolador ESP 32 foi escolhido para o desenvolvimento deste projeto devido o seu baixo custo e também pela funcionalidade de conexão simplificada à internet. Na escolha do protocolo de comunicação, foi selecionado o MQTT (*MQ Telemetry Transport*), que é um protocolo de mensagens leve em termos de poder computacional exigido e destinado a sensores e pequenos dispositivos móveis, sendo otimizado para redes TCP/IP. Basicamente é um protocolo de comunicação M2M (*Machine−to−Machine*) de simples concepção, e uso de Internet e facilmente utilizável nas linguagens de programação mais requeridas no mercado. O padrão de troca de mensagens no MQTT é o *publish/subscriber* (publicador/subscritor). Neste padrão, quando um elemento da rede deseja receber uma determinada informação, ele a subscreve, fazendo uma requisição para um outro elemento da rede capaz de gerir as publicações e subscrições. Na rede MQTT este elemento é conhecido como *broker*, o intermediário no processo de comunicação. Elementos que desejam publicar informações o fazem também por meio do *broker*, enviando-lhe as informações que possuem naquele momento.

Simplificadamente, a comunicação MQTT é composta das seguintes partes:

- ***Publishers***: o(s) dispositivo(s) que irá (irão) disponibilizar informações;
- ***Subscribers***: o(s) dispositivo(s) que irá (irão) receber as informações;
- ***Broker***: este é o servidor da comunicação MQTT. Ele fica hospedado em um servidor na Internet, acessível de qualquer lugar do mundo desde que haja conexão com à Internet (“na nuvem”).

Por último, foi desenvolvido o código do *Firmware* com o emprego da Linguagem C. O código após compilado para a ESP 32, faz com que o microcontrolador esteja habilitado a realizar as tarefas declaradas no programa.

Na Figura 3 é ilustrado o fluxo de comunicação de dados entre o usuário, servidor e os postes de iluminação.

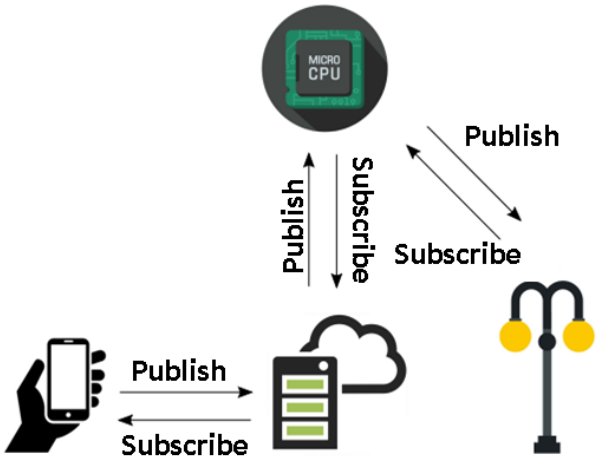

Figura 3. Automação do sistema.

2.3 Desenvolvimento do Aplicativo

Para que o usuário possa acompanhar todas as informações referentes aos postes, foi desenvolvido um aplicativo que pode ser utilizado tanto em navegadores de internet quanto em forma de aplicativo para celulares. A solução foi desenvolvida utilizando as linguagens de programação HTML (*Hypertext Markup Language*) e Javascript e é composta basicamente por duas telas. Na tela inicial é possível acompanhar o status de funcionamento da lâmpada, ou seja, se a mesma está acesa ou apagada, assim como, é possível cadastrar novos postes, conforme apresentado na Figura 4.

Ao se selecionar um poste desejado, uma segunda página é aberta, na qual o usuário terá acesso a informações mais detalhadas sobre o equipamento. São apresentadas as grandezas monitoradas, tais como, o valor da iluminância local, a temperatura e umidade do ar, o valor de tensão na bateria, informações acerca da existência de movimento ou não na via, além de ser possível acionar uma alerta de emergência em situações de perigo, conforme é mostrado na Figura 5.

