

Segurança de redes em IoT *Off Grid* para coleta de dados via Drone

Ademir Goulart ¹
Carlos Becker Westphall ²

¹Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

ademir.goulart@gmail.com

²Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

carlosbwestphall@gmail.com

Resumo. *IoT abrange uma ampla variedade de objetos, tecnologias, padrões de comunicação, sensores, atuadores em ambientes com energia e comunicação em rede. Em um ambiente desprovido de infraestrutura elétrica e de comunicação como prover tecnologia para monitoração e gerenciamento de utilidades diversas baseado em Internet das Coisas IoT? Como coletar estas informações, via Drone, de um ambiente Off Grid com segurança? Um mapeamento sistemático da literatura será realizado para identificar o estado da arte. O resultado esperado é uma proposição de arquitetura de software que contemple a segurança da rede durante a coleta de dados do ambiente de IoT Off Grid.*

1. Introdução

IoT (*Internet of Things* - Internet das coisas) abrange uma ampla variedade de objetos e tecnologias, como identificação por radiofrequência (RFID), comunicação de campo próximo (NFC) e redes sem fio interligando sensores e atuadores. Além disso, a IoT abrange diferentes padrões de comunicação, protocolos e formatos de dados, para que o ambiente da IoT seja heterogêneo, descentralizado e complexo. Componente fundamental neste contexto são os sensores [1].

Um sensor é um dispositivo pequeno e leve que mede no ambiente parâmetros físicos como temperatura, pressão, umidade relativa e muito mais. As redes de sensores são redes altamente distribuídas de nós de sensores, implantadas em grandes números para monitorar um ambiente ou sistema [2].

O conceito aqui considerado como IoT *Off Grid* representa um ambiente onde teremos a instalação de sensores e controladores em um local totalmente desprovido de energia elétrica e de comunicação. Para tanto se faz necessário a geração de energia elétrica para alimentação do local. Esta geração pode ser obtida com o uso de equipamento fotovoltaico, energia eólica ou outra forma de geração própria de energia elétrica. Um sistema fotovoltaico com baterias dimensionadas para a carga necessária ao ambiente e um inversor possibilitara atender a demanda de energia para o ambiente de IoT *Off Grid*. Uma estação *Off Grid* é apresentado na Figura 1.

As informações geradas neste ambiente de IoT *Off Grid* serão coletadas periodicamente por meio de um Data Mule (DM) em nosso caso um Drone também identificado na

literatura como UAV. Será considerado a autonomia de voo do Drone bem como a idade da informação coletada, considerando a hora da geração no ambiente e a hora da coleta pelo Drone.

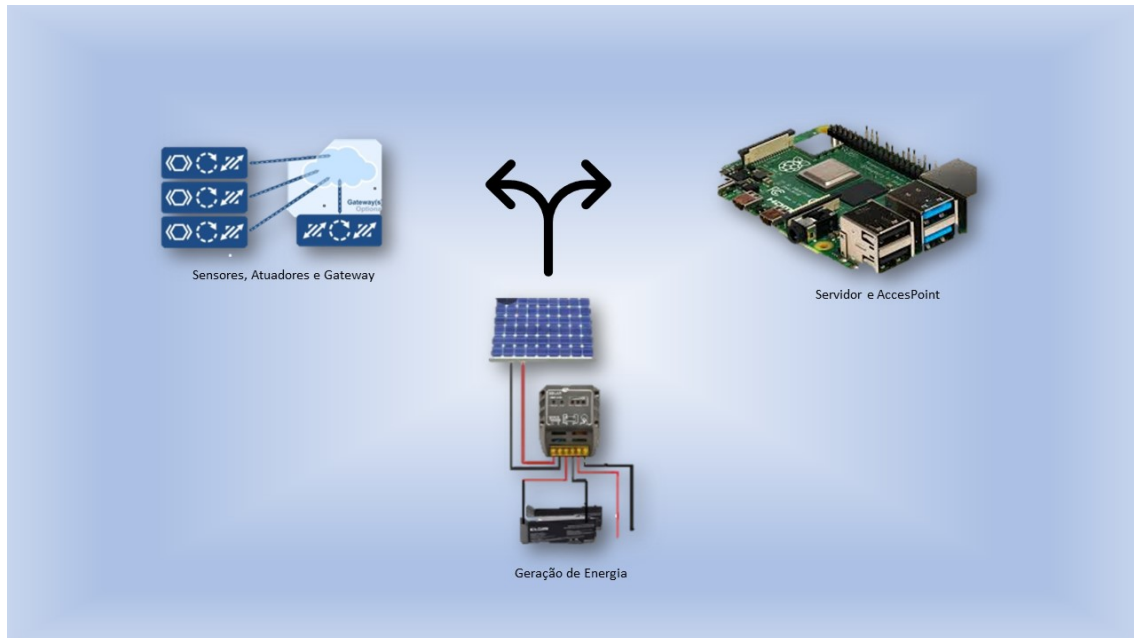


Figura 1. Estação Off Grid
Fonte: Elaborada pelo autor

1.1. Justificativa e Motivação

Como justificativas são consideradas: a) Possibilidade de emprego da arquitetura proposta em ambiente desprovido de infraestrutura; b) Obter segurança de rede na coleta dos dados em um ambiente de IoT *Off Grid*; c) Possibilidade de emprego da arquitetura proposta em ambientes agrícolas.

Como motivação são destacados: a) O conhecimento de Sistemas Operacionais usados em IoT [3]; b) O conhecimento em hardwares usados para IoT; c) O conhecimento em transferência de dados usando criptografia; d) O desenvolvimento na área de pesquisa para futuras aplicações na área acadêmica.

