GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL

ESTUDOS DE VIABILIDADES TÉCNICA E ECONÔMICA SOBRE O COMPARTILHAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO SMART GRID COM APLICAÇÕES DE SMART CITIES E IOT

GIANCARLO COVOLO HECK(1); LOURIVAL LIPPMANN JUNIOR(1); LUCIANA MICHELOTTO IANTORNO(1); VICTOR BARPP GOMES(1); ADRIEL GUIMARÃES DE LIMA(1); TIAGO AUGUSTO SILVA SANTANA(2); ROBERTO ANDRÉ HEXSEL(3)
LACTEC(1); COPEL DISTRIBUIÇÃO(2); UFPR(3)

RESUMO

As cidades inteligentes (*Smart Cities*) e a internet das coisas (*Internet of Things* - IoT) vieram para ficar, eram conceitos apresentados em feiras e congressos há alguns anos e hoje são realidades em plena expansão. O que estas soluções possuem em comum? Precisam de conectividade para que os seus sistemas obtenham os dados, façam os processamentos necessários e gerem as informações para os usuários. Sem a conectividade entre os dispositivos, sistemas e usuários, simplesmente não teríamos *Smart Cities* nem IoT. Este trabalho apresenta os resultados do projeto de pesquisa e desenvolvimento do programa ANEEL intitulado “Aplicações Smart City sobre a rede Smart Grid de Ipiranga”.

PALAVRAS-CHAVE

Smart Grid, Smart City, IoT, Wi-SUN, Compartilhamento de Infraestrutura

1.0 INTRODUÇÃO

As grandes cidades brasileiras e mundiais são bem servidas de opções de meios de comunicação públicos e/ou privados. Podemos citar dentre algumas opções as tecnologias celulares (GPRS, GSM, LTE, 4G e 5G), de redes sem fio de curto alcance (Zigbee, Zwave, Thread, WirelessHart, Bluetooth e Wi-Fi) e de redes sem fio de médio e longo alcances (JupiterMesh, M-Bus, NB-IoT, LoRa, Sigfox e Wi-SUN). No entanto, nas cidades de menor porte ou nas áreas rurais, não há viabilidade econômica para as operadoras de telecomunicações implantarem e operarem grande parte destas redes de comunicação. Nestes casos as opções se restringem ao uso de rádios ponto a ponto de longo alcance e às coberturas via satélite, como Bgan, Inmarsat, VSAT.

Por outro lado, para as distribuidoras de energia que pretendem melhorar sua eficiência e qualidade em todas as localidades que atendem, existe a alternativa de implantar o seu próprio meio de comunicação utilizando o conceito de redes inteligentes (*Smart Grids*). Isto foi realizado pela Copel no município de Ipiranga, o qual possui cerca de 15 mil habitantes em uma área de 927 km² (1). São aproximadamente 5250 consumidores de energia elétrica e 60% destes residem na área rural. A Copel investiu em uma infraestrutura de telecomunicações para uso próprio, permitindo a cobertura completa do município, para a implantação do seu sistema de *Smart Grid*, que inclui as aplicações de medição e automação da rede elétrica.

A implantação de uma rede *Smart Grid* resulta em muitos benefícios para as concessionárias, refletindo na melhora dos indicadores de continuidade de fornecimento de energia e na redução de custos operacionais, entre outros tantos. A possibilidade de compartilhamento das redes de comunicação *Smart Grid*, além de viabilizar que outras companhias e a indústria ofereçam novos serviços para a população, permitirá que as concessionárias acelerem o retorno dos seus investimentos através da cobrança pelo compartilhamento da infraestrutura da rede, dado que o custo de implantação das mesmas ainda é alto, principalmente em regiões rurais.

Este trabalho apresenta os resultados do projeto de pesquisa e desenvolvimento do programa ANEEL intitulado “Aplicações Smart City sobre a rede Smart Grid de Ipiranga”, contratado pela Copel e executado pelo Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – Lactec. O objetivo é validar na prática a viabilidade técnica, econômica e de desempenho do compartilhamento da rede de comunicação *Smart Grid* padrão Wi-SUN, originalmente implantada pelas concessionárias para prover acesso aos seus processos de telemedição e automação, com novas aplicações voltadas aos conceitos das cidades inteligentes (*Smart Cities*) e da internet das coisas (*Internet of Things* - IoT).

As próximas seções estão organizadas da seguinte forma. A seção 2 apresenta as características da rede *Smart Grid* implantada pela Copel em Ipiranga, a seção 3 detalha o desenvolvimento das aplicações que foram selecionadas para teste, a seção 4 apresenta como foi viabilizado tecnicamente o compartilhamento da rede, enquanto na seção 5 é discutida a viabilidade econômica do compartilhamento. Na seção 6 são comentados os trabalhos relacionados e a seção 7 apresenta as conclusões.

