

Perda de Percurso para Redes LoRaWAN em Ambientes Compostos

Arthur V. Fonseca, Lucas L. de Oliveira, Manuel Caballero, Juan F. Martinez e Alvaro A. M. de Medeiros

Resumo— Este artigo visa analisar modelos de perda de percurso em três ambientes urbanos através de uma campanha de medição: centro, suburbano e parque. São comparados os modelos tradicionais *Okumura-Hata*, *3GPP*, *ITU-R* e são propostos ajustes de *offset*. Além disso, são propostos dois modelos baseados em regressão linear e polinomial com melhor adequação aos dados medidos.

Palavras-Chave— Perda de Percurso, LoRaWAN, Predição.

I. INTRODUÇÃO

O padrão *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN) tem se mostrado vantajoso para uso em ambientes rurais e urbanos, já que possui baixo consumo de energia e fornece grande cobertura [1]. Entretanto, implementar uma rede sem fio sem o conhecimento do canal pode implicar em pontos de desconexão gerados por obstáculos, reflexão de sinal, relevos acidentados, múltiplos percursos, entre outros [1].

Uma etapa crucial da caracterização do canal é o estudo do comportamento da perda de percurso (PL - *Path Loss*), que auxilia no projeto, otimização e desempenho da rede, garantindo uma boa experiência ao usuário. Para ajustar um modelo de PL ao ambiente de Cork, Irlanda, foi realizada uma campanha de medição na localidade, na qual foram avaliadas latitude, longitude e Received Signal Strength Indication (RSSI).

Os dados reais permitem avaliar modelos clássicos de perda de percurso, como *Okumura-Hata*, *3GPP* e *ITU-R* em diversos ambientes. Ademais, o estudo propõe ajustes destes modelos e comparações com modelos de regressão linear e polinomial.

II. CAMPANHA DE MEDIÇÃO

A campanha de medição é realizada ao longo das regiões próximas ao prédio do *Cork County Council* na cidade de Cork, Irlanda. No topo deste prédio está localizado o *Gateway* (GW) LoRaWAN usado nesta campanha. A área percorrida é composta de diferentes perfis de relevo, densidade populacional, vegetação e com presença de rios e linha de visada para a antena, cuja frequência de operação é de 868MHz. Um *End Device* (ED) integra a rede LoRaWAN para capturar dados em tempo real e se conecta ao servidor da *The Things Network* (TTN), no qual os dados são armazenados e coletados. Os pacotes são salvos no formato JSON, contendo informações sobre localização, potência de sinal recebido (RSSI), horário, fator de espalhamento utilizado, entre outras.

Arthur V. Fonseca, Lucas L. de Oliveira e Alvaro A. M. de Medeiros são da Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora -MG, Brasil, e-mail: {arthur.fonseca, lima.lucas, alvaro}@engenharia.ufjf.br. Manuel Caballero e Juan F. Martinez são do Nimbus Research Centre da Munster Technological University, Cork, Irlanda, email: {manuel.caballero, juanfrancisco.martinez}@mtu.ie. Esse trabalho foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

TABELA I: Configurações do *End Device*.

Parâmetro	Valor
Modelo	<i>Smart LoRaWAN GPS Tracker</i>
Modo de operação	<i>Over-the-Air</i>
Precisão do GPS	10m
Largura de banda	125kHz
ADR	Ativo
Potência de transmissão	20dBm
Frequência	858MHz
Sensibilidade	RSSI $\in [-142.5, 0]$ dBm

A. Instrumentação

O GW utilizado faz parte do projeto *Pervasive Nation* na Irlanda, desenvolvido pelo CONNECT [2], centro de pesquisa em redes de telecomunicações da *Science Foundation Ireland*.

Já o ED utilizado na campanha é o *Smart LoRaWAN GPS Tracker* da fabricante *Lansitec* [3], que opera na faixa de frequência da antena e possui suporte para GPS. A Tabela I detalha as especificações técnicas do ED.