1.2. Objetivos

O objetivo geral do presente projeto é propor uma arquitetura de software que contemple a segurança da rede durante a coleta de dados de um ambiente *Off Grid*.

Como objetivos específicos:

- Selecionar uma fonte de energia adequada para o ambiente envolvendo painéis solares ou geração mecânica, baterias e inversor.
- Construir um protótipo do ambiente envolvendo sensores, atuadores e um servidor que integre o ambiente de IoT.
- Selecionar um algoritmo de criptografia a ser usado durante a transferência dos dados entre o ambiente *Off Grid* e o Drone coletor.

1.3. Organização do artigo

Na seção 2 são apresentados os conceitos básicos considerando os seguintes tópicos: Energia Solar Fotovoltaica; Coleta de dados; Tipos de Drones; Segurança na comunicação wireless WPA; Segurança na transferência de dados usando SSH.

Os trabalhos correlatos são apresentados na seção 3, resultado de um mapeamento sistemático da literatura (MSL) onde a pesquisa foi realizada em 8 bases de dados identificando inicialmente 583 trabalhos e ao final selecionados 20 trabalhos que atenderam os critérios definidos .

Na seção 4 são apresentados os aspectos relevantes deste projeto considerando o consumo de energia, a segurança na comunicação dos dados entre o Drone e o ponto de coleta e a capacidade de armazenamento no micro concentrador dos dados no ponto de coleta.

Os problemas existentes foram relacionados na seção 5 onde são considerados: autonomia restrita do voo que tem o Drone; necessidade de criptografia na transmissão dos dados; geração de energia local; periodicidade na coleta dos dados em cada ponto; restrição de peso da bateria e do equipamento que estarão acoplados ao Drone bem como a capacidade de armazenamento deste equipamento.

As soluções possíveis na seção 6 consideram a geração de energia com painéis solares, um pequeno servidor local usando Linux o qual também se comporta como access point e comunicação IEEE 802.11 com o equipamento acoplado ao Drone. O caminho de busca para acessar os pontos será de forma otimizada baseado no algoritmo do caixeiro viajante.

O projeto e desenvolvimento da proposta é apresentado na seção 7 detalhando a configuração do equipamento acoplado ao Drone e de cada ponto de coleta dos dados onde no protótipo descrito foram considerados três pontos distintos. Um roteiro completo das configurações e programas envolvidos está disponível no GitHub.

As conclusões e trabalhos futuros estão apresentados na seção 8.

2. Conceitos básicos envolvidos

2.1. Energia Solar Fotovoltaica

A energia gerada através de conversão direta da radiação solar em eletricidade é denominada de energia solar fotovoltaica. Um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica é o responsável pela conversão utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico .

As tecnologias aplicadas para construção dos painéis são classificadas em três gerações. Na primeira geração composta por silício cristalino. Na segunda geração, com o uso de filmes finos, compostos de silício amorfo, disseleneto de cobre, índio e gálio além de telureto de cádmio. E a terceira geração com células baseadas em um único band-gap eletrônico. [4]

Em um sistema de geração de energia fotovoltaica, além dos painéis solares para a captação da energia solar, três componentes são fundamentais neste ambiente, conforme descrito a seguir [4]:

A) Controlador de carga - tem como principal função proteger as baterias de sobrecargas do sistema ou que sejam completamente descarregadas.

B) Baterias - são dispositivos responsáveis por fazer o armazenamento da energia elétrica gerada pelos módulos fotovoltaicos, com o intuito de suprir a demanda da mesma na ausência da radiação solar.

C) Inversor - dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada (CA) a partir de uma fonte de energia elétrica de corrente contínua (CC) como as baterias.

2.2. Coleta de dados

Os dados gerados neste ambiente de IoT *Off Grid* serão coletados e armazenados em um pequeno servidor local. Este servidor local terá capacidade de armazenamento limitada sendo necessário a coleta destes dados periodicamente. O envio destes dados para um data center, considerando a inexistência de infraestrutura local de comunicações, necessita de uma solução específica. Neste projeto será adotada a técnica de coleta dos dados por meio de um Drone. Está previsto a transferência dos dados, através de uma comunicação sem fio, entre o servidor e o Drone.

2.3. Tipos de Drones

Os Drones também conhecidos como UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) podem ter diferentes tamanhos e capacidades de carga. Outra característica fundamental é a autonomia pois conforme a capacidade da bateria o equipamento pode ter autonomia de horas ou de minutos para a realização do deslocamento e coleta dos dados do ambiente IoT *Off Grid*.

Um histórico da evolução dos Drones pode ser encontrado em [5]. A Figura 2 ilustra esta evolução.

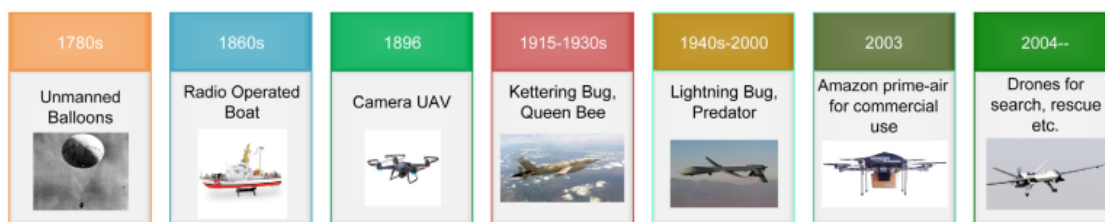


Figura 2. Evolução dos Drones

Fonte: [5]

Nos últimos anos, Drones tem sido largamente utilizados, sendo originalmente projetados para aplicações militares. Com avanços na tecnologia, redução nos tamanhos e no custo tem se tornado ideal para aplicações na área civil. [6]

Em uma comparação de diversas plataformas para coleta de dados envolvendo a rede publica, satélites, balão amarrado, dirigível e Drone, [7] apresenta vantagens e desvantagens do Drone. Como vantagens: grande área de cobertura; grande capacidade de taxa de transferência; baixo consumo de energia; baixo custo de implantação e alta flexibilidade de monitoração. Como desvantagens: alta latência para coleta dos dados; limitado acesso ao terminal e suscetível as condições climáticas.