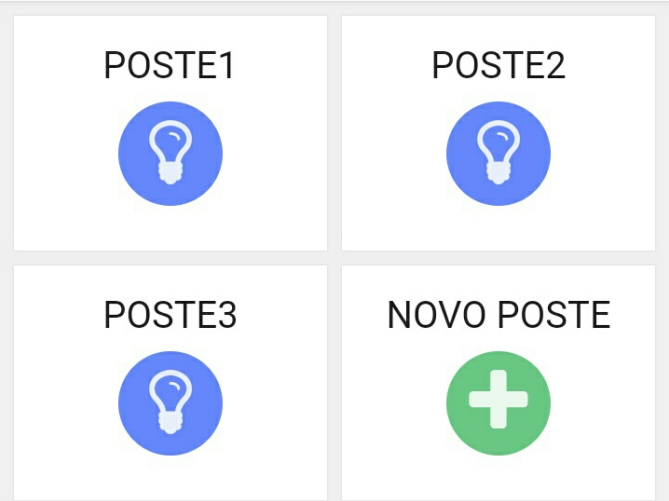

Figura 4. Tela Inicial do aplicativo.

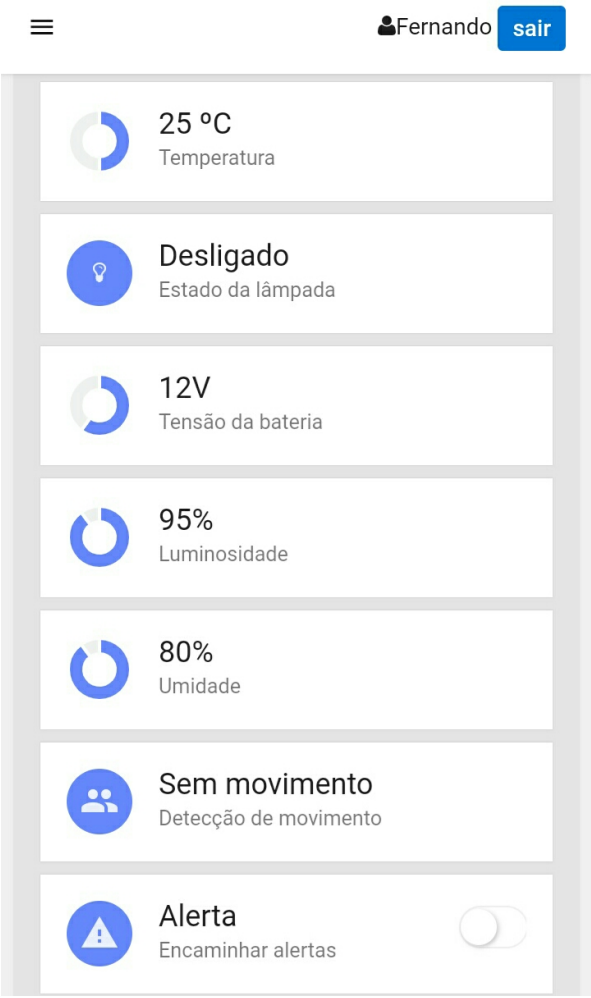

Figura 5. Segunda tela com detalhes de cada poste.

2.4 Modelo Construtivo do Poste

O Poste foi projetado para ter uma altura de 5 m, com uma luminária LED de 50W que possui ângulo de irradiação de 120°. No topo de sua estrutura foi projetada uma caixa metálica, na qual se instalou uma bateria estacionária de 63 Ah e todo o circuito elétrico desenvolvido. Na parte superior da caixa foi posicionado um painel fotovoltaico de silício policristalino de 95 W. O esquemático 3D do poste projetado é apresentado na Figura 6.

Figura 6. Modelo 3D do poste desenvolvido.

3. RESULTADOS

Nesta Seção serão apresentados os principais resultados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho.