A comunicação com a TTN é estabelecida ao escolher o *cluster* de armazenamento e registrar o ED na plataforma. O *payload* dos pacotes enviados é codificado em hexadecimal por padrão, portanto, é necessário decodificar de acordo as regras de [3] para extração dos dados de interesse da campanha. Para tal, é configurado um método de conversão no *console* da TTN, fazendo o servidor identificar, automaticamente, o nome e o tipo do pacote recebido. O nome indica se o pacote em questão é de conexão, falha ou reconexão com o servidor, erro de rede, conexão com o GW, dado entregue ao GW, enquanto o tipo traz as informações de localização e camada física. Essa conversão é fundamental na etapa de manipulação dos dados.

B. Coleta e Manipulação dos Dados

A coleta de dados é composta de duas partes, sendo a primeira parte a pé e a segunda de bicicleta. A primeira envolveu os bairros Wilton, Glasheen e City Center até o Fitzgerald Park. A partir deste ponto, a medição foi feita em uma bicicleta, atravessando o parque e margeando o Rio Lee até a rodovia N22, até o bairro suburbano de Bishopstown, onde se localiza o ponto final que é a *Munster Technological University* (MTU). Durante o caminho a pé, o ED está a um altura de 1m do solo, enquanto na bicicleta essa altura é de 1,5m. Os pontos de coleta de dados estão localizados na Figura 1. As cores verde, marrom e azul indicam os ambientes centro, parque e suburbano, respectivamente. O ponto em vermelho indica a posição do GW.

Ao final da campanha, é feito o *download* dos pacotes, os quais registram pacotes nomeados como descrito na Seção II-A. Portanto, é necessário filtrar os pacotes de dados entregues ao GW (*as.data.forward*) e tipo *Periodical Position*, já que ele carrega as informações de RSSI, latitude e longitude usadas

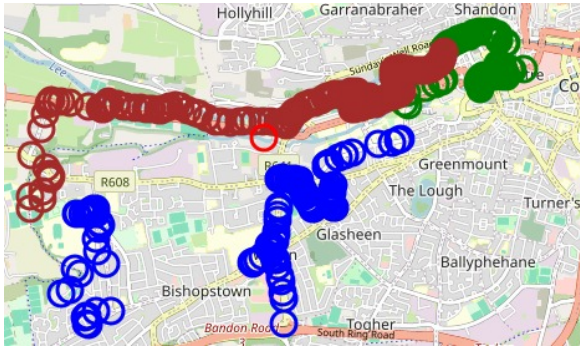


Fig. 1: Pontos de medição de RSSI.

para construir o modelo de PL. O processo de manipulação de dados é detalhado em [4].

C. Modelos Preditivos

Para a avaliação da PL, analisa-se a potência do sinal recebido pelo GW (*uplink*) em função da distância entre o GW e o ED. A partir de modelos clássicos disponíveis na literatura, como *Okumura-Hata*, *3GPP*, *ITU-R*, obtém-se a descrição do comportamento estudado. Os parâmetros e ajustes apresentados nas equações variam de acordo com o ambiente.

Portanto, são definidas três regiões para avaliar a PL: central (microcelular), suburbana (residencial de casas) e áreas verdes (campos esportivos, parque e rio). Buscou-se, para cada caso, a minimização da RMSE com o ajuste de *offset* (nível DC) das implementações dos modelos tradicionais, *Okumura-Hata* (OH), recomendação M.2135-1 da ITU-R (ITU), e *3GPP Spatial Channel Model* (3GPP). As expressões para os modelos utilizados encontram-se nos Apêndices do Capítulo 7 de [5].

Os modelos de regressão polinomial (Reg Pol) e linear (Reg Lin) buscam ajustar suas curvas características aos dados reais. Então, a comparação entre os resultados das regressões e os resultados dos modelos ajustados com *offset* permite avaliar a eficácia dos ajustes realizados.

III. ANÁLISE E RESULTADOS

O número total de amostras não repetidas coletadas foi de 528. Dessas, foram 107 amostras coletadas no centro urbano (ambiente 1), 178 amostras em áreas suburbanas (ambiente 2), e 243 amostras em regiões de áreas verdes (ambiente 3). Todos os desenvolvimentos matemáticos dos modelos, bem como os dados coletados, estão detalhados em [4].

Os valores de RSSI medidos e as distâncias do GW calculadas são utilizadas no cálculo das regressões. Entretanto, a métrica gerada pelos modelos clássicos é a perda de percurso PL. Deste modo, é necessário calcular a potência recebida a partir da potência de transmissão do ED e da PL calculada. A Tabela II apresenta os resultados calculados com base nos modelos e pelas regressões. A coluna $RMSE_0$ apresenta os valores RMSE dos modelos originais, DC apresenta o nível DC subtraído a curva, e os valores de $RMSE_1$ representam o valor RMSE da curva ajustada.