2.4. Segurança na comunicação wireless WPA

Algumas formas de prover segurança na comunicação Wireless são WEP (Wired Equivalent Privacy), WPA (Wi-Fi Protected Access) e EAP (Extensible Authentication Protocol). No estudo de caso que ilustra o presente trabalho será utilizado o padrão WPA.

O protocolo WPA foi criado em 2002 pela WFA (Wi-Fi Alliance) como postulante a substituto do WEP. Durante a sua concepção, foi dado um enfoque maior na correção das falhas de segurança encontradas no WEP. Dentre as melhorias propostas, a mais significativa foi a utilização do algoritmo RC4 de uma forma mais segura, dentro do protocolo TKIP (Temporal Key Integrity Protocol). [8]

Em 2004, a WFA lançou o sucessor do WPA, o WPA2, após a descoberta de algumas falhas de segurança presentes no TKIP. Assim, para tentar contorná-las, ele foi substituído pelo protocolo CCMP (Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol), que faz uso de um algoritmo de criptografia simétrica muito robusto e amplamente utilizado, o AES. [8]

2.5. Segurança na transferência de dados usando SSH

A segurança durante a transferência de dados entre dois processos conectados via rede pode ser obtida com a criptografia dos dados.

Os protocolos SSL (Secure Sockets Layer), TLS (Transport Layer Security) e SSH (Secure Shell) são protocolos empregados como forma de prover a criptografia de dados transportados via redes. Para cópia de arquivos/diretórios entre dois ambientes pode ser usado o SCP (secure copy) que se utiliza do SSH. Diferentes variações de SSH são apresentados em [9].

3. Trabalhos correlatos

Um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) foi realizado para identificar o estado da arte.

3.1. Objetivo e questão de pesquisa do MSL

O objetivo principal deste estudo é mapear sistematicamente as pesquisas atuais sobre coleta de dados usando Data Mule em IoT geograficamente dispersa. Considerando que os dados serão coletados por meio de um Drone em uma ou mais redes locais com diversos sensores e um concentrador de dados desta rede local. Estas redes locais estão isoladas em ambientes desprovidos de internet e com infra estrutura local a este ambiente.

Como Questão de Pesquisa RQ tem-se:

- RQ1 - Qual algoritmo é usado no roteamento para coleta de dados?.
- RQ2 - Qual tecnologia empregada para a recepção dos dados pelo Drone?

3.2. String de busca e fontes de pesquisa

Para pesquisar estudos importantes com sucesso, os termos de pesquisa são fundamentais. Em um estudo de keele2007guidelines, o autor recomendou considerar as perspectivas População, Intervenção, Comparação e Resultado (*PICO-Population, Intervention, Comparison, and Outcome*). Essas perspectivas foram amplamente utilizadas por muitas

RSLs e estudos de mapeamento sistemático [10] [11]. Contudo, neste estudo, no que diz respeito à fundamentação geral da estrutura PICO, construímos uma *string* de pesquisa genérica para sustentar a estabilidade da pesquisa em muitos bancos de dados. Assim, para conduzir a busca nas fontes de dados, conforme Tabela 1, de forma genérica a *string* de pesquisa serve como um guia.

STRING: IoT AND (UAV OR Drones) AND "data collection"

Nome da Base de Dados	Link
IEEE Xplore	http://ieeexplore.ieee.org/
Science Direct	http://sciencedirect.com/
ACM	http://dl.acm.org/
Springer Link	http://link.springer.com/
Wiley	http://onlinelibrary.wiley.com/
MDPI	https://www.mdpi.com/
SCOPUS	https://www.scopus.com/

Tabela 1. Fontes de Dados
Fonte: Elaborado pelo autor

3.3. Critérios de Inclusão e exclusão

Para responder as questões de pesquisa neste MSL foram formulados e usados critérios de Inclusão e Exclusão.

Os Critérios de Inclusão foram:

- CI1 - Estudos que focam em coleta de dados gerados em IoT com coleta via Drone.
- CI2 - Estudos com roteamento de Drones para a coleta dos dados.
- CI3 - Artigos relevantes nos últimos 5 anos (2017 - 2021).
- CI4 - Estudos que usam simulador de redes.

Os Critérios de Exclusão foram:

- CE1 - Estudos não associados com as questões de pesquisa.
- CE2 - Artigos duplicados onde o mesmo tema estava sendo avaliado. Selecionado apenas o mais recente.

3.4. Procedimento de Seleção

O procedimento de seleção visa identificar os estudos que são significativos para o objetivo do MSL. A execução da pesquisa nas diferentes bases, a partir do *string* de busca apresentou o resultado conforme Tabela 2.

No procedimento de identificação inicial a partir dos resultados provenientes de todas as bases foi realizada uma remoção dos itens duplicados, mesmos itens recuperados em bases distintas, eliminando 31 itens.

Na fase seguinte de seleção para um total de 552 itens considerando uma análise baseada nos títulos e *abstract* foram excluídos 497 itens. Restaram 55 itens para serem avaliados, conforme o seu texto completo e com base nos critérios de inclusão e exclusão.

