

Monitoramento de Redes Wireless Outdoor em Mineração

Paulo Roberto Tercio Zamperlini^{*,**}, Alan Kardek Rêgo Segundo^{*}, Luis Guilherme Uzeda Garcia^{*}

^{*}Departamento de Controle e Automação (DECAT), Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Morro do Cruzeiro, 35400-000 Ouro Preto, MG, Brasil (e-mail: prtzamperlini@gmail.com, alankardek@ufop.edu.br, lg.uzedagarcia@gmail.com).

^{**}Instituto Tecnológico Vale (ITV), Bauxita, 35400-000 Ouro Preto, MG, Brasil.

Abstract: Located in the state of Pará, the S11D mining complex is responsible for extracting 20 million tons of iron per quarter. Supporting its operations, there are currently applications that rely on connectivity through an 802.11b/g/n standard wireless outdoor network. To ensure proper network operation, a local team uses a network monitoring tool called Ekahau Site Survey. However, due to the rough relief and the hazardous nature of operations in S11D, this tool being operated by human intervention is not able to collect data from all points of interest, generating interpolated maps that may not match the actual quality of the network. It is proposed in this project the development of a platform, which can be coupled to mobile machines in the operations front, for collection, without human intervention, of network parameters such as channeling, RSSI, latency, packet loss, and bandwidth. Based on these data, RSSI maps are generated through Kriging that can be used by the local team. Comparison tests between the developed platform and the Ekahau in the laboratory and in the field show equivalent results in the capture of network parameters, ensuring that the platform can be used for network quality mapping in the day-to-day operations.

Resumo: Localizado no estado do Pará, o complexo minerador S11D é responsável pela extração de 20 milhões de toneladas de ferro por trimestre. Suportando as suas operações, existem atualmente aplicações dependentes de conectividade por meio de uma rede sem fio padrão 802.11b/g/n. Para garantir a correta operação desta rede, uma equipe local utiliza uma ferramenta de monitoramento de redes chamada Ekahau Site Survey. No entanto, devido a relevo acidentado e periculosidade das operações do S11D, essa ferramenta sendo operada por intervenção humana não é capaz de coletar dados de todos os pontos de interesse, gerando mapas interpolados que podem não condizer com a real qualidade da rede. Propõe-se neste trabalho o desenvolvimento de uma plataforma, que possa ser acoplada a máquinas móveis nas operações, para coleta sem intervenção humana de parâmetros da rede, como canalização, RSSI, latência, perda de pacotes e largura de banda. Com base nesses dados são gerados mapas de RSSI por meio de Kriging que podem ser utilizados pela equipe local. Testes de comparação entre a plataforma desenvolvida e o Ekahau em laboratório e em campo apontam resultados equivalentes na captura dos parâmetros de rede, garantindo que a plataforma pode ser usada para mapeamentos no dia a dia das operações.

Keywords: wireless; outdoor; IEEE 802.11; Kriging; industrial networks.

Palavras-chaves: wireless; outdoor; IEEE 802.11; Kriging; redes industriais.

1. INTRODUÇÃO

Desde 1997, com a publicação do padrão de redes sem fio 802.11 pelo IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), tais redes vem ganhando popularidade na indústria e no uso domiciliar (IEEE, 2018). Atualmente, a mineradora Vale emprega o uso de redes padrão 802.11b/g/n em suas operações de lavra e beneficiamento no complexo minerador S11D, em Canaã dos Carajás, na região sudeste do estado do Pará.

Segundo o relatório de produção e vendas da Vale do terceiro trimestre de 2018 divulgado em seu site, o complexo S11D teve papel importante no aumento da participação das vendas de minério de ferro *premium*, que é aquele com grau de pureza superior a 62%, alcançando um novo recorde de produção trimestral de 16,1 milhões de toneladas no terceiro trimestre de

2018 e atingindo um ritmo de produção de aproximadamente 70% de sua capacidade nominal (VALE, 2018).

Um ano após o relatório anteriormente citado, em seu relatório de produção relativo ao terceiro trimestre de 2019, a Vale reportou uma produção de 20.354.000 toneladas no complexo de S11D, um crescimento de produção de 26,1% em relação ao terceiro trimestre de 2018 (VALE, 2019).

A Vale possui no complexo S11D um sistema denominado GPV que registra, além de outros dados, as paradas de produção, descrevendo seus motivos e o tempo de cada uma. Extraíndo-se um relatório do terceiro trimestre de 2019 é possível consolidar que o complexo S11D parou sua produção por aproximadamente 25 horas devido a problemas referentes a redes sem fio.