2.0 A SMART GRID DE IPIRANGA

A rede de *Smart Grid* da Copel em Ipiranga é formada por duas camadas de rádio frequência (RF). A camada superior, de *backhaul* ou WAN (*Wide Area Network*), é constituída por rádios de 900 MHz que operam nas topologias ponto-a-ponto e multiponto e possuem taxas de transferência de 125 kbps à 1,25 Mbps. A camada inferior, rede *mesh* ou FAN (*Field Area Network*), é composta por medidores inteligentes, roteadores e coletores de dados que operam no padrão Wi-SUN (*Smart Ubiquitous Networks*), o qual segue a especificação IEEE 802.15.4g (2) e é promovido pela Aliança Wi-SUN (3). A Figura 1 ilustra a disposição georreferenciada dos equipamentos na rede presente em Ipiranga. Na Figura 1 (a) são ilustrados os links de rádio que conectam os religadores automáticos (marcadores amarelos), os reguladores de tensão (balões vermelhos) e os coletores de dados (estrelas verdes). Enquanto na Figura 1 partes (b) e (c) são ilustrados os componentes da infraestrutura avançada de medição (*Advanced Metering Infrastructure* – AMI), coletores de dados (estrelas verdes), roteadores (bandeiras azuis) e medidores inteligentes, área rural com pontos verdes e área urbana com pontos amarelos.

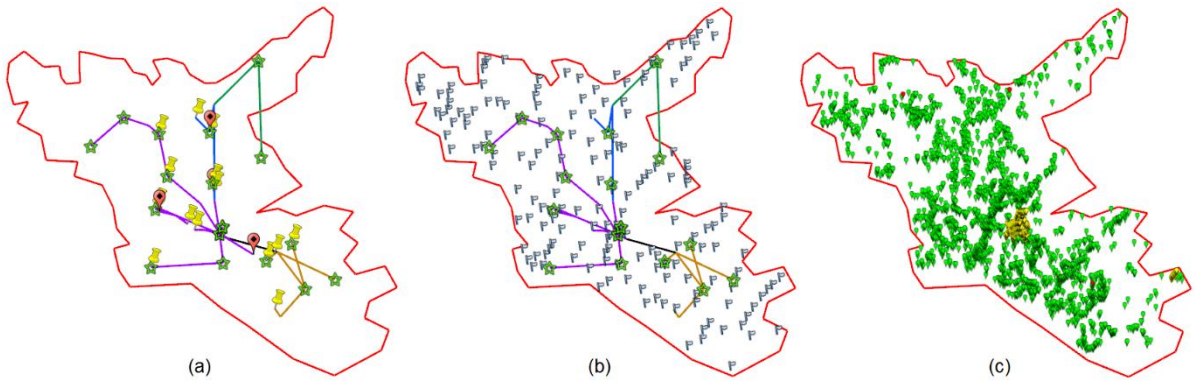


FIGURA 1 – Ilustração da *Smart Grid* de Ipiranga.

Os módulos coletores são a interface entre a rede *mesh* e o link de *backhaul* até o sistema MDC (*Meter Data Collection*). Um coletor é capaz de atender até 2000 *endpoints* (medidores inteligentes ou módulos de rádio). Os módulos roteadores são capazes de atender até 1500 *endpoints* e sua função é de potencializar o alcance dos rádios, diminuindo o número de saltos na comunicação com os *endpoints*. O restante da rede é formada pelos medidores inteligentes (*smart meters*) e pelos módulos de rádio, sendo estes últimos utilizados para o desenvolvimento de novas aplicações sobre a rede. Cada novo módulo de comunicação é previamente cadastrado e configurado para operar na rede da empresa, o que aumenta a segurança do sistema.

2.1 Avaliação Prévia da Rede de Comunicação

Um primeiro estudo sobre a rede *Smart Grid* de Ipiranga foi efetuado visando gerar indicadores de desempenho e verificar o seu comportamento durante períodos de funcionamento normal e durante a ocorrência de eventos atípicos. Estes dados servem como base de comparação para uma segunda análise, a ser efetuada após a instalação das novas aplicações sobre a rede, permitindo medir o impacto das aplicações no desempenho da rede e definir quantos dispositivos de cada nova aplicação poderão ser agregados à rede sem a necessidade de novos investimentos.

As métricas utilizadas para avaliação da rede foram: (1) a latência média por coletor, que representa o tempo médio entre o envio de uma mensagem até o retorno da respectiva resposta, dada em milissegundos; (2) o número de pacotes de entrada e de saída por coletor; e (3) o percentual de perda de dados diária de fechamento de fatura.

A Tabela 1 apresenta a média diária dos dados por coletor para as métricas de latência média e números de pacotes de entrada e saída obtidos durante a avaliação do mês de janeiro de 2021. Os coletores de identificadores (ID) 1 e 2 estão dispostos na região urbana da cidade, enquanto os demais estão na área rural. Além dos dados de desempenho foi inserida também a quantidade de medidores presentes no período em cada coletor.

Quanto à métrica do percentual de perda de dados de fechamento de fatura diário, verificou-se que este oscila entre valores de 1% a 2%, mas isto não impacta no objetivo de fechamento de fatura mensal pois os dados não recebidos em um determinado dia são coletados posteriormente pelo sistema.