Na etapa de avaliação do texto completo foram considerados os critérios de inclusão e exclusão e desta forma um total 39 foram excluídos. Ao final restaram 16 trabalhos a serem analisados.

Durante a análise destes 16 trabalhos foi realizado o processo de *snowballing backward* e *forward* para cada um dos trabalhos [12]. Na análise *snowballing backward* foram identificados 16 trabalhos e na *forward* 8 trabalhos que poderiam ser interessantes. Após uma leitura mais detalhada dos 24 artigos provenientes do *snowballing*, foram selecionados 3 trabalhos no ciclo 1 de *snowballing*.

A partir destes 3 trabalhos selecionados um segundo ciclo de *snowballing* foi realizado. Na análise *snowballing backward* foram identificados 3 trabalhos e na *forward* 5 trabalhos que poderiam ser interessantes após este segundo ciclo de *snowballing*. Algumas referências eram repetidas e já selecionadas anteriormente. Após este segundo ciclo apenas 1 referência foi selecionada e adicionada as demais já selecionadas.

Considerando este trabalho selecionado no ciclo 2 um terceiro ciclo de *snowballing* foi realizado. Na análise *snowballing backward* foram identificados 4 trabalhos e na *forward* nenhum trabalho. Após este terceiro ciclo nenhuma referência foi selecionada para ser adicionada as demais já selecionadas. Ao final do processo completo, desde a seleção inicial e os diferentes ciclos de *snowballing*, encontrou-se 20 trabalhos a serem considerados para a extração dos dados.

Nome da Base de Dados	Itens recuperados.
IEEE Xplore	16
Science Direct	170
ACM	3
Springer Link	237
Wiley	5
MDPI	7
SCOPUS	145
TOTAL	583

Tabela 2. Recuperação das Fontes de dados

Fonte: Elaborado pelo autor

A relação dos 20 trabalhos selecionados é apresentada na Tabela 3.

Referência	Título
[13]	A new system for agrometereological data collection in areas lacking communication networks
[14]	A precision adjustable trajectory planning scheme for UAV-based data collection in IoTs
[15]	A solution for data collection of large-scale outdoor internet of things based on UAV and dynamic clustering
[16]	A Survey of Key Issues in UAV Data Collection in the Internet of Things
[17]	BEE-DRONES: Ultra low-power monitoring systems based on unmanned aerial vehicles and wake-up radio ground sensors
[18]	Data collection using unmanned aerial vehicles for Internet of Things platforms
[7]	Drone-Enabled Internet-of-Things Relay for Environmental Monitoring in Remote Areas Without Public Networks
[19]	Dynamic Rendezvous Node Estimation for Reliable Data Collection of a Drone as a Mobile IoT Gateway
[20]	Efficient and Reliable Aerial Communication with Wireless Sensors
[21]	Efficient data collection by mobile sink to detect phenomena in internet of things
[22]	Environmental Monitoring Using a Drone-Enabled Wireless Sensor Network
[6]	Internet of Things Data Collection Using Unmanned Aerial Vehicles in Infrastructure Free Environments
[23]	LoRa Communications as an Enabler for Internet of Drones towards Large-Scale Livestock Monitoring in Rural Farms
[5]	Path planning techniques for unmanned aerial vehicles: A review, solutions, and challenges
[24]	Performance Evaluation of 802.11 IoT Devices for Data Collection in the Forest with Drones
[25]	UAV path planning for emergency management in IoT
[26]	Area Division Cluster-based Algorithm for Data Collection over UAV Networks
[27]	A Brief Review of the Intelligent Algorithm for Traveling Salesman Problem in UAV Route Planning
[28]	Age-optimal trajectory planning for UAV-assisted data collection
[29]	Age-optimal path planning for finite-battery UAV-assisted data dissemination in IoT networks

Tabela 3. Trabalhos selecionados

Fonte: Elaborado pelo autor

3.5. Resultado do MSL

Entre os 20 trabalhos selecionados encontra-se 9 que são provenientes de *Conference Paper* e 11 que são de *Journal Article*.

Com relação a data de publicação a Figura 3 apresenta a quantidade de publicação a cada ano no período de 2017 a 2021 (até agosto).

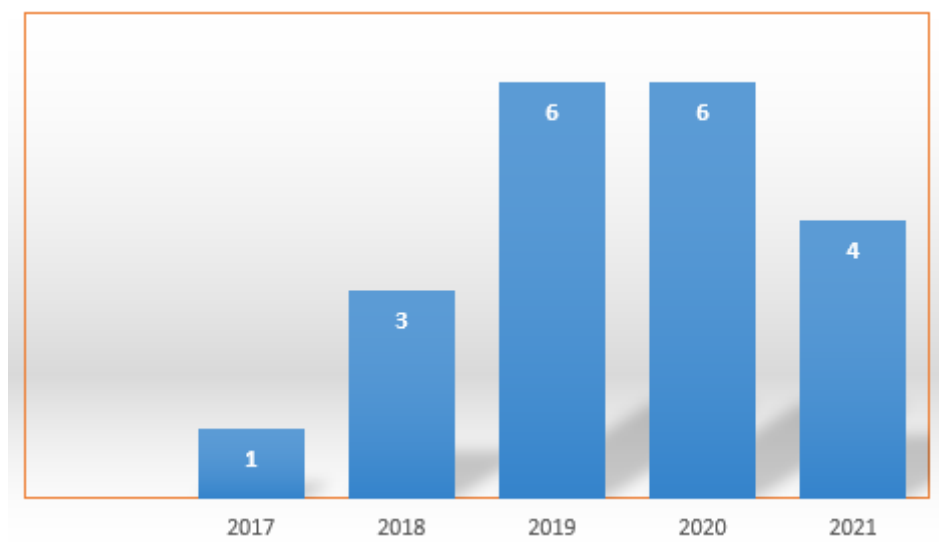


Figura 3. Publicações por ano

Fonte: Elaborada pelo autor

Após leitura e avaliação de todos os trabalhos selecionados na fase anterior a seguir apresenta-se os resultados referentes a diferentes questões de pesquisa.