Durante este mesmo trimestre de 2019, o valor médio do preço do minério de ferro de teor 62% foi de 103 US\$/t (TRADING ECONOMICS, 2019). Em conjunto com dados fornecidos pela Vale em seu relatório de produção e venda trimestral, é possível estimar a quantidade de minério que deixou de ser produzida e o valor em US\$ que deixou de ser arrecadado pela Vale devido a paradas causadas por problemas em redes sem fio na usina: 395 mil toneladas e 40 milhões de dólares, respectivamente.

Levando-se em consideração os dados apresentados, neste projeto propõe-se desenvolver uma plataforma de monitoramento da qualidade das redes sem fio visando a mitigação destas horas de parada.

2. ESTADO DA ARTE

O conceito de REM (Radio Environment Map) foi introduzido por Zhao *et al.* (2006), e consiste em um banco de dados integrado que possui informações abrangentes de vários domínios para rádios cognitivos, tais como características geográficas, serviços disponíveis, regulações espectrais, locais e atividades de dispositivos de rádio, políticas e experiências passadas. Sua principal funcionalidade é guardar informações a serem consultadas por entidades inteligentes que possam interpretá-las.

Diversas técnicas de interpolação podem ser usadas para preencher pontos faltantes em um REM, como Kriging: técnica de regressão utilizada em geoestatística formulada por Matheron (1963), a partir da dissertação de mestrado e do artigo publicado por Krige (1951). Alguns métodos de Kriging são: Ordinary Kriging, Simple Kriging, Universal Kriging e Regression Kriging.

Conceitualmente todos esses métodos de Kriging são iguais, variando-se apenas as suposições paramétricas que são feitas. Enquanto o Simple e Ordinary Kriging interpolam valores de variáveis espaciais contínuas com dados sem viés e com variância mínima, apenas o Simple Kriging assume que a média das variáveis locais é semelhante à média da população, que é conhecida. No Ordinary Kriging, a média das variáveis locais não é necessariamente semelhante à média da população (AKBAR e NAJAFI ZILAIE, 2014). Já no Universal Kriging, concebido por MATHERON (1969) e denominado Regression Kriging por alguns autores, a tendência é modelada como uma função de coordenadas.

Boshoff (2015) avalia as técnicas de Kriging citadas anteriormente para a obtenção de um REM de uma rede de TV simulada e conclui que, para este caso, os melhores resultados foram alcançados com a técnica de Ordinary Kriging. Boshoff, na seção de trabalhos futuros de sua dissertação, sugere a utilização de dados de uma rede real em vez de uma rede simulada. Demonstrando que é possível utilizar Kriging para redes wireless padrão 802.11b/g/n, Han *et al.* (2018) publicaram um artigo aplicando a técnica em uma rede de pequeno porte composta por três rádios. No artigo, usuários portando smartphones foram responsáveis por coleta e envio de informações para o banco de dados.

Neste trabalho, pretende-se avançar no estado da arte em relação aos trabalhos de Boshoff e Han *et al.*, por meio do desenvolvimento de uma plataforma específica de monitoramento que possa ser usada em áreas de acesso restrito, em vez de usar smartphones ou notebooks. O resultado do monitoramento será utilizado para criar REMs com Kriging em uma rede wireless padrão 802.11b/g/n implantada dentro de um ambiente real de usina de beneficiamento de minério de ferro – outro diferencial em relação ao trabalho de Boshoff, no qual são criados REMs para redes de TV simuladas. A rede sem fio outdoor da usina de S11D é composta por 23 rádios e se estende aproximadamente por um total de 2 km², diferenciando-se em tamanho e complexidade da rede sem fio testada por Han *et al.* (2018), que possui apenas 3 rádios. Além disso, a plataforma de monitoramento desenvolvida neste trabalho foi desenvolvida para ser utilizada em ambientes industriais e extensos, podendo, no futuro, ser acoplada a máquinas móveis.

3. PLATAFORMA DE MONITORAMENTO

A plataforma de monitoramento criada é composta por dois módulos: um módulo de captura de coordenadas geográficas e um módulo de captura de dados de sinal e desempenho da rede. Esses módulos são referenciados como “módulo de localização” e “módulo de desempenho”, respectivamente.