Os valores elevados de $RMSE_0$ nos modelos clássicos podem ser atribuídos às constantes empíricas, originalmente determinadas em lugares diferentes àquele da campanha de medição. Diante dessa situação, a abordagem de ajuste de *offset* mostra-se uma forma eficaz para a adaptação dos modelos às

TABELA II: RMSE para os modelos avaliados e ajustes.

Região	Modelo	$RMSE_0$ [dB]	DC[dB]	$RMSE_1$ [dB]
1	Reg Lin	7.155	–	–
1	Reg Pol	6.998	–	–
1	3GPP	137.582	-137.000	7.209
1	OH	45.0148	-44.000	7.206
1	ITU	34.104	-33.000	7.164
2	Reg Lin	7.193	–	–
2	Reg Pol	7.011	–	–
2	3GPP	89.419	-88.000	8.555
2	OH	69.632	-69.000	8.523
2	ITU	31.742	-32.000	7.198
3	Reg Lin	7.646	–	–
3	Reg Pol	7.176	–	–
3	3GPP	87.903	-88.000	7.919
3	OH	14.351	-12.000	7.890
3	ITU	32.892	-32.000	7.883

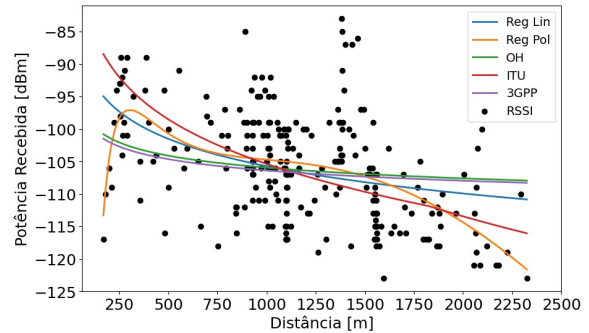


Fig. 2: Predições propostas para as áreas verdes

condições da localidade em que as amostras foram medidas. Essa melhoria é evidenciada ao comparar o erro $RMSE_0$ e $RMSE_1$ em cada ambiente, bem como ao comparar $RMSE_1$ com os valores de $RMSE$ nos modelos de regressão. Mesmo com o ajuste de *offset* dos modelos empíricos, as regressões apresentaram menor valor RMSE.

Os valores de RMSE observados são resultantes da alta variabilidade do nível de potência recebida, como exemplificado na Figura 2, que apresenta as curvas dos modelos ajustados e das regressões para as áreas verdes (ambiente 3). Mesmo com níveis de potência variando em um intervalo de mais de 30dB para pontos muito próximos, as regressões e os modelos ajustados apresentam erros RMSE da ordem de 7dB.

IV. CONCLUSÕES

Através de uma campanha de medição, este trabalho buscou reajustar alguns modelos clássicos para ambientes específicos e novos modelos baseados em regressão linear e polinomial. Em trabalhos futuros, é interessante a continuidade da abordagem por meio do aprendizado de máquinas. Pode-se explorar outros conceitos a este conjunto de dados, como por exemplo, a classificação de ambientes em visada ou não visada, a clusterização de ambientes ou a predição com modelos robustos.

REFERÊNCIAS

- [1] A. I. Griva et al, "LoRa-Based IoT Network Assessment in Rural and Urban Scenarios," *Sensors*, vol. 3, no. 3: 1695, 2023, 23, 1695.
- [2] PervasiveNation, "Ireland's Internet of Things Testbed", Disponível em: <https://connectcentre.ie/pervasive-nation/>. Acessado em junho de 2024.
- [3] Lansitec, "Smart LoRaWAN GPS Tracker", Disponível em: <https://acesse.dev/di1Hy>. Acessado em junho de 2024.
- [4] A. V. Fonseca, "Repositório do Projeto", Disponível em: <https://github.com/arthurvale/Perda-de-percurso-para-Redes-LoRaWAN-em-Ambientes-Compostos>. Acessado em junho de 2024.
- [5] A. F. Molisch, "Wireless communications". John Wiley, 2. ed, 2012.