Com base nas medições e nas informações de capacidade dos coletores fornecidas pelo fabricante dos equipamentos calculou-se uma estimativa da quantidade ociosa (disponível) de pacotes na rede de cerca de 300 mil pacotes diários, distribuídos nos 21 coletores instalados em Ipiranga, e isto indica a viabilidade da inserção de novos dispositivos na rede.

TABELA 1 – Dados da Latência Média e Números de Pacotes de Entrada e Saída.

ID do coletor	quantidade de medidores	latência média (ms)	# pacotes entrada	# pacotes saída
1	677	1184	21454	47233
2	705	961	18484	33798
3	324	1105	25029	22703
4	207	730	18065	21363
5	250	591	16364	25671
6	359	651	12357	21968

Uma segunda avaliação de desempenho da rede de comunicação de Ipiranga será efetuada logo após a instalação dos dispositivos das novas aplicações a serem testadas.

3.0 APLICAÇÕES DESENVOLVIDAS

A primeira etapa do projeto compreendeu a pesquisa de requisitos das aplicações a serem desenvolvidas, visando compreender quais aplicações de *Smart City* seriam mais úteis para a Copel, no contexto do compartilhamento da rede de *Smart Grid*, bem como para os moradores da cidade de Ipiranga.

De acordo com os dados coletados nas entrevistas realizadas com os moradores, a cidade de Ipiranga possui poucos problemas de cunho social que possam ser resolvidos com soluções de comunicação. A grande maioria dos moradores possui acesso à internet, este canal já possibilita que mesmo os moradores da região rural acessem informações relevantes para suas rotinas. Os entrevistados destacaram inclusive, a utilização das redes sociais pelos moradores da cidade, para a comunicação entre si e com a prefeitura.

A cidade não possui semáforos, a segurança pública não é um problema social, a comunicação entre os moradores acontece via internet ou telefone fixo. Assim, dentre as possíveis soluções típicas de *Smart Cities* pensadas para Ipiranga, as que fizeram mais sentido para o contexto da cidade foram: (1) o monitoramento do clima para auxílio à agricultura, (2) a medição de consumo de água e (3) o controle da iluminação pública.

As próximas seções detalham as características e ilustram cada uma das aplicações.

3.1 Estação Meteorológica

A integração de estações meteorológicas permite que os agricultores da região efetuem o acompanhamento do clima, auxiliando nas tomadas de decisão de plantio, irrigação e colheita. Para esta aplicação foi escolhida uma estação que disponibilizasse os principais parâmetros a serem monitorados e que fosse adequada para integração com o módulo de comunicação da rede *Smart Grid* de Ipiranga. A Figura 2 ilustra o equipamento de medição, os módulos que foram integrados e a estação instalada próximo ao Lactec durante a realização dos testes de validação.

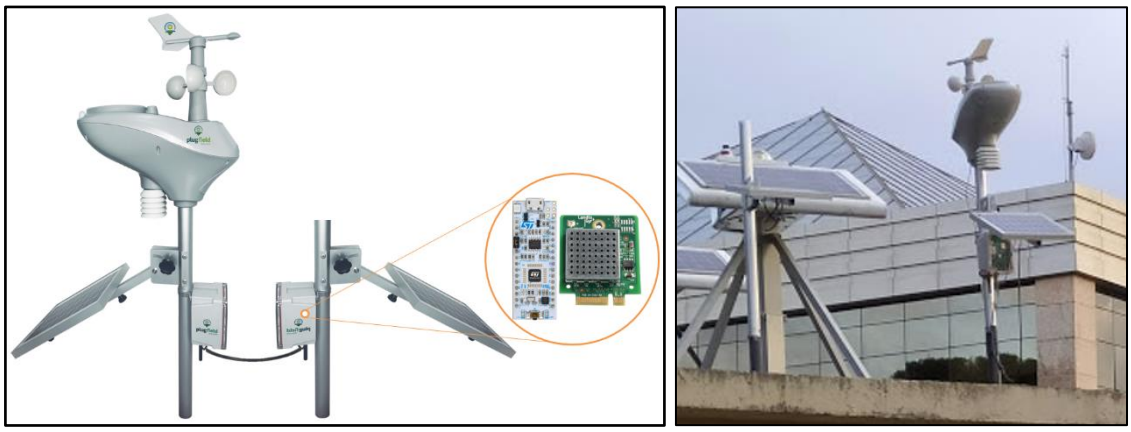


FIGURA 2 – Aplicação Estação Meteorológica.

Os dados da aplicação da estação meteorológica são encaminhados em formato pré-definido pelo fornecedor da estação e correspondem a uma sequência de caracteres contendo os dados medidos. Esta sequência possui aproximadamente 80 *bytes* e é coletada a cada 15 minutos. Para a aplicação da estação meteorológica foi utilizado o próprio sistema fornecido pelo fabricante do equipamento para a coleta e visualização dos dados. A Figura 3 mostra os dados de velocidade do vento e luminosidade medidos pela estação e exibidos na tela do sistema.