O estado de qualidade da rede sem fio monitorada pela plataforma consiste na medição dos seguintes parâmetros:

- Canalização: a frequência utilizada para transmissão e recepção de dados pelos rádios e clientes da rede sem fio. No Brasil as frequências permitidas para 802.11b/g/n vão de 2400 MHz a 2483,5 MHz (ANATEL, 2018), que compreendem os canais de 1 a 13.
- RSSI: descreve a potência total de sinal recebida em miliwatts, podendo ser expressa também em dBm. Valores tipicamente variam entre -100 dBm para um sinal fraco e -60 dBm para sinais fortes (SAUTER, 2010).
- Latência (RTT): é o tempo decorrido para o trânsito de um sinal em um circuito fechado. Pode variar de microssegundos para um sistema de rádio curto a muitos segundos para um circuito de múltiplos enlaces com um ou mais enlace de satélite envolvidos. Isso inclui os atrasos dos nós, bem como o tempo de trânsito no meio de transmissão (ITS, 1996).
- Perda de pacotes: ocorre quando um ou mais pacotes de dados que viajam através de uma rede de computadores não chegam ao seu destino. A perda de pacotes é medida como uma porcentagem de pacotes perdidos em relação aos pacotes enviados (KUROSE, 2010).
- Largura de banda: é a taxa máxima de transferência de dados em um determinado caminho (FOROUZAN, 2007), usualmente medida em Kbps ou Mbps.

O módulo de localização tem como componente central uma antena GPS modelo GY-NEO6MV2. Optou-se pela utilização de uma antena sem suporte a GPS diferencial pois não há uma estação base que possa ser utilizada para este fim no complexo S11D. Esse módulo de localização aceitará o erro da antena do

GPS de 2,5 metros, conforme datasheet do fabricante (U-BLOX, 2011).

O módulo de desempenho tem como componente central uma placa Raspberry Pi 3 Model B e um sensor a ela acoplado: uma antena wireless padrão 802.11b/g/n com conector USB Multilaser modelo RE034. Além disso, esse módulo realiza a comunicação com outros computadores e servidores para entrega de todos os dados consolidados e processa os pontos de interesse a serem mapeados. Na Fig. 1, ilustra-se a comunicação entre os sensores e os módulos.

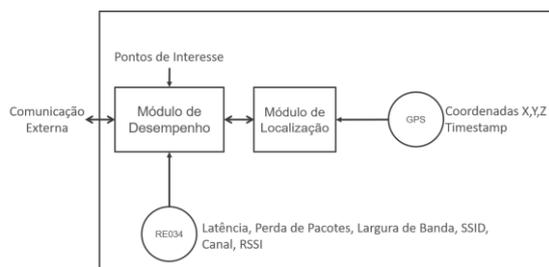


Fig. 1 Diagrama esquemático de comunicação do hardware.

Os parâmetros medidos pela plataforma, bem como os módulos e sensores responsáveis por suas medições, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros monitorados pelo hardware.

Parâmetro	Módulo	Sensor
SSID	Desempenho	RE034
Canal	Desempenho	RE034
RSSI	Desempenho	RE034
Coordenadas GPS	Localização	GY-NEO6MV2
Timestamp	Localização	GY-NEO6MV2
Latência	Desempenho	RE034
Perda de Pacotes	Desempenho	RE034
Largura de Banda	Desempenho	RE034

O software desenvolvido em Python para os módulos possui 4 estados de operação: inicial, busca, coleta e final.

No estado inicial é feita a leitura do arquivo de coordenadas dos pontos de interesse a serem monitorados. É inicializado o módulo de localização e desligada a interface de rede sem fio interna do Raspberry Pi. O programa não volta mais a esse estado após sua execução.

No estado de busca o módulo de localização monitora as coordenadas lidas pelo GPS até se encontrar a menos de 10 metros um ponto de interesse. Escolheu-se essa distância pois o erro máximo do GPS é de 2,5 metros, de acordo com o datasheet do fabricante (U-BLOX, 2011). Uma vez encontrado, entrar-se-á no estado de coleta. O número de vezes que o estado de busca é visitado é igual ao número de pontos de interesse.

Durante o estado de coleta, o módulo de localização coleta as coordenadas do GPS e seu *timestamp*, enquanto o módulo de desempenho coleta SSID, RSSI, canalização, latência, perda de pacotes e largura de banda. Após finalizar a coleta, os dados

são armazenados em arquivos de texto no próprio módulo de desempenho.

Após busca e coleta de todos os pontos de interesse, o estado final é iniciado. Nesse estado, o módulo de desempenho termina a execução do programa.