3.1 Avaliação do Consumo de Energia

A luminária utilizada neste projeto, conforme apresentado anteriormente possui potência nominal de 50 W, além disso, ela fica em funcionamento durante um intervalo de aproximadamente 12 horas (período noturno). No entanto, devido ao controle de luminosidade que foi implementado, a luminária opera durante a noite com uma potência de 20 W na maior parte do tempo, exceto quando houver detecção de movimentos no seu entorno. Assim, foi feito um comparativo do consumo mensal de energia elétrica entre um poste convencional e o poste desenvolvido neste trabalho, levando em consideração um mês de 30 dias. Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

- **Poste convencional**:
$$E = P \times T = 50 \times 12 \times 30 = 18.000Wh$$
- **Poste automatizado**:
$$E = P \times T = 20 \times 12 \times 30 = 7.200Wh$$

Vale ressaltar que esta comparação vai depender do fluxo de veículos e pessoas no local, Desta forma, os valores obtidos são apenas uma aproximação do consumo. No entanto, apesar dos valores serem aproximados, eles são suficientes para mostrar que o poste automatizado permite uma redução de quase 60% do consumo de energia em

relação a um poste convencional a partir do efeito de dimerização automática. Na Figura 7 é possível observar a lâmpada operando na potência nominal, quando é identificado movimento, já na Figura 8 é representado o funcionamento da luminária com a potência de apenas 20 W.

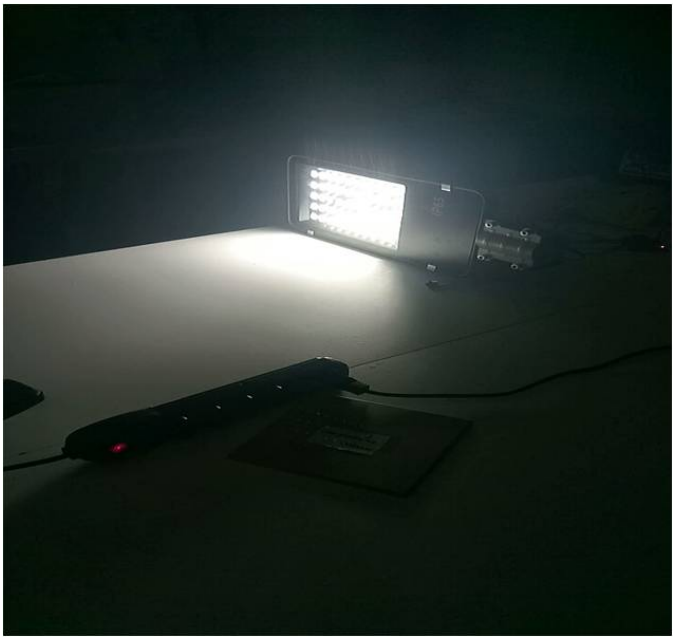

Figura 7. Luminária acessa operando na potência nominal.

Figura 8. Luminária acessa operando com potência limitada a 20 W.

3.2 Criação de Relatórios e Acesso ao Banco de Dados

Além do aplicativo de controle apresentado, foi desenvolvido um sistema de geração de relatórios baseado no banco de dados criado, no qual todas as informações referentes aos postes são armazenadas e apresentados aos usuário do sistema de forma gráfica. Dessa forma, é possível consultar o comportamento das grandezas como temperatura, ou qualquer outra, em determinado dia e horário. Para isso, ao navegar pelo aplicativo, o usuário deve selecionar o poste, na sequência a informação que deseja acessar e a data em interesse. O processo de seleção é representado na Figura 9.

Figura 9. Representação do Menu de seleção para emissão de relatórios.

Nas Figuras 10 e 11 são mostrados, respectivamente, exemplos da funcionalidade de criação de relatórios. Na Figura 10 por exemplo, foi traçado o gráfico do número de movimentações durante a noite do dia 27 de outubro de 2019. Percebe-se que naquela noite houveram apenas 5 movimentações, sendo 1 entre 18h e 19h, 3 entre 19h e 20h e 1 entre 20h e 22h. Esses dados foram obtidos experimentalmente, apenas com a finalidade de exemplificar a funcionalidade do projeto.