- RQ1 - Qual algoritmo é usado no roteamento para coleta de dados?
- RQ2 - Qual tecnologia empregada para a recepção dos dados pelo Drone?

3.6. RQ1 - algoritmo usado no roteamento

O algoritmo predominante nos trabalhos avaliados, para definir o menor caminho a ser percorrido pelo Drone durante a coleta dos dados é o algoritmo do caixeiro viajante ou *Traveling Salesman Problem (TSP)*. Para um total de 11 trabalhos que apresentam algoritmos de roteamento, 5 tratam de TSP. Outro algoritmo que se destaca nos estudos é o que trata do caminho em uma colônia de formigas, conhecido como *ANT Colony Algorithm* ou *TSP-ANT Colony Optimization(ACO)*. O algoritmo ANT é encontrado em 2 estudos. Uma relação dos algoritmos usados no roteamento é apresentado na Tabela 4. Com relação a este RQ1 é importante ressaltar que do total dos 20 trabalhos selecionados 11 apresentaram algoritmos de roteamento específicos enquanto os demais apresentavam protótipos com coleta dos dados sem algoritmos de roteamento. Também 3 trabalhos com *survey/review* sobre algoritmos de roteamento foram selecionados e incluídos ao total de 20 trabalhos finais.

Referência	Algoritmo
[14]	<i>PATP-Precision adjustable trajectory planning</i>
[15]	<i>ANT colony algorithm</i>
[17]	<i>TSP-Ant Colony Optimization (ACO)</i>
[18]	<i>BL-TSP algorithm</i>
[21]	<i>Path based on the order of Hilbert values</i>
[6]	<i>Hilbert Curve-based path planning algorithm</i>
[23]	<i>(TSP) and enhanced particle swarm optimization (EPSO)</i>
[25]	<i>Generalization of TSP</i>
[26]	<i>Simple area division cluster-based algorithm (SAD-CA)</i>
[28]	<i>Max-AoI-optimal and Ave-AoI-optimal</i>
[29]	<i>Stage-WSHP</i>

Tabela 4. Algoritmos de Roteamento

Fonte: Elaborado pelo autor

3.7. RQ2 - tecnologia empregada para a recepção dos dados

Com relação a tecnologia empregada para a recepção de dados, os trabalhos que apresentavam casos práticos com protótipos sempre apontavam qual foi a tecnologia empregada para a coleta dos dados. Alguns trabalhos com modelos matemáticos e simulações teóricas não tratavam da comunicação para a coleta dos dados.

Uma relação das tecnologias empregadas para a recepção dos dados, referente a 11 trabalhos, é apresentado na Tabela 5.

Referência	Tecnologia de comunicação
[13]	<i>Bluetooth Low Energy (BLE)</i>
[15]	<i>A ZigBee wireless 2.4 GHz</i>
[17]	<i>Simple request/replay subGHz radio</i>
[18]	802.11b (no simulador)
[7]	<i>LoRa e IEEE 802.11 ac (5ghz)</i>
[19]	Simulador com IEEE 802.15.4
[20]	<i>ContikiMAC over the IEEE 802.15.4 2.4 GHz</i>
[22]	<i>WiFi</i>
[6]	<i>Device with the DTN protocol implemented</i>
[23]	<i>Multi-channel LoRaWAN® gateway</i>
[24]	<i>WiFi 802.11 2.4 GHz</i>

Tabela 5. Tipos de Comunicação

Elaborado pelo autor

3.8. Descrição dos trabalhos mais recentes

Os trabalhos mais recentes, sendo 4 publicados em 2021 e 1 publicado em 2020 são apresentados na sequência.

O trabalho de Wang et al [14] apresenta um esquema *Precision Adjustable Trajectory Planning* (PATP). Também considera o consumo de energia da comunicação *wireless* no esquema *On-Demand PATP* (OD-PATP).

A comunicação LoRa é apresentada por Behjati et al [23] como um facilitador para uso de Drones no monitoramento da pecuária em larga escala em fazendas rurais. Para a otimização do caminho do Drone é proposto um algoritmo genético. Com uma otimização usando algoritmo *ant colony* chamada EPSO (*enhanced particle swarm optimization*). Usa como comunicação a tecnologia LoRaWAN com multicanal. Apresenta detalhes da implementação do caso prático aplicado a uma fazenda rural.

Um algoritmo baseado na simples divisão da área a ser visitada é proposto por Medani et al [26] e os resultados são mensurados com base no simulador NS3 [30].

Outro trabalho que considera a idade da informação é apresentado por Changizi; Emadi [29] não para a coleta de dados e sim para atualizar dados nos pontos com IoT. Considera uma priorização na seleção dos pontos, baseado no problema da mochila combinado com o problema do caixeiro viajante.

Um esquema de acordar o sensor apenas na hora que vai transmitir é apresentado por Trotta et al [17] e propõem um *framework* chamado BEE-DRONES para redes de sensores sem fio de larga escala. Considera a trajetória ótima em conjunto com o tempo de vida dos sensores. O problema é transformado em otimização de múltiplas variáveis com solução heurística centralizada ou distribuída sobre grafos múltiplos. Usa como simulador OMNeT++ [31].