4. METODOLOGIA

4.1 Validação do Protótipo

Para a validação do protótipo montou-se um cenário de testes em laboratório conforme ilustrado pela Fig. 2. Instalou-se um rádio 'R' modelo JR2-24 do fabricante Rajant radiando uma rede sem fio padrão 802.11b/g/n e uma antena receptora 'A' modelo RE034 do fabricante Multilaser a uma distância fixa de 3,6 metros de 'R'. Instalou-se também o protótipo e o Ekahau Site Survey lado a lado fazendo-se uso da mesma antena 'A'. Variando-se os parâmetros potência de transmissão de 'R' e o ângulo ' θ ' de rotação de 'A', mediu-se o nível de sinal (RSSI) recebido no protótipo e no Ekahau de forma alternada, conforme Tabela 2. Nesse ensaio, foram coletadas 240 amostras por cada dispositivo, totalizando 480 amostras. Vale ressaltar que não havia clientes conectados a esta rede sem fio no momento do teste.

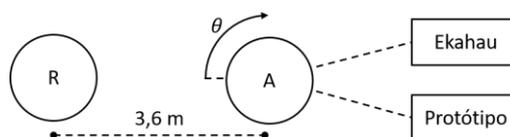


Fig. 2: Diagrama esquemático de montagem do teste comparativo em laboratório.

Tabela 2. Variação de parâmetros para medições.

Amostras	Potência de transmissão (dBm)	Rotação da Antena (°)
1–15	23	0
16–30	18	0
31–45	13	0
46–60	8	0
61–75	23	90
76–90	18	90
91–105	13	90
106–120	8	90
121–135	23	180
136–150	18	180
151–165	13	180
166–180	8	180
181–195	23	270
196–210	18	270
211–225	13	270
226–240	8	270

4.2 Testes em Campo

Os testes em campo de comparação entre o protótipo e o Ekahau Site Survey, ferramenta oficial de monitoramento de redes sem fio da Vale, foram executados em visita à usina de

beneficiamento do complexo S11D. O teste consistiu em percorrer a rota entre 27 pontos de interesse distribuídos ao redor do pátio de estocagem de produto (ver Fig. 3) e, ao chegar a cada um deles, parar o veículo para que o protótipo pudesse coletar todos os parâmetros desses pontos. Em paralelo, com o veículo ainda parado, coletar os mesmos parâmetros com o Ekahau Site Survey.



Fig. 3: Pontos de interesse a serem monitorados na usina de S11D.

O pátio de estocagem de produto da usina de S11D possui cobertura de uma rede sem fio padrão 802.11b/g/n de aproximadamente 0,35 km² (ver Fig. 4) que é composta por:

- Doze (12) rádios do fabricante Cisco, modelo AIR-CAP1552E-N-K9 com três (3) antenas do fabricante Cisco e modelo AIR-ANT2568VG-N cada um em pontos fixos;
- Dezesesseis (16) rádios do fabricante Cisco, modelo AIR-LAP1261N-A-K9, com uma (1) antena do fabricante Cisco e modelo AIR-ANT2440NV-R cada um, instalados em máquinas de pátio como empilhadeiras e recuperadoras de minério;
- Duas (2) controladoras de redes sem fio modelo Cisco AIR-CT5508-50-K9 instaladas no Datacenter.

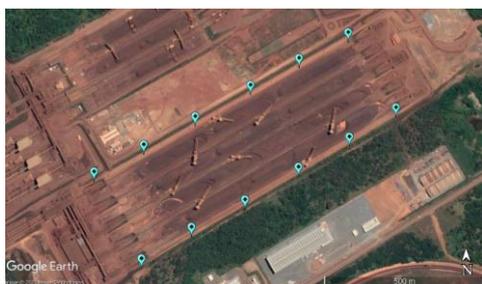


Fig. 4: Localização dos rádios instalados no pátio de produto da usina de S11D.

Para avaliar a qualidade da rede monitorada é necessário conhecer os requisitos das aplicações que a utilizam. No caso da usina de S11D, utiliza-se a aplicação 800xA do fabricante ABB, que viabiliza o controle dos CLP (Controladores Lógicos Programáveis) das máquinas recuperadoras e empilhadeiras de pátio. Os requerimentos para essa aplicação dependem da quantidade de CLPs instalados em cada máquina e do tempo do envio entre cada instrução partindo do servidor para o CLP. Os requisitos mínimos para o correto funcionamento desta aplicação neste pátio foram cedidos pela Vale e estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Requisitos mínimos da aplicação 800xA nos pátios de S11D.