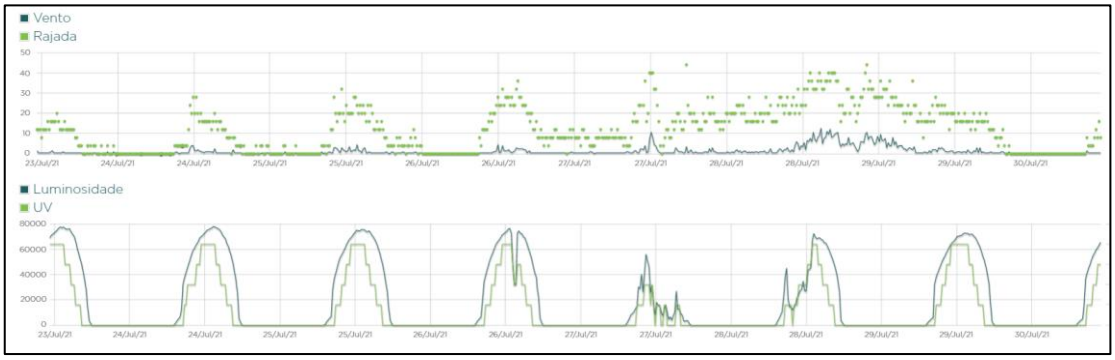


FIGURA 3 – Gráficos visualizados no software da estação meteorológica.

3.2 Medição do Consumo de Água

Para a integração de medidores eletrônicos de água foi firmado um acordo de cooperação com a Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar, no intuito de criar uma solução que atendesse as necessidades do setor. O desenvolvimento da solução foi efetuado sobre medidores eletrônicos com a tecnologia de comunicação M-BUS, sendo necessário um circuito eletrônico de interface de sinais, além de uma CPU e do módulo de comunicação da rede *Smart Grid*. A solução permite, além da leitura remota do consumo de água, a identificação de falhas (vazamentos, violações, entre outros), bem como pode viabilizar a programação de fluxos de produção para otimização do processo de distribuição de água, caso implantada de forma massiva no futuro. A Figura 4 ilustra os componentes da solução, a placa de circuito impresso montada e o protótipo produzido.

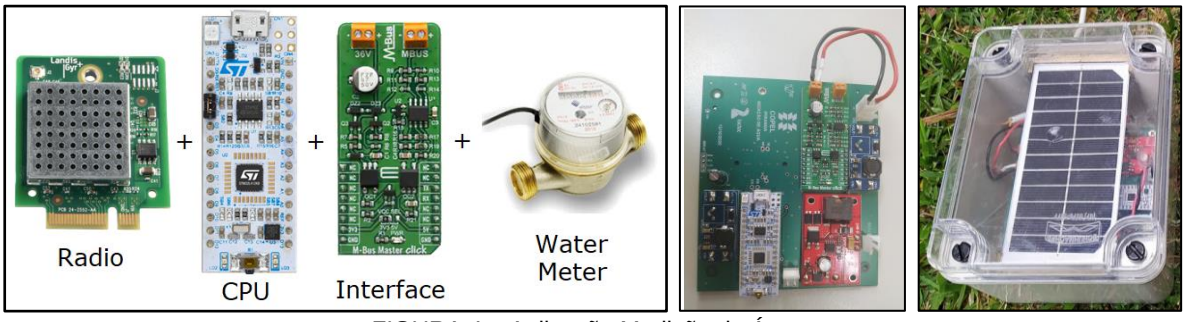


FIGURA 4 – Aplicação Medição de Água.

A aplicação de medição de água registra as medições do consumo acumulado a cada hora e infere situações de anomalia, como o excesso de consumo, com base em dados históricos registrados. As transmissões dos dados ocorrem uma vez por dia para o sistema de monitoramento que foi desenvolvido especificamente para esta solução. A Figura 5 ilustra um exemplo de gráfico de consumo exibido na aplicação.

FIGURA 5 – Gráfico visualizado na aplicação medição de água desenvolvida para teste do projeto.

3.3 Iluminação Pública

A integração de dispositivos que permitem o monitoramento do estado das lâmpadas (acesa, apagada e/ou queimada), visam agilizar o processo de substituição de lâmpadas, bem como acompanhar com precisão o funcionamento do sistema de iluminação pública. Os equipamentos, além de identificar o estado da lâmpada, também medem a tensão e a corrente no ponto instalado e permitem controlar a mudança de estado (ligar e desligar) de forma automática ou em modo manual. A Figura 6 ilustra os componentes utilizados na solução, o circuito montado e o módulo instalado em uma luminária para a execução dos testes.

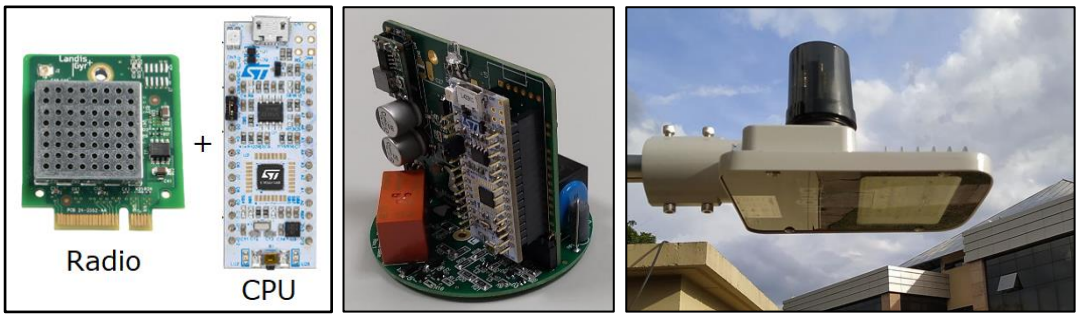


FIGURA 6 – Aplicação Iluminação Pública.

