

Conectividade IoT para Áreas Remotas baseada em CubeSats e PoF

J. P. D. Antiquera, G. H. B. Damasceno, L. C. Souza e Arismar Cerqueira S. Jr.

Resumo— Este trabalho apresenta o estudo e implementação de uma prova de conceito referente a uma topologia de rede de Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) para áreas remotas baseada nas tecnologias CubeSat e *Power-Over-Fiber* (PoF). Propõe-se um cenário dividido em três partes: centro urbano, comunicação via satélite (CubeSat) e área remota. O principal foco deste estudo é a implementação do CubeSat e área remota. Para tal, utiliza-se a tecnologia PoF para alimentar um microcontrolador e um transceptor de RF, minimizando assim o custo de infraestrutura do projeto.

Palavras-Chave— CubeSats, IoT e PoF.

I. INTRODUÇÃO

Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) remete à conexão de dispositivos eletrônicos, sensores e atuadores à Internet. O conceito de IoT estende-se pelos mais variados setores, abrangendo áreas como cidades, casas e fazendas inteligentes, comunicações veiculares, Indústria 4.0 e também CubeSats [1–3]. CubeSats são nanossatélites desenvolvidos para operação em baixa órbita e missões muito específicas. Dentre as suas diversas vantagens, pode-se elencar baixo custo, desenvolvimento relativamente rápido e potencial científico para as Telecomunicações [4,5].

A fim de abranger uma rede IoT, CubeSats estão sendo explorados para conectar áreas remotas [6]. Essas localidades são de difícil acesso e podem ser ambientes hostis, o que resulta em um alto custo de implementação de redes de energia e Telecomunicações. Nesse contexto, a tecnologia *Power-Over-Fiber* (PoF) pode ser considerada uma solução potencial para alimentação de sistemas IoT com comunicação via CubeSats. De forma geral, a tecnologia PoF consiste na transmissão de energia por meio de fibras ópticas. Dentre muitos fatores que justificam a utilização de PoF, ressalta-se a isolação elétrica, a imunidade a interferências eletromagnéticas, raios, curto-circuitos, resistência a corrosão e umidade [7,8].

Visando possibilitar a comunicação em áreas remotas, propõe-se neste artigo uma prova de conceito referente à implementação de uma rede IoT de baixo custo baseado nas tecnologias CubeSat e PoF, conforme apresentado na Figura 1. Este cenário pode ser dividido em três partes: centro

urbano, comunicação via satélite (CubeSat) e área remota. No centro urbano tem-se disponibilidade de infraestrutura, recursos energéticos e computacionais. A comunicação entre o centro urbano e a área remota tem como agente central o CubeSat. Na área remota, tem-se o receptor e um microcontrolador alimentados utilizando PoF. Propõe-se o uso desse sistema para o controle de sensores, acesso à dispositivos IoT e equipamentos mais complexos. O principal objetivo deste artigo é o desenvolvimento do CubeSat e área remota, visando minimizar a sua complexidade de implementação.

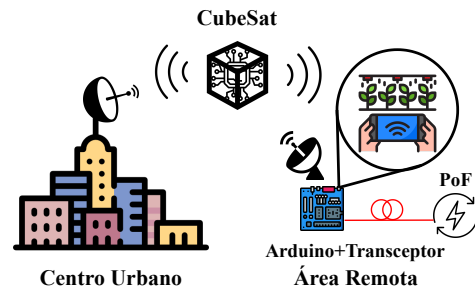


Fig. 1. Topologia básica para conectividade IoT em áreas remotas.