Largura de Banda	0,50 Mbps
Latência	1500 ms
Perda de Pacotes	<1%

Classifica-se, então, os pontos de interesse monitorados nas seguintes categorias:

- Não observado: quando não houve medição do ponto;
- Não atende: quando 2 ou mais parâmetros estão fora dos requerimentos mínimos;
- Atende com restrições: quando 1 parâmetro está fora dos requerimentos mínimos;
- Atende: quando todos os parâmetros estão dentro dos requerimentos mínimos;

Para este teste de comparação, além do protótipo, foi utilizado um Raspberry Pi instalado na sala de servidores de tecnologia do S11D para atuar como um servidor de *iperf*. Utilizou-se também um notebook com o software Ekahau Site Survey licenciado e instalado, além de uma antena externa acoplada ao teto do veículo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados da Validação do Protótipo

O resultado da coleta das amostras em mW pode ser visto na Fig. 5. É possível perceber o formato em degraus a cada 15 amostras devido à alteração de potência de transmissão do rádio. A cada 60 amostras, a rotação da antena também altera os padrões de nível de sinal recebido de acordo com seu diagrama de radiação.

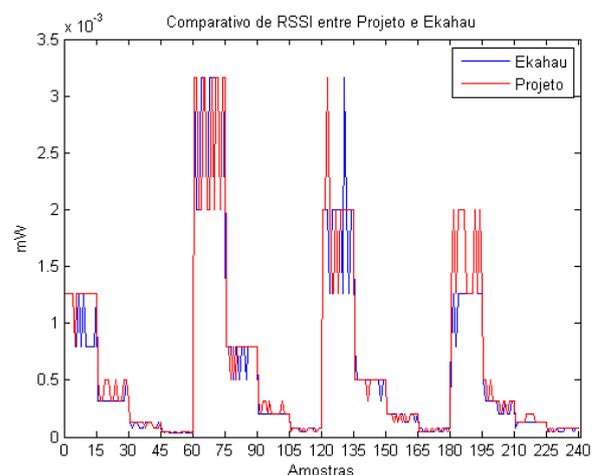


Fig.5 Comparação do RSSI medido entre protótipo desenvolvido e Ekahau Site Survey.

Para comparar de forma efetiva o Ekahau Site Survey e o protótipo, traçou-se um gráfico de barra de erros para os 16 conjuntos de amostras listados na Tabela 2. Cada barra de erro possui como ponto central a média do RSSI de cada conjunto de amostras, além de possuir como limite superior e inferior um desvio padrão a partir da média. Este gráfico, ilustrado na

Fig. 6, permite a visualização da proximidade das medições entre o Ekahau Site Survey e o protótipo.

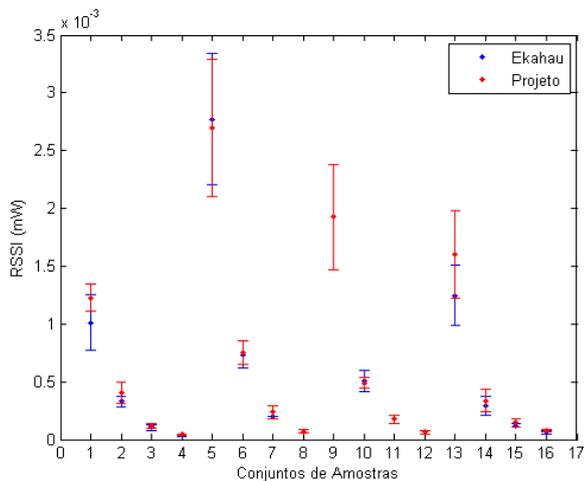


Fig. 6 Comparação entre intervalos de medição entre o protótipo desenvolvido e Ekahau Site Survey.

É possível observar que as barras de erro para todos os 16 conjuntos de amostras possuem interseções, mostrando, portanto, que as medições das amostras são equivalentes entre o Ekahau Site Survey e o protótipo desenvolvido.

5.2 Resultado dos Testes em Campo

Apesar de terem sido mapeados 27 pontos de interesse para coleta de parâmetros da rede, não foi possível visitar a todos. Nos pontos 12, 15, 16 e 17 foi necessário fazer um desvio devido ao fechamento da estrada para obras civis. Esta situação ressalta o difícil acesso a pontos de interesse para monitoramento de redes sem fio outdoor em mineração. Na Tabela 4, comparam-se as classificações dos pontos de acordo com o Ekahau Site Survey e a plataforma desenvolvida.