Para o acompanhamento dos equipamentos de iluminação pública foi desenvolvido um protótipo de sistema de monitoramento específico. A Figura 7 ilustra uma tela georreferenciada exibindo os locais de instalação dos equipamentos e a indicação do estado das luminárias.

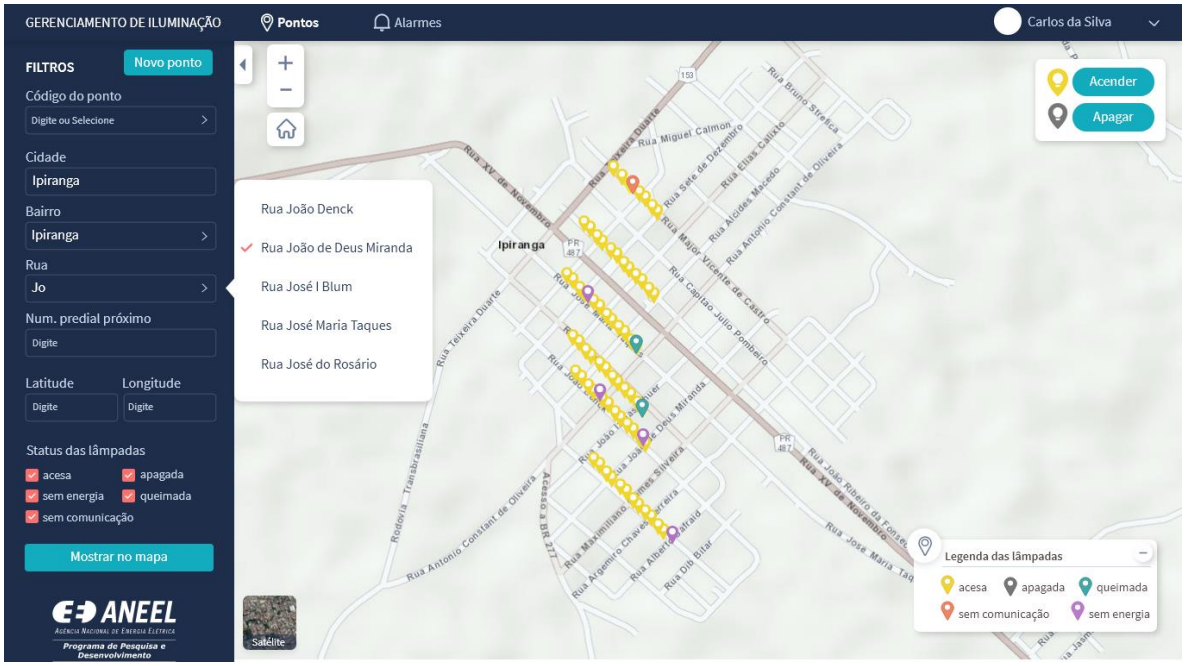


FIGURA 7 – Tela da aplicação de monitoramento da iluminação pública.

Esta aplicação efetua no mínimo duas transmissões de dados por dia, programadas para ocorrer nos momentos de acendimento e apagamento da lâmpada, mas pode ser configurado para efetuar transmissões periódicas caso desejado.

4.0 ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO COMPARTILHAMENTO DA REDE

Nesta etapa dos trabalhos foram pesquisadas as características da rede de comunicação *Smart Grid* de Ipiranga e quais soluções poderiam ser utilizadas para se conseguir a integração de novas aplicações. Verificou-se que, embora a rede utilize internamente o protocolo IPv6 com transporte UDP, ela não permite que os dispositivos de terceiros usufruam da flexibilidade do endereçamento IP e dos números de porta UDP diretamente.

A transferência de dados entre os módulos de rádio (dispositivos) e o sistema que gerencia a rede (*Meter Data Collection* - MDC) é feita via modo transparente e não há nenhum protocolo de controle no rádio: quaisquer bytes transmitidos por um dispositivo através da porta serial são transferidos inalterados ao servidor, e vice-versa.

Uma particularidade do sistema é que a aplicação externa que conecta ao sistema MDC deve utilizar uma API baseada em *web service* SOAP/XML para receber e enviar mensagens para os dispositivos equipados com os módulos de rádio. Esta aplicação deve gerenciar a conversão de endereços entre os módulos de rádio e as aplicações externas que desejam se comunicar com cada dispositivo.

Tendo em vista essas restrições, selecionou-se o MQTT-SN como protocolo de aplicação, atuando como *middleware* para o tráfego dos pacotes de dados das variadas aplicações de *Smart City* e IoT. A arquitetura de comunicação projetada é apresentada na Figura 8.