II. DEMONSTRAÇÃO DO SISTEMA IOT BASEADO EM CUBESAT E POF

O diagrama em blocos do sistema IoT baseado em CubeSat e PoF implementado é apresentado na Figura 2. Foram utilizados dois microcontroladores Arduino Uno e dois módulos transceptores de RF (NRF24L01). Cada transceptor foi acoplado à um amplificador RF de potência, um amplificador de baixo ruído e uma antena monopolo, operando na frequência 2,4 GHz, faixa de rádio amador por satélite. Um dos microcontroladores atua como o CubeSat, simulando funções de telemetria e telecomando, ou seja, recebendo os dados enviados da área remota. A comunicação entre os microcontroladores foi realizada por meio de transceptores de RF, os quais são capazes de prover comunicação confiável em um raio de até 1 km, sendo assim adequados para CubeSats que operam em órbita baixa com balões. Como prova de conceito, foi implementado um enlace de comunicação sem fio de 1,4 m utilizando antenas monopolo. A fim de se implementar sistemas de comunicações satelitais de maior alcance, é importante que as antenas sejam diretivas e de alto ganho. O segundo microcontrolador foi responsável pelo controle da rede IoT localizada na área remota. No cenário demonstrado na Figura 2, apenas envia-se uma mensagem

J. P. D. Antiquera, G. H. B. Damasceno, L. C. Souza e Arismar Cerqueira S. Jr., Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, MG 375400-000 Brasil (e-mails: joaoantiquera@get.inatel.br, gdamasceno@get.inatel.br, leticiacarneiro@get.inatel.br, arismar@inetel.br). Este trabalho foi parcialmente financiado pela RNP, com recursos do MCTIC, processo No 01245.010604/2020-14, sob o projeto Sistemas de Comunicações Móveis de 6ª Geração (6G) do Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) do Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel, Brasil. Os autores também agradecem com o apoio financeiro do CNPq, da CAPES, da FINEP e da FAPEMIG.

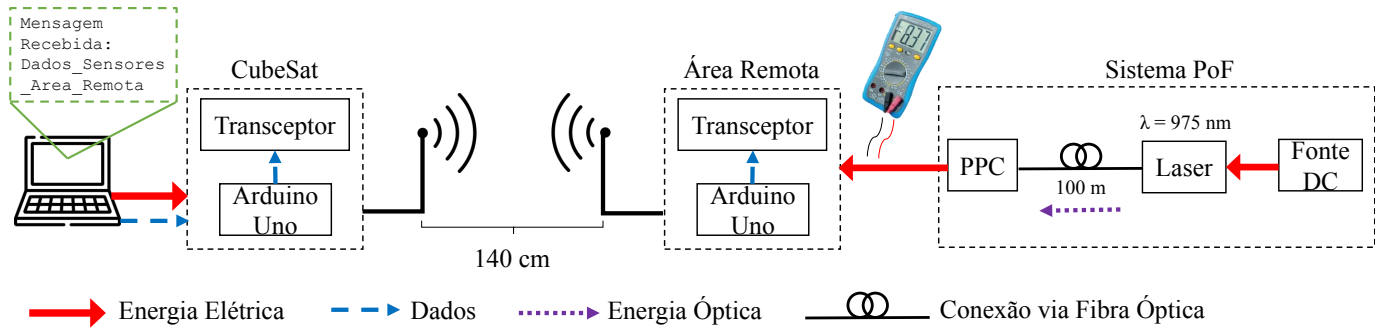


Fig. 2. Diagrama em blocos do sistema IoT baseado nas tecnologias CubeSat e PoF.

de teste. Poderiam ser implementados sensores ou redes de sensores. O microcontrolador e transceptor localizados na área remota foram alimentados com um sistema PoF, assim como mostrado na Figura 3.

A arquitetura de um sistema PoF é composta por uma fonte luminosa (tipicamente um laser de alta potência), um enlace de fibra óptica e um conversor fotovoltaico. As fibras ópticas do tipo multimodo são tipicamente utilizadas para aplicações que requerem potências mais altas, devido ao maior diâmetro do núcleo. Além disso, são comumente utilizados conversores de potência especiais, compostos por um arranjo de células fotovoltaicas (*photovoltaic power converter* - PPC). O arranjo experimental da implementação do sistema PoF, apresentado nas Figuras 2 e 3, é composto pelos seguintes componentes: uma fonte de alimentação; um laser centrado em 975 nm com potência máxima de 30 W; uma fibra multimodo com 100 m de comprimento e diâmetros do núcleo e da casca de 100 e 140 μm , respectivamente; e um PPC com eficiência de conversão de aproximadamente 30%.