Com esse mapeamento é possível observar que o Ekahau Site Survey, diferentemente da plataforma desenvolvida, separa os pontos em apenas duas classificações: “Atende” e “Não Atende”. Espera-se que os pontos que a plataforma desenvolvida classifica como “Atende com Restrições”, portanto, enquadrem-se em uma dessas duas classificações – caso dos pontos 4, 6, 10, 11, 13, 14, 19, 20, 23, 24, 26 e 27. Os pontos não observados são classificados pelo Ekahau Site Survey por meio de interpolação, sendo eles: 12, 15, 16 e 17.

Todos os outros pontos restantes possuem classificação idêntica na comparação, com exceção do ponto 21. Para que haja uma avaliação mais assertiva a respeito deste último ponto são necessárias as análises das comparações de RSSI desenvolvidas a seguir.

Para que seja feita a comparação do protótipo com o resultado do mapeamento feito pelo Ekahau Site Survey é preciso interpolar o RSSI para a região em torno dos pontos de interesse mapeados. A interpolação foi feita com o uso do algoritmo de Kriging desenvolvido para MATLAB. O algoritmo utiliza três funções disponibilizadas no site da Mathworks: *kriging* (SCHWANGHART, 2010a), *variogram* (SCHWANGHART, 2013) e *variogramfit*

(SCHWANGHART, 2010b). Nesta tarefa, utilizou-se como entrada as medições de RSSI coletadas dos 23 pontos. A interpolação via *Ordinary Kriging* foi calculada para pontos a cada 10 metros. Os resultados da comparação estão apresentados na Fig. 7.

Tabela 4. Comparação da classificação dos pontos de interesse da mina de S11D.

y	Classificação da Plataforma	Classificação do Ekahau Site Survey
1	Atende	Atende
2	Atende	Atende
3	Não Atende	Não Atende
4	Atende com Restrições	Não Atende
5	Não Atende	Não Atende
6	Atende com Restrições	Atende
7	Atende	Atende
8	Atende	Atende
9	Atende	Atende
10	Atende com Restrições	Atende
11	Atende com Restrições	Não Atende
12	Não Observado	Não Atende
13	Atende com Restrições	Não Atende
14	Atende com Restrições	Atende
15	Não Observado	Não Atende
16	Não Observado	Não Atende
17	Não Observado	Não Atende
18	Não Atende	Não Atende
19	Atende com Restrições	Atende
20	Atende com Restrições	Atende
21	Não Atende	Atende
22	Não Atende	Não Atende
23	Atende com Restrições	Não Atende
24	Atende com Restrições	Atende
25	Atende	Atende
26	Atende com Restrições	Atende
27	Atende com Restrições	Não Atende

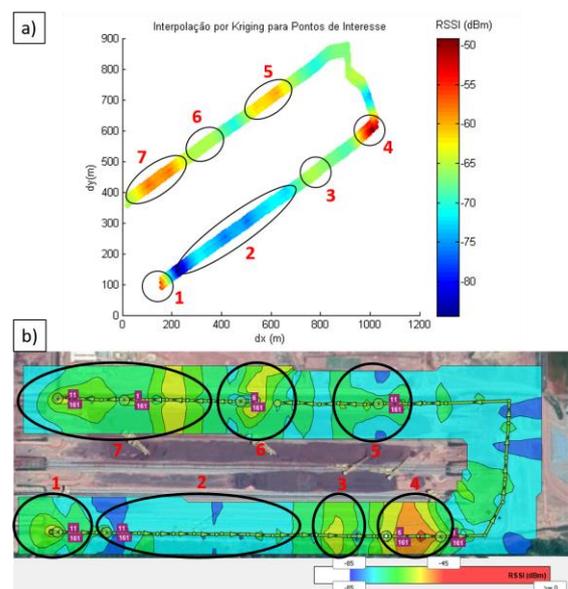


Fig. 7 Comparação de resultados entre (a) o protótipo e (b) o Ekahau Site Survey .

Destacam-se 7 regiões em ambos os mapas que apresentam semelhanças. A região 1 possui RSSI mais alto, devido ao rádio instalado no início do pátio. Já a região 2 destaca uma grande área com nível de sinal mais baixo, seguida pela região 3, que apresenta aumento no RSSI. A região 4 apresenta o maior RSSI em ambos os mapas. Do outro lado do pátio, as regiões 5 e 6 estão sob um rádio cada, e a região 7 está com bom nível de RSSI por estar coberta por dois rádios.