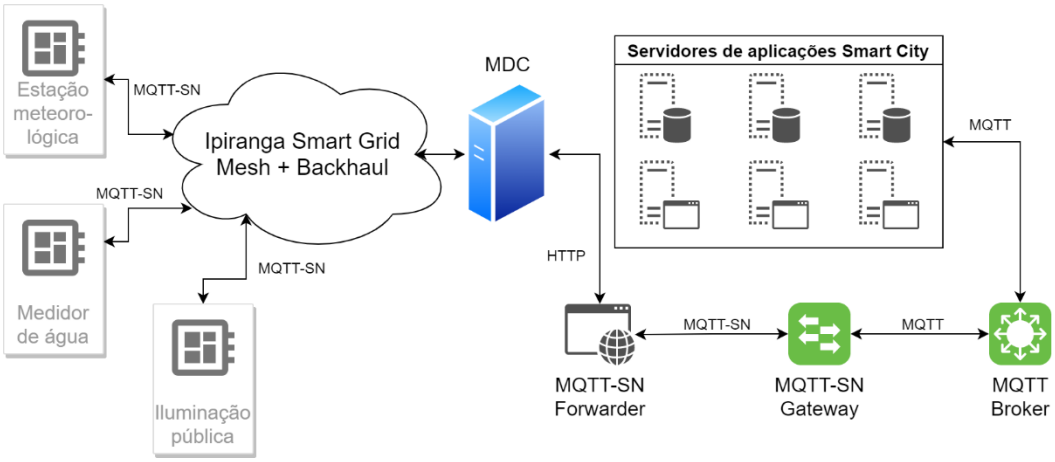


FIGURA 8 – Arquitetura do Compartilhamento da Rede Smart Grid com as Novas Aplicações.

Mais detalhes sobre a solução de software desenvolvida para o compartilhamento da rede de comunicação *Smart Grid* de Ipiranga com aplicações de *Smart City* e IoT estão detalhados no trabalho "*GRID-CITY: A Framework to Share Smart Grids Communication with Smart City Applications*", que trata especificamente deste ponto da pesquisa (4).

A viabilidade técnica do compartilhamento foi validada sobre o protótipo do sistema montado nos laboratórios do Lactec, o qual conta com todos os componentes envolvidos, deste os dispositivos até os servidores de aplicação.

5.0 ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO COMPARTILHAMENTO DA REDE

O estudo de viabilidade econômica do compartilhamento da rede *Smart Grid* de Ipiranga iniciou pela verificação da legislação relativa a esta possibilidade. De acordo com o documento da ANEEL sobre os Procedimentos de Regulação Tarifária – PRORET, mais especificamente no submódulo 2.7, que trata sobre outras receitas obtidas pelas concessionárias de distribuição de energia (5), foi verificado que o compartilhamento de "serviços de comunicação de dados" é classificado como atividade acessória complementar, sendo caracterizado como uma atividade não regulada. O ponto importante desta verificação é que o percentual de compartilhamento das receitas decorrentes do provimento desta atividade pela concessionária é de 30% da receita bruta, antes do cálculo dos impostos devidos, 70% da receita adicional fica com a concessionária.

Para a avaliação da viabilidade econômica foi definido o seguinte cenário: instalação de 6 estações meteorológicas, 2239 medidores de água, equivalente aproximadamente à metade dos consumidores de energia, e 865 dispositivos de iluminação pública, número aproximado de postes com iluminação em Ipiranga, totalizando 3110 dispositivos.

O valor mensal a ser cobrado pelo uso compartilhado da rede *Smart Grid* para cada um destes dispositivos é de R$30,00 para a estação meteorológica, R$ 2,50 por medidor de consumo de água e R$ 0,12 por dispositivo de iluminação. Valores que correspondem respectivamente ao custo médio mensal de um chip de comunicação celular, da leitura de um ponto de medição de água e do rateio do custo de um chip de comunicação celular para 250 pontos de iluminação, supondo que um concentrador de iluminação comporte 250 pontos. A Tabela 2 sumariza estes dados e totaliza o cálculo da receita mensal, incluindo a cobrança do ISS (19%) e no final descontando os 30% do compartilhamento para a revisão tarifária.

Em relação ao custo de instalação destes 3110 dispositivos, foi verificado que para cada ponto existe um custo de ativação de R$ 50,00 e um custo de aquisição de licença de R$ 2,50, ambos cobrados em parcela única no momento da instalação, totalizando um custo de R$ 163.275,00.

Quanto à necessidade de investimentos em infraestrutura da rede *Smart Grid*, verificou-se que para estes tipos e quantidades de dispositivos não há a necessidade de expansão da rede.

Analisando-se o cenário descrito verificou-se que a receita anual, já descontando os 30% de compartilhamento referentes à revisão tarifária, é de R$ 58.789,47, o que indica que o *payback* da instalação ocorre em menos de 5 anos, e que o resultado econômico do compartilhamento da rede é positivo.

TABELA 2 – Cálculo da Receita Mensal.