3.9. Relação e Comparação com Trabalhos Correlatos

O presente trabalho se diferencia dos demais correlatos por tratar de um ambiente considerado *Off Grid* ou seja, um local onde não se tem infraestrutura elétrica e de comunicação. O uso de IoT neste ambiente com a coleta dos dados ali gerados e que necessitam ser transportados para um ambiente central de processamento dos mesmos.

A coleta dos dados em cada ambiente *Off Grid* aqui considerado leva em conta a segurança das informações coletadas para o Drone. Tanto a autenticação segura na conexão *wireless* como a criptografia durante a transmissão da estação para o micro coletor no Drone são contempladas no presente trabalho.

4. Aspectos Relevantes

Considerando que o ambiente *Off Grid* não tem energia elétrica comercial e sim alguma forma de geração própria no local, a capacidade de geração de energia será mínima o suficiente para a alimentação dos dispositivos eletrônicos que estarão instalados neste ambiente. Sensores, atuadores, servidor local e equipamento de transmissão dos dados devem ser dimensionados para o menor consumo de energia.

A comunicação entre o servidor local e o equipamento de coleta dos dados deverá ser de forma segura garantindo a integridade dos dados transferidos para o equipamento coletor.

Visando um menor consumo e maior eficiência na integração de sensor, servidor e equipamento de transmissão de dados está previsto um único equipamento para executar todas estas funções de forma integrada.

Os dados coletados serão armazenados em um dispositivo físico de capacidade limitada. Assim a coleta destes dados deve ser realizada em intervalos de tempo compatíveis com esta capacidade de armazenamento, evitando a perda de dados por falta de espaço no armazenamento.

Como exemplos de uso para ambiente *Off Grid* poderíamos citar, coleta de dados em máquinas agrícolas, coleta de dados em estações meteorológicas, coleta de dados em utilidades remotas gerenciadas por sensores, coleta de dados em ambientes isolados e outros equivalentes característicos de ambiente *Off Grid*.

5. Problemas existentes

No ambiente *Off Grid* aqui considerado, a coleta de dados usando um Drone, tem a limitação da autonomia de voo. Assim um problema será determinar o menor caminho a ser percorrido pelo Drone de forma a fazer o máximo de coletas nos pontos e retornar a base.

Outro problema, relacionado a segurança na comunicação, é a necessidade de que os dados transmitidos entre a base e o coletor de dados estejam criptografados.

Durante o processo de comunicação um protocolo seguro deverá ser empregado evitando violação durante o processo de comunicação.

A falta de infraestrutura de energia e comunicação convencional será um problema a ser resolvido em cada estação com uma solução de geração de energia e comunicação local.

Também um problema relacionado a periodicidade de coleta dos dados deverá ser tratado. Pontos de coleta de dados que tem as informações mais antigas devem ser coletados primeiro.

Com relação ao equipamento que será acoplado ao Drone, este deverá ter capacidade de armazenamento suficiente para a coleta de diversos pontos. Uma bateria própria e todo o conjunto com o menor peso possível para ser transportado pelo Drone.

6. Soluções possíveis

Com o uso de painéis solares ou geração mecânica de energia, baterias adequadas e um servidor local tem-se as condições para implementação de sensores e atuadores para o controle de utilidades diversas, baseadas em IoT, em um ambiente *Off Grid*.

Os dados gerados neste ambiente de IoT *Off Grid* serão coletados e armazenados em um pequeno servidor local usando sistema operacional Linux. O envio destes dados para um data center, considerando a inexistência de infraestrutura local de comunicações, necessita de uma solução específica. Neste projeto será adotada a técnica de coleta dos dados por meio de um Drone usando a comunicação IEEE 802.11.

Para a coleta dos dados em cada ponto do ambiente *Off Grid* neste projeto esta previsto o uso de um Drone como Data Mule. Uma pequena placa com armazenamento e comunicação *wireless* e uma bateria para alimentação desta placa, serão acoplados ao corpo do Drone.

Em cada ponto do ambiente *Off Grid* as informações provenientes dos sensores serão armazenadas em um pequeno servidor local, com capacidade de armazenamento

adequada. Este mesmo servidor local também vai atuar como um ponto de acesso para comunicação *wireless*.

Considerando a saída do Drone do seu ponto de origem e buscando as informações em diferentes ambientes IoT *Off Grid* se faz necessário uma definição de caminho de busca para percorrer todos os diferentes locais. Para tanto um algoritmo otimizado deve ser adotado de forma semelhante ao algoritmo do caixeiro viajante, porem com diversas restrições além da distancia física tais como autonomia de voo do Drone e prioridade em função da idade dos dados.

Neste projeto, focaremos na manutenção do fluxo de informações mais especificamente no problema conhecido como data mule scheduling (DMS). Neste caso, o robô em questão, um Drone, é considerado uma mula de dados (Data Mule-DM) e deverá percorrer as redes IoT *Off Grid* implantada em uma determinada área para coletar dados.

7. Projeto e Desenvolvimento de uma proposta

Para a validação da proposta de solução apresentada neste trabalho um cenário com três diferentes locais onde ambientes *Off Grid* foram configurados e um Drone acoplado a um micro coletor de dados foi usado conforme Figura 4.