A seguir, apresenta-se uma análise mais detalhada por região:

- Região 1: região com um dos níveis de RSSI mais elevados. Contém os pontos 1 e 2 da Fig. 3. Ambos os pontos atendem aos requisitos da aplicação. Portanto, é uma região na qual a rede sem fio atende aos requisitos para o beneficiamento de minério de ferro;
- Região 2: região que destaca uma grande área com nível de RSSI mais baixo. Contém os pontos 3 a 6 da Fig. 3. Destes pontos, nenhum atende totalmente aos requisitos da aplicação. Portanto, é uma das regiões na qual a qualidade de rede sem fio deve ser melhorada;
- Região 3: região com nível de RSSI mais elevado. Contém os pontos 7 e 8 da Fig. 3. Ambos os pontos atendem aos requisitos da aplicação. Portanto, é uma região na qual a rede sem fio atende aos requisitos para o beneficiamento de minério de ferro;
- Região 4: região que apresenta o maior RSSI da Fig. 7(a) e 7(b). Contém os pontos 9 e 10 da Fig. 3. Um dos pontos atende totalmente a aplicação, enquanto o outro atende apenas parcialmente. Apesar de apresentar qualidade de rede sem fio superior à região 2, é uma das regiões na qual a qualidade de rede sem fio deve ser melhorada;
- Região 5: região que está sob um rádio de rede sem fio. Contém os pontos 18 a 20 da Fig. 3. Enquanto o ponto 18 não atende aos requisitos da aplicação, os pontos 19 e 20 atendem parcialmente. Portanto, apesar de um nível de RSSI mais elevado, esta região deve passar por melhorias de rede sem fio para atender totalmente aos requisitos da aplicação;
- Região 6: região que está sob um rádio de rede sem fio. Contém os pontos 22 e 23 da Fig. 3. Enquanto o ponto 22 não atende aos requisitos da aplicação, o ponto 23 atende parcialmente. Portanto, apesar de um nível de RSSI mais elevado, esta região deve passar por melhorias de rede sem fio para atender totalmente aos requisitos da aplicação;
- Região 7: região com um dos maiores níveis de RSSI da Fig. 3. Contém os pontos 24 a 27 da Fig. 3. Nesta região todos os pontos atendem parcialmente ou totalmente aos requisitos da aplicação. Apesar de apresentar qualidade de rede sem fio superior às regiões 5 e 6, é uma das regiões na qual a qualidade de rede sem fio deve ser melhorada.

Por fim, comparando-se as Fig. 3 e 7, percebe-se que o ponto 21 está localizado entre as regiões 5 e 6. A análise anterior concluiu que ambas as regiões deveriam passar por melhorias na rede sem fio. Além disso, o ponto imediatamente posterior (22) não atende aos requisitos da aplicação (ver Tabela 4) mesmo estando situado diretamente abaixo de um rádio (ver Fig. 4). É razoável concluir que este rádio não está operando

da forma correta e que por este conjunto de motivos o ponto 21 não atende aos requisitos da aplicação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho desenvolveu-se uma plataforma de monitoramento de redes sem fio outdoor. A plataforma foi testada em laboratório e em campo na área do pátio de estocagem de produto para comparar seu diagnóstico e o diagnóstico gerado pela ferramenta comercial utilizada pela Vale. Verificou-se que ambas apresentam grande semelhança no mapa gerado, o que na prática permitiria ao time local de operação de redes substituir o Ekahau Site Survey pela plataforma desenvolvida neste trabalho.

Em posse do mapa gerado pela plataforma desenvolvida e ilustrado na Fig. 7(a), algumas ações poderiam ser tomadas para diminuir a quantidade de horas de parada de produção no complexo do S11D devido a problemas de rede sem fio. Estas ações seriam as mesmas a serem tomadas caso fosse utilizada como base a análise da Fig. 7(b):

- Identificação de rádios com problemas para a manutenção corretiva;
- Alterações de configurações de rede sem fio nos rádios ou na controladora;
- Aumento ou diminuição da potência de transmissão dos rádios instalados;
- Instalação de maior quantidade de rádios em regiões que se mostrem com nível de RSSI insuficiente;
- Substituição de antenas dos rádios por antenas com ganhos ou aberturas diferentes;
- Atualização de hardware ou software para rádios obsoletos.

Para além disso, cabe ressaltar que a plataforma desenvolvida neste trabalho não depende de intervenção humana para coleta do estado de qualidade da rede, o que elimina exposição ao risco dos funcionários da Vale que executam atualmente este trabalho com o Ekahau Site Survey. Na plataforma desenvolvida a intervenção humana é necessária apenas para início do software e para coleta final, podendo ser realizada remotamente em um posto de trabalho seguro.