Dispositivos	Quantidade	Receita Mensal (R$)	Custo+ISS de 19% (R$)	Valor final (R$)
Estação Meteorológica	6	30,00	35,7000	214,20
Medição de água	2239	2,50	2,9750	6.661,03
Iluminação Pública	865	0,12	0,1428	123,52
Total de dispositivos	3110		Receita mensal	R$ 6.998,75
			Receita - 30%	R$ 4.899,12

Cabe destacar que este é um cenário conservador sobre a viabilidade econômica do compartilhamento da rede de comunicação *Smart Grid*, mas que ao mesmo tempo demonstra que é um recurso que deve ser levado em consideração na decisão da implantação das redes inteligentes pelas concessionárias.

6.0 TRABALHOS RELACIONADOS

Os autores não têm ciência de nenhum trabalho que tenha atuado da mesma forma que este, principalmente quanto ao compartilhamento de uma rede *Smart Grid* no padrão Wi-SUN com aplicações de *Smart Cities*. Alguns trabalhos apresentam testes específicos de tecnologias para a construção de redes *Smart Grid*, outros avaliam características específicas dos padrões de comunicação mais utilizados e ainda existem alguns trabalhos que apresentam pesquisas amplas sobre as tecnologias utilizadas na área das *Smart Grids*.

Zambenedetti et al. pesquisou e desenvolveu equipamentos de comunicação sobre o padrão IEEE 802.15.4 e o protocolo Zigbee PRO, formando uma solução de *Smart Grid*. Implementou e testou 3 aplicações distintas: medição remota de grandes consumidores, controle de equipamentos religadores de rede e iluminação pública, contudo, não mostrou análises qualitativas sobre a rede (6).

Saleem et al. apresentou uma ampla pesquisa sobre como a IoT auxilia no desenvolvimento das Smart Grids (7). Comentou sobre deficiências em pesquisas anteriores, contrapondo com suas contribuições, além de ilustrar uma grande variedade de aplicações e tecnologias utilizadas, contudo não comentou sobre as redes Wi-SUN.

Rajalingham et al. apresentou resultados de simulação para avaliar a qualidade de serviço em redes de vizinhança (*Neighborhood Area Networks* - NAN) de *Smart Grids* testando diferentes variantes do protocolo de roteamento RPL. Utilizou o simulador OMNET++ e a biblioteca MiXim, contudo avaliou as camadas física e de enlace do padrão WiFi (802.11b).

Gomez-Cuba et al. propôs um modelo conceitual de tráfego de dados e um conjunto de características de rede para serem utilizados no processo de comparação de diferentes tecnologias de comunicação da última milha das Smart Grids (9). Testou o modelo proposto simulando o fluxo de dados e o aplicando sobre redes cabeadas, compartilhadas com os usuários.

Ho et al. apresentou um quadro comparativo das tecnologias de comunicação sem fio disponíveis para utilização nas *Smart Grids*, mostrou os requisitos de banda e latência para aplicações típicas e elencou algumas oportunidades de pesquisa, como a de protocolos de roteamento para redes sem fio do tipo malha (10).

7.0 CONCLUSÕES

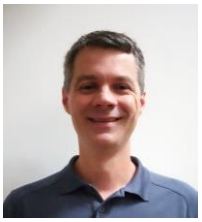
Este projeto valida na prática a viabilidade técnica da utilização das redes *Smart Grids* como meio de comunicação para aplicações voltadas ao conceito de *Smart Cities* e IoT. Testa o compartilhamento com base na implantação de três diferentes aplicações, quais sejam: controle de iluminação pública, medição remota de consumo de água e aquisição de dados de estações meteorológicas. Avalia o desempenho da rede *Smart Grid* para posterior comparação de desempenho, quando da instalação das aplicações em campo. Ademais, estuda a viabilidade econômica do compartilhamento da rede com as novas aplicações prospectadas e os resultados indicam que a solução é viável, auxiliando no retorno do investimento por parte das concessionárias e na redução de custos com comunicação para as empresas que usufruírem do compartilhamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) PEDRETTI, A.; SILVA, E. R. D.; VALÉRIO, E. C.; OMORI, J. S.; SANTANA, T. A. S. *A Copel e as smart grids*. O Setor Elétrico. 2020. p. 40-45.
(2) IEEE. *802.15.4-2020 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks*. 2020. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/9144691/. Acesso em: 20 ago. 2020.
(3) Wi-SUN. *Wi-SUN Alliance*. 2019. Disponível em: https://www.wi-sun.org/. Acesso em: 15 fev. 2020.