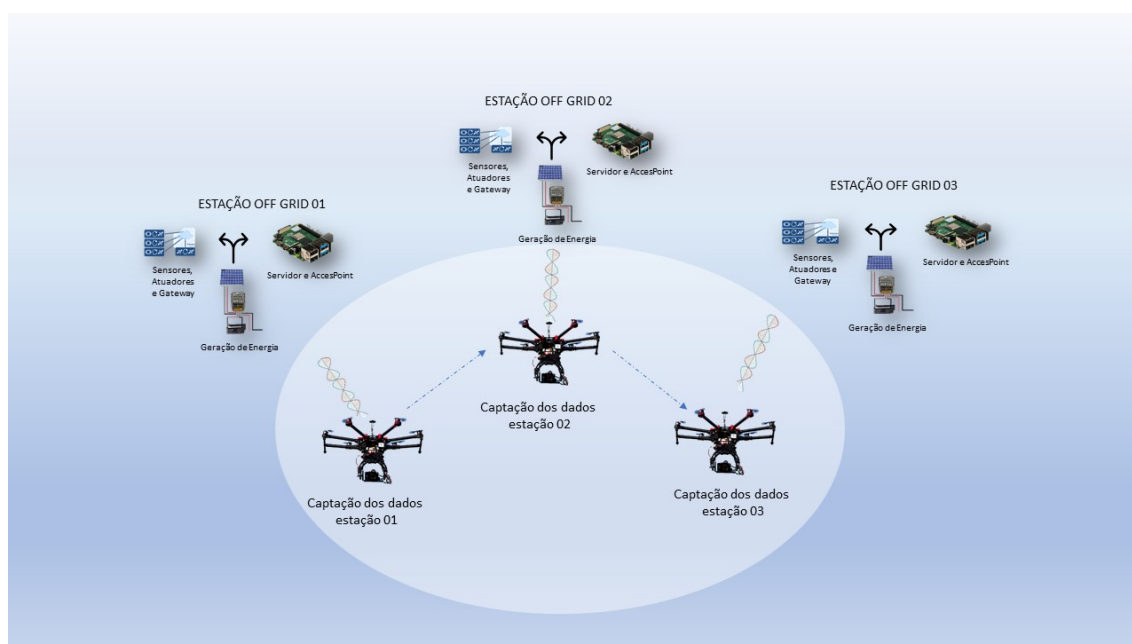


Figura 4. Cenário

Fonte: Elaborada pelo autor

7.1. Configuração em cada estação *Off Grid*

Considera-se que em cada local *Off Grid* diferentes atuadores e sensores estão gerenciando utilidades locais. As informações coletadas dos diversos sensores são enviadas ao micro responsável pela coleta e armazenamento local das informações. Todos os arquivos ficam armazenados em um único diretório para posterior transferência para o Drone.

Este mesmo micro da coleta será configurado como um *acces point* permitindo que após a aproximação do Drone ao local, uma conexão *wireless* seja estabelecida e a transmissão dos dados iniciada.

No cenário avaliado foram empregados micros Raspberry PI sendo um modelo 3B e dois modelos 4B. Cada micro Raspberry após sua configuração como *acces point* também foi configurado para aceitar conexão via SSH usando chaves de criptografia local e remota, dispensando o uso de login e senha para a conexão entre o servidor e o Drone.

A transferência de arquivos desde a estação até o micro acoplado ao Drone é via SSH e assim é necessário liberar na estação o uso de SSH na porta 22 via configurações do Raspberry.

7.2. Configuração no micro acoplado ao Drone

No cenário avaliado foi empregado um Drone modelo DJI AIR 2S tende em seu corpo acoplado um *power bank* marca KAI DI modelo KD-905 de 5000mAh alimentando um Raspberry Pi Zero 2 W e responsável pela coleta dos dados nas estações remotas.

Este Raspberry Pi Zero 2W que está acoplado ao Drone detecta automaticamente a rede wireless de cada um dos *acces point* das estações *Off Grid*. Para permitir que o micro do Drone identifique o SSID de cada estação *Off Grid* é necessário configurar WPA_SUPPLICANT. Este componente é usado em estações cliente e implementa a negociação de chaves e autenticação/associação em *roaming* no padrão IEEE 802.11.

Um script em python é iniciado após o boot do micro acoplado ao Drone sendo responsável pela identificação da estação *Off Grid* e cópia dos dados. Uma cópia deste script bem como detalhes de outras configurações citadas pode ser acessado no GitHub.

8. Conclusões e Trabalhos Futuros

A solução apresentada neste trabalho mostra que é possível a coleta de dados em um ambiente *Off Grid* com o uso de um Drone que transporta um pequeno micro coletando as informações via wireless no padrão IEEE 802.11.

Com o uso de um pequeno micro como o Raspberry Pi Zero 2W alimentado por uma bateria de 5000 mAh, agregando um peso total de 150 gramas ao Drone, foi possível coletar os dados de diferentes estações.

Com relação a segurança este trabalho considerou tanto o aspecto de autenticação entre a estação e o micro coletor como a criptografia dos dados durante o período de transferência dos dados.

A autenticação empregada foi WPA2 permitindo a conexão segura entre o micro coletor e as estações. No micro coletor todos os SSIDs das estações e suas respectivas senhas já estavam previamente configuradas.

O processo de transferência dos dados coletados foi realizado com protocolos SSL, TSL e SSH. A cópia dos dados foi realizada com SCP o qual utiliza SSH sendo que usuário e senha já estavam previamente configurados em cada estação e no micro coletor.

Como trabalhos futuros pode-se verificar a possibilidade de usar maior velocidade na transmissão dos dados com o padrão IEEE 802.11 ac na frequência de 5Ghz ou padrão

IEEE 802.11 ax na frequência de 6Ghz.

Também uma possível integração entre softwares controladores de voo do Drone para permitir uma automação na coleta dos dados nas diferentes estações a partir de suas coordenadas previamente informadas.