De forma similar, apresenta-se na Figura 11, o comportamento da temperatura para o mesmo dia, também em relação ao Poste 1. É possível identificar, por exemplo, que às 17h04 daquele dia a temperatura era de 28º C.

Figura 10. Representação gráfica da detecção de movimentos do poste 1.

Figura 11. Gráfico de temperatura ambiente.

3.3 Front-end da aplicação

Por último foi desenvolvido um painel de controle utilizando PHP (*Hypertext Preprocessor*), uma linguagem de *script open source* de uso geral, muito utilizada, e especialmente adequada para o desenvolvimento *web* e que pode ser embutida dentro do HTML. Isso significa que ela garante a formatação ideal para sites e aplicativos.

O painel de controle tem como objetivo simplificar o relacionamento do usuário com o sistema e tornar a leitura de dados mais intuitiva, bem como restringir o acesso e oferecer mais segurança ao sistema. Desta forma, existem 3 tipos de usuários: *Root, Admin, Leitor*. As atribuições de cada usuário são apresentadas na Figura 12 e detalhadas a seguir.

O usuário tipo *Root* é capaz de cadastrar novas instituições, e novos usuários do tipo *Admin* e *Leitor*, além disso tem acesso a todas configurações do sistema.

O usuário tipo *Admin* poderá cadastrar novos usuários do tipo *Leitor*, cadastrar, alterar e excluir dispositivos e gerar relatórios com base nos dados salvos no banco de dados.

Por fim, o usuário tipo *Leitor* só terá permissão de visualizar o sistema em tempo real. Todos os usuários serão cadastrados com nome, email e senha.

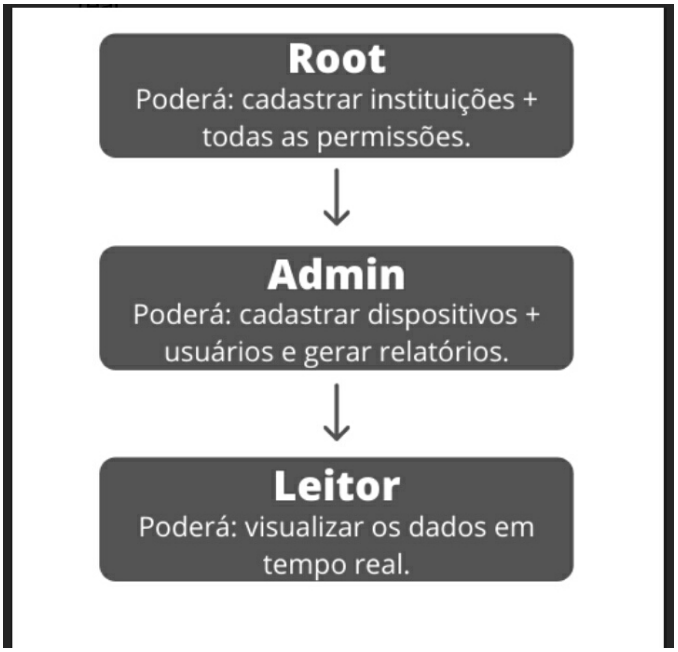

Figura 12. Funcionalidades e hierarquia de cada tipo de cada tipo de usuários.

Esse tipo de organização permite o acesso restrito a cada tipo de usuário, podendo até criar o engajamento da sociedade, baseado no conceito de *Smart City*.

3.4 Análise de Custo

Por último, foi feito uma análise do custo necessário para confecção de um poste automatizado. Dessa forma, foi feito um levantamento do preço de cada um dos componentes que serão utilizados. O preço individual de cada equipamento, assim como o valor total, são mostrados no Tabela 1.