(4) HECK, G. C.; HEXSEL, R.; GOMES, V. B.; IANTORNO, L.; LIPPMANN JUNIOR, L.; SANTANA, T. *GRID-CITY: A Framework to Share Smart Grids Communication with Smart City Applications*. IEEE International Smart Cities Conference (ISC2). Virtual Conference. 2021.
(5) ANEEL. *Módulo 2: Revisão Tarifária Periódica das Concessionárias de Distribuição – Submódulo 2.7 – Outras Receitas*. rev. 2.2. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2018819_Proret_Submod_2_7_V5.pdf.
(6) ZAMBENEDETTI, V. C.; GABRIEL, J. D.; WAGNER, R.; et al. *Communication solution for implementing smart grid environment in the distribution network*. 2013. IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America). abr/2013. p. 1–5.
(7) SALEEM, Y.; CRESPI, N.; REHMANI, M. H.; COPELAND, R. *Internet of Things-Aided Smart Grid: Technologies, Architectures, Applications, Prototypes, and Future Research Directions*. IEEE Access. 2019.
(8) RAJALINGHAM, G.; GAO, Y.; HO, Q. D.; LE-NGOC, T. *Quality of service differentiation for smart grid Neighbor Area Networks through multiple RPL instances*. Q2SWinet 2014 - Proceedings of the 10th ACM Symposium on QoS and Security for Wireless and Mobile Networks. p. 17–24. 2014.
(9) GOMEZ-CUBA, F.; ASOREY-CACHEDA, R.; GONZALEZ-CASTANO, F. J. *Smart Grid Last-Mile Communications Model and Its Application to the Study of Leased Broadband Wired-Access*. IEEE Transactions on Smart Grid. p. 5–12. 2013.
(10) HO, Q. D.; GAO, Y.; LE-NGOC, T. *Challenges and research opportunities in wireless communication networks for smart grid*. IEEE Wireless Communications. p. 89–95. 2013.

DADOS BIOGRÁFICOS



GIANCARLO COVOLO HECK é pesquisador do LACTEC e doutorando em Informática pela Universidade Federal do Paraná. Possui mestrado em Informática (2008) e bacharelado em Ciência da Computação (2004), ambos pela UFPR. Tem experiência na pesquisa e no desenvolvimento de sistemas de computação de alto desempenho, sistemas embarcados, sistemas de comunicação com e sem fio e sistemas de monitoramento em tempo real. Seus interesses de pesquisa incluem redes e protocolos de comunicação, redes de sensores sem fio, mineração de dados, análise de dados, sistemas de controle de fontes de energia renováveis, redes inteligentes, cidades inteligentes e a internet das coisas (IoT).

(2) LOURIVAL LIPPMANN JUNIOR, engenheiro Eletrônico pelo ITA, Mestre em Automação Industrial pela UTFPR, técnico em Eletrônica pelo CEFET-PR. Experiência de 35 anos na área de P&D para o setor elétrico, ex-professor de engenharia na UTFPR e PUC-PR. É pesquisador no LACTEC, atuando em projetos de P&D para o setor elétrico nos temas: conectividade para Smart grid e Smart city, fontes alternativas de energia, energy harvesting, sistemas de armazenamento e visão computacional.

(3) LUCIANA MICHELOTTO IANTORNO, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná (2009) e mestrado em Engenharia de Sistemas Embarcados - Karlsruher Institut für Technologie (2012). Atua desde 2012 em projetos de pesquisa e desenvolvimento na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas de Telecomunicações. Atualmente trabalha nos Institutos Lactec, tendo como principal atividade o desenvolvimento de firmware com foco em sistemas de comunicação IoT para Smart Grid, Smart City e Geração Distribuída. Já trabalhou com diversos protocolos como Modbus/RS485, PLC G3, PLC Prime, ZigBee, LoRa/LoRaWAN e Wi-SUN.

(4) VICTOR BARPP GOMES, graduado em Engenharia de Computação pela UTFPR (2020) e Técnico em Informática pelo IFSC (2015). Atualmente cursa o Mestrado Profissional no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPGCA) na UTFPR, com área de concentração em Visão Computacional e Reconhecimento de Padrões em Imagens. Atua nas áreas de inteligência artificial, ciência de dados, redes neurais, sistemas embarcados, microcontroladores, sistemas operacionais de tempo real, redes de computadores, comunicações sem fio e internet das coisas.

(5) ADRIEL GUIMARÃES DE LIMA, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Positivo (2012) e Pós-Graduação em projetos de sistemas eletrônicos e Automação (2014). Atualmente está cursando o Mestrado Profissional (stricto sensu) em Desenvolvimento de Tecnologia. Leciona aulas no Centro Universitário UniBrasil nas disciplinas de automação e controle no curso de engenharia elétrica. Atua como pesquisador no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec) em projetos na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em eletrônica, automação e sistemas de energia.

(6) TIAGO AUGUSTO SILVA SANTANA, graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em eletrônica, iniciou a carreira com projetos de hardware. Pós graduação em Engenharia de Confiabilidade e MBA em Gestão de Pessoas. Na Copel, já trabalhou com desenvolvimento de fornecedores de medição, testes laboratoriais de eletrônica e gestão de projetos. Atualmente trabalha como Gerente da Divisão de Projetos Técnicos na Copel Distribuição com foco em implantação de tecnologias para Redes Elétricas Inteligentes.

(7) ROBERTO ANDRÉ HEXSEL, professor Titular (aposentado) do Departamento de Informática da UFPR, Engenheiro Eletricista, Mestre e Doutor em Ciência da Computação. Trabalha com Sistemas Digitais e Sistemas Embarcados.