Referências

- [1] Silvia Watts. *The Internet of Things (IoT): Applications, technology, and privacy issues*. Nova Publisher's, 2016.
- [2] S. R. Vijayalakshmi and S. Muruganand. *Wireless Sensor Networks : Architecture - Applications - Advancements*. Mercury Learning Information, 2018.
- [3] FrontPage - raspbian.
- [4] Luana Teixeira Costa Lana, Eliane Almeida, Fernanda Cristina Lima Sales Dias, Anna Clara Rosa, Olívia Castro do Espírito Santo, Thays Cristina Bajur Sacramento, and Kathlen Thais Mariotto Braz. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. 1(2):21–33. Number: 2.
- [5] Shubhani Aggarwal and Neeraj Kumar. Path planning techniques for unmanned aerial vehicles: A review, solutions, and challenges. 149:270–299.
- [6] H. Liang, W. Gao, J.H. Nguyen, M.F. Orpilla, and W. Yu. Internet of things data collection using unmanned aerial vehicles in infrastructure free environments. 8:3932–3944.
- [7] M. Zhang and X. Li. Drone-enabled internet-of-things relay for environmental monitoring in remote areas without public networks. 7(8):7648–7662.
- [8] R. Paim. WEP, WPA e EAP.
- [9] Martin R. Albrecht, Jean Paul Degabriele, Torben Brandt Hansen, and Kenneth G. Paterson. A surfeit of SSH cipher suites. In *Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, pages 1480–1491. ACM.
- [10] Khubaib Amjad Alam, Rodina Ahmad, Adnan Akhunzada, Mohd Hairul Nizam Md Nasir, and Samee U Khan. Impact analysis and change propagation in service-oriented enterprises: A systematic review. *Information Systems*, 54:43–73, 2015.
- [11] Sofia Ouhbi, Ali Idri, José Luis Fernández-Alemán, and Ambrosio Toval. Requirements engineering education: a systematic mapping study. *Requirements Engineering*, 20(2):119–138, 2015.
- [12] Claes Wohlin. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering - EASE '14*, pages 1–10. ACM Press.
- [13] G. Gagliarde, M. Iadaresta, A. Mennella, G. Bonanomi, and M. Idbella. A new system for agrometereological data collection in areas lacking communication networks. pages 217–221.
- [14] Z. Wang, J. Tao, Y. Gao, Y. Xu, W. Sun, and X. Li. A precision adjustable trajectory planning scheme for UAV-based data collection in IoTs. 14(2):655–671.

- [15] H. Cao, H. Yao, H. Cheng, and S. Lian. A solution for data collection of large-scale outdoor internet of things based on UAV and dynamic clustering. pages 2133–2136.
- [16] X. Yang, S. Fu, B. Wu, and M. Zhang. A survey of key issues in UAV data collection in the internet of things. pages 410–413.
- [17] Angelo Trotta, Marco Di Felice, Luca Perilli, Eleonora Franchi Scarselli, and Tullio Salmon Cinotti. BEE-DRONES: Ultra low-power monitoring systems based on unmanned aerial vehicles and wake-up radio ground sensors. 180:107425.
- [18] Shidrokh Goudarzi, Nazri Kama, Mohammad Hossein Anisi, Sherali Zeadally, and Shahid Mumtaz. Data collection using unmanned aerial vehicles for internet of things platforms. 75:1–15.
- [19] Hong Min, Jinman Jung, Bongjae Kim, Jiman Hong, and Junyoung Heo. Dynamic rendezvous node estimation for reliable data collection of a drone as a mobile IoT gateway. 7:184285–184293.
- [20] Y. Qin, D. Boyle, and E. Yeatman. Efficient and reliable aerial communication with wireless sensors. 6(5):9000–9011.
- [21] A.A. Safia, Z. Al Aghbari, and I. Kamel. Efficient data collection by mobile sink to detect phenomena in internet of things. 8(4).
- [22] Potter, B., Valentino, G., Yates, L., Benzing, T., and Salman, A. Environmental monitoring using a drone-enabled wireless sensor network. In *2019 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*, pages 1–6. Journal Abbreviation: 2019 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS).
- [23] Mehran Behjati, Aishah Binti Mohd Noh, Haider A. H. Alobaidy, Muhammad Aidiel Zulkifley, Rosdiadee Nordin, and Nor Fadzilah Abdullah. LoRa communications as an enabler for internet of drones towards large-scale livestock monitoring in rural farms. 21(15).
- [24] Caroline Maul de A. Lima, Eduardo A. da Silva, and Pedro B. Velloso. Performance evaluation of 802.11 IoT devices for data collection in the forest with drones. In *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pages 1–7. IEEE.
- [25] S. Abdelhamid. UAV path planning for emergency management in IoT. pages 1–6.
- [26] Khedidja Medani, Housseem Guemer, Zibouda Aliouat, and Saad Harous. Area division cluster-based algorithm for data collection over UAV networks. In *2021 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT)*, pages 309–315. IEEE.
- [27] Yunpeng Xu and Chang Che. A brief review of the intelligent algorithm for traveling salesman problem in UAV route planning. In *2019 IEEE 9th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC)*, pages 1–7. IEEE.
- [28] Juan Liu, Xijun Wang, Bo Bai, and Huaiyu Dai. Age-optimal trajectory planning for UAV-assisted data collection. In *IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, pages 553–558. IEEE.
- [29] A. Changizi and M.J. Emadi. Age-optimal path planning for finite-battery UAV-assisted data dissemination in IoT networks. 15(10):1287–1296.

[30] nsnam. ns-3.

[31] OMNeT++ discrete event simulator.