Material	Quantidade	Preço/unid (R$)
Bateria	1	450
Painel fotovoltaico	1	320
Luminária de LED	1	170
Controlador de carga	1	50
ESP 32	1	40
Sensor PIR	1	8
Sensor de tensão	1	8
LDR	1	0,25
Sensor de temperatura	1	10
Módulo relé	2	7
Total		1063,25

Tabela 1. Custo de confecção do poste.

Após análise dos valores e estimativas feitas, pode-se observar que apesar do poste proposto neste trabalho demandar muitos componentes e alguns serem relativamente caros, os gastos com a manufatura e aquisição desses materiais serão compensados satisfatoriamente com o baixo consumo de energia e manutenção reduzida.

Embora ainda não tenha sido instalado nenhuma unidade do poste automatizado, especula-se que além da compra dos materiais os gastos extras com sua instalação fique entre R$300,00 e R$400,00, enquanto isso, de acordo com Gripp (2019) os custos de instalação de um poste convencional com lâmpadas de vapor metálico varia entre R$ 900 e R$ 4.000,00. Sendo assim, o retorno do investimento com a implementação do poste apresentado neste trabalho pode ocorrer em aproximadamente 20 meses.

4. CONCLUSÃO

Neste artigo foram apresentados os procedimentos necessários para o desenvolvimento de um poste de iluminação pública baseado nos conceitos de internet das coisas e rede de sensores sem fio. O poste possui a característica de ser auto alimentado a partir de um painel solar, o qual armazena a energia gerada durante o dia em uma bateria estacionária. O sistema desenvolvido apresenta funcionalidades adicionais, que contribuem para o conceito atual das cidades inteligentes. O poste permite otimizar o recurso energético a partir da dimerização da lâmpada, além de aumentar a vida útil do equipamento. Ademais, permite monitorar grandezas como o estado de carga da bateria, temperatura e umidade ambiente, alerta de movimento e registro de ocorrências de perigo. Por último, foi desenvolvido um aplicativo destinado a dispositivos móveis, para que assim, o usuário gestor da rede consiga fazer um acesso remoto aos postes de qualquer lugar que ele esteja, necessitando apenas de um celular ou computador e, conexão com a internet. Tendo assim, um controle total em tempo real de todos os parâmetros do sistema, propiciando assim, uma melhor prestação do serviço público. Os resultados obtidos de forma preliminar foram satisfatórios, o que encoraja a continuação e implementação do sistema em uma cidade real, agregando outras funcionalidades, como por exemplo, o monitoramento de vias públicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) por meio do Programa de Educação Tutorial do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba.

REFERÊNCIAS

ANEEL (2010). Resolução normativa 414/2010. Agência Nacional de Energia Elétrica.

ANILA DEVI, Y.and PRAKASH, V.J. (2014). Gsm based remote control system of high efficiency intelligent street lighting system using a zigbee network of devices and sensor. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3, 2319–7064.

ELETROBRÁS (2017). Relatório anual, disponível em https://eletrobras.com/pt/paginas/relatorio-anual.aspx.

Gripp, Á.A.F. (2019). Autoeficiência energética na instalação de postes autônomos em locais off-grid e o benefício econômico do retrofit da iluminação pública obsoleta por led.

Malhotra, S. and Kumar, V. (2016). Smart street lighting system: An energy efficient approach. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5, 1082–108.

NETO, W. (2016). In C.R. de Engenharia e Agronomia do Paraná (ed.), *Série de cadernos técnicos da agenda parlamentar*, volume 2. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná, Paraná.

SILVA, L.L.F.D. (2018). *Iluminação Pública no Brasil: Aspectos energéticos e institucionais*. Master's thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Sindhu.A.M, George, J., Roy, S., and J, C. (2016). Smart streetlight using ir sensors. *IOSR Journal of Mobile Computing and Application*, 3, 39–44.

Volpi, G., Jannuzzi, G., Dourado, R., and Gomes, M. (2006). A sustainable electricity blueprint for brazil. *Energy for Sustainable Development*, 10(4), 14 – 24. doi:https://doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60552-9. URL `http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082608605529`.