A plataforma de monitoramento desenvolvida neste trabalho pode ser replicada futuramente para instalação descentralizada em diversas máquinas móveis de lavra e beneficiamento do complexo, pois possui hardware mais simples do que o Ekahau Site Survey, sendo este hardware composto por um Raspberry Pi, uma antena de GPS e uma antena de rede sem fio, além dos cabos de ligação elétrica. Em contrapartida, o Ekahau Site Survey possui arquitetura centralizada, sendo executado por meio de um único notebook com o software licenciado instalado.

É possível destacar ainda que a plataforma desenvolvida não se restringe apenas a áreas de lavra e beneficiamento, podendo ser utilizada para mapeamento de qualquer tipo de rede padrão 802.11b/g/n em portos, ferrovias e cidades, por exemplo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001; do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG); e da Vale SA.

REFERÊNCIAS

- Akbar, F. and Najafi Zilaie, M. (2014). Comparison of Different Kriging Methods to Estimate the Tree Density. A Case Study: West of Karkheh in Southwest of Iran. *ProEnvironment*, volume 7, 204 – 212.
- ANATEL. Resolução nº 705, de 21 de dezembro de 2018. Disponível em: <https://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2018/12-20-resolucao-705>. Acesso em: 12 dez 2019.
- Boshoff, W. (2015). Evaluation of kriging interpolation methods as a tool for radio environment mapping. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação e Eletrônica) - North-West University, África do Sul.
- EKAHAU. (2018). Ekahau Site Survey. Disponível em: <https://www.ekahau.com/products/ekahau-site-survey/features>. Acesso em: 12 dez 2018.
- Han, Z., Liao, J., Qi, Q., Sun, H., Wang, J. (2019) “Radio Environment Map Construction by Kriging Algorithm Based on Mobile Crowd Sensing,” *Wireless Communications and Mobile Computing*, volume 2019, 1 – 12.
- IEEE. (2018). Official IEEE 802.11 Working Group Project Timelines, Disponível em: http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/802.11_Timelines.htm. Acesso em: 12 dez 2018.
- ITS. (1996). Round-trip delay time. Disponível em: https://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-031/_4641.htm. Acesso em: 12 dez 2018.
- Krige, D. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, volume 52, 119 - 139.
- Kurose, J.; Ross, K. (2010). *Computer Networking: A Top-Down Approach*, 5 ed., p. 36. Addison-Wesley, Nova Iorque:.
- Matheron, G. (1969). *Le krigeage universel*. Ecole des Mines de Paris, Paris.
- Matheron, G. (1963). *Traité de géostatistique appliquée*. Editions BRGM, Paris.
- Sauter, M. (2010). *From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband.*, 1 ed. Wiley, Nova Jersey.
- Schwanghart, W. (2013). Experimental (Semi-) Variogram. Disponível em: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/20355-experimental-semi-variogram>. Acesso em: 20 mai 2019.
- Schwanghart, W. (2010a). Ordinary Kriging. Disponível em: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/29025-ordinary-kriging>. Acesso em: 20 mai 2019.
- Schwanghart, W. (2010b). Variogramfit. Disponível em: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/25948-variogramfit>. Acesso em: 20 mai 2019.
- Trading Economics. (2019). Iron Ore 62% FE. Disponível em: <https://tradingeconomics.com/commodity/ironore62>. Acesso em 02 dez 2019.
- U-BLOX. (2011). NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Datasheet. Disponível em: <https://www.openimpulse.com/blog/wp-content/uploads/wpsc/downloadables/GY-NEO6MV2-GPS-Module-Datasheet.pdf>. Acesso em 20 mai 2019.
- Vale. (2017). Complexo S11D Eliezer Batista. Disponível em: <http://www.vale.com/s11d>. Acesso em: 12 dez 2018.
- Vale. (2018). Produção e vendas da Vale no 3T18. Disponível em: http://www.vale.com/PT/investors/information-market/quarterly-results/ResultadosTrimestrais/PREPORT3T18_p%20vFinaI.pdf. Acesso em 12 dez 2018.
- Vale. (2019). Produção e vendas da Vale no 3T19. Disponível em: http://www.vale.com/pt/investors/information-market/quarterly-results/resultadostrimestrais/preport3t19_p.pdf. Acesso em 02 dez 2019.
- Zhao, Y., Reed, J. H., Mao, S., Bae, K. K. (2006). Overhead Analysis for Radio Environment Map-enabled Cognitive Radio Networks. *2006 1st IEEE Workshop on Networking Technologies for Software Defined Radio Networks*. Reston, VA, USA, 2006, 18 – 25.