O princípio de funcionamento do sistema PoF baseia-se na transmissão de aproximadamente 1,6 W de potência óptica gerada pelo laser de alta potência. A energia óptica é então convertida em energia elétrica pelo PPC, a fim de alimentar a placa do Arduino e transceptor de RF, os quais consomem cerca de 47 mA de corrente no total. O PPC foi capaz de prover tensão de aproximadamente 8,3 V, resultando em 390 mW de potência elétrica. A eficiência de transmissão de potência total, a qual é um dos parâmetros de desempenho mais importantes em sistemas PoF, é dada pela relação entre a potência entregue à carga e a potência de saída do laser. Obteve-se aproximadamente de 24%, que é da mesma ordem

de grandeza de alguns sistemas PoF publicados na literatura [7,9].

III. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma proposta e uma prova de conceito de uma rede IoT baseada nas tecnologias CubeSat e PoF. A topologia proposta apresenta uma solução potencial de prover vazão e conectividade de baixo custo e maior mobilidade para áreas remotas, já que terceiriza-se o processamento para um centro urbano, utilizando-se um CubeSat como agente central da comunicação e a tecnologia PoF como forma de alimentação. O sistema PoF proposto foi capaz de fornecer potência de aproximadamente 390 mW, suficiente para alimentar um microcontrolador e transceptor, após a propagação em 100 m de fibra óptica multimodo. Trabalhos futuros referenciam-se à implementação de sensores e atuadores, bem como respostas com maior nível de processamento por parte do servidor. Além disso, serão explorados enlaces de transmissão sem fio com maior alcance e maior taxa de transmissão.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.
- [2] A. Kirimtat, O. Krejcar, A. Kertesz, and M. F. Tasgetiren, "Future Trends and Current State of Smart City Concepts: A Survey," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 86 448–86 467, 2020.
- [3] M. Wollschlaeger, T. Sauter, and J. Jasperneite, "The Future of Industrial Communication: Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 11, no. 1, pp. 17–27, 2017.
- [4] E. Decrossas, N. Chahat, P. E. Walkemeyer, and B. S. Velasco, "Deployable Circularly Polarized UHF Printed Loop Antenna for Mars Cube One (MarCO) CubeSat," in *2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting*, 2019, pp. 1719–1720.
- [5] A. Toorian, K. Diaz, and S. Lee, "The CubeSat Approach to Space Access," in *2008 IEEE Aerospace Conference*, 2008, pp. 1–14.
- [6] J. Arifin, "Study of CUBESAT systems for IoT," in *2021 12th International Renewable Engineering Conference (IREC)*, 2021, pp. 1–3.
- [7] J. D. López-Cardona, D. Sánchez Montero, and C. Vázquez, "Smart Remote Nodes Fed by Power Over Fiber in Internet of Things Applications," *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 17, pp. 7328–7334, 2019.
- [8] L. C. Souza, E. R. Neto, E. S. Lima, and A. C. S. Junior, "Optically-powered Wireless Sensor Nodes towards Industrial Internet of Things," *Sensors*, vol. 22, no. 1, p. 57, 2021.
- [9] H. J. Lee, P. J. Ker, M. Z. Jamaludin, S. Isaac, and F. Halim, "Power-Over-Fiber for Internet of Thing Devices," *Journal of Energy and Environment*, 2020.

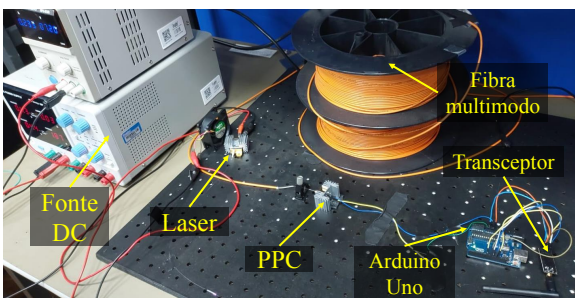


Fig. 3. Implementação experimental da topologia IoT, incluindo sistema PoF, Arduino Uno e transceptor.