

# PROPOSTA DE SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTES DE MINAS SUBTERRÂNEAS\*

*Bruno Victor de Mesquita Ferreira<sup>1</sup>*  
*Nikolas Jorge Santiago Carneiro<sup>2</sup>*  
*Kelvin Gaia Maués<sup>3</sup>*  
*Hanna Vitória Fróis de Carvalho<sup>4</sup>*  
*Joner Oliveira Alves<sup>5</sup>*  
*Gustavo Pessin<sup>6</sup>*  
*Eduardo Costa de Carvalho<sup>7</sup>*

## Resumo

Serviços de localização são um requisito para a implantação de diversos tipos de processos de automação na mineração, podendo aumentar a segurança com sistemas de auxílio ao resgate e contribuindo nas análises de produção com a identificação de anomalias na produção. Este trabalho aborda uma proposta de sistema para localização em ambientes de mina subterrânea que utiliza redes sem fio e algoritmos de aprendizado de máquina. Tal sistema é capaz de realizar estimativas de posição utilizando técnicas inteligente; mudar dinamicamente o modelo de predição; suportar múltiplas visualizações que utilizem os dados de localização; e armazenar o histórico de localizações para outras análises e visualizações. O sistema é formado por agentes (veículos, máquinas e colaboradores), radares (que realizam varreduras da rede para identificar os agentes), um banco de dados (que armazenam as informações de posição em um histórico) e o módulo inteligente de estimativa de localização (que infere a posição baseado nas informações provenientes dos radares e/ou banco de dados). Testes pilotos com o veículo industrial *Shuttle Car* em uma mina subterrânea, que empregaram redes sem fio com *beacons* BLE, comprovaram a viabilidade do uso de técnicas de aprendizado para estimar a posição de um agente, superando as adversidades do ambiente inóspito da mineração.

**Palavras-chave:** Minas Subterrâneas; Localização Indoor; Aprendizado de Máquina.

## PROPOSAL OF LOCALIZATION SYSTEM IN UNDERGROUND MINE ENVIRONMENTS

### Abstract

Localization services are a requirement for the implementation of various types of automation processes in mining, which may increase the security with rescue aids systems, and facilitate production analyzes by contributing to identify production anomalies. This work approaches a system proposal for localization in underground mine environments, the system uses wireless networks and machine learning algorithms. Such a system is capable of performing position estimates using intelligent techniques; dynamically changing the prediction model; supporting multiple views using location data; and storing location history for other analyzes and views. The system consists of agents (vehicles, machines, and collaborators), radars (which carry out network scans to identify the agents), a database (which stores position information in a history), and the intelligent location estimation module (which infers position based on information from the radars and/or database). Pilot tests with the industrial vehicle *Shuttle Car* in an underground mine, which employed wireless networks with BLE beacons, proved the feasibility of using learning techniques to

estimate the position of an agent, overcoming the adversities of the inhospitable mining environment.

**Keywords:** Underground Mining; Indoor Location; Machine Learning.

- <sup>1</sup> *Eng. da Computação, Assistente de Pesquisa no Instituto SENAI de Inovação em Tecnologias Minerais, Belém, PA - Brasil.*
- <sup>2</sup> *Cientista da Computação, Mestre em Ciência da Computação, Técnico em Tecnologia da Informação no Instituto Tecnológico Vale, Belém, PA - Brasil.*
- <sup>3</sup> *Eng. da Computação, Bolsista de Iniciação Tecnológica no Instituto SENAI de Inovação em Tecnologias Minerais, Belém, PA - Brasil.*
- <sup>4</sup> *Eng. da Computação, Bolsista de Iniciação Tecnológica no Instituto SENAI de Inovação em Tecnologias Minerais, Belém, PA - Brasil.*
- <sup>5</sup> *Físico, Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Diretor Executivo no Instituto SENAI de Inovação em Tecnologias Minerais, Belém, PA - Brasil.*
- <sup>6</sup> *Analista de Sistemas, Doutor em Ciência da Computação, Professor Colaborador na Universidade Federal do Pará, Belém, PA - Brasil.*
- <sup>7</sup> *Cientista da Computação, Mestre em Ciência da Computação, Assistente de Pesquisa no Instituto SENAI de Inovação em Tecnologias Minerais, Belém, PA - Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

A expansão da atividade mineral, a redução de grandes corpos mineralizados próximos à superfície e a disposição de novas tecnologias de extração tendem a alavancar a lavra subterrânea. Nos últimos anos, dentre os 200 projetos minerais mais produtivos no Brasil, o número de minas subterrâneas passou de 12 para 47. O ambiente com restrição de acesso das minas subterrâneas é considerado de risco elevado, dada a dificuldade de evacuação e resgate em casos de acidente, e operação logística diferenciada [1]. Neste sentido, conhecer a posição dos agentes que operam na mina (colaboradores, máquinas ou outros veículos) pode beneficiar o planejamento de resgates em casos de acidentes, além de facilitar a identificação de gargalo na logística da operação. O sistema desenvolvido neste trabalho é capaz de realizar estimativas de posição utilizando técnicas inteligente; mudar dinamicamente o modelo de predição; suporte a múltiplas visualizações que utilizem os dados de localização, armazene o histórico de localizações para outras análises e visualizações.

A maior parte dos sistemas de localização em minas subterrâneas consiste em sistema de controle de acesso para identificar o trânsito de colaboradores em determinados pontos-chave. Tais sistemas fornecem uma noção de quantas pessoas estão na mina e em qual região. As tecnologias para localização em minas são geralmente baseadas em RFID, WLAN, UWB, INS, ou uma combinação destes [2]. Cada tecnologia apresenta prós e contras, e a implantação deve ser planejada, pois ter cobertura total da mina pode representar um alto investimento.

Dada a popularização e variedade de dispositivos das WLANs, o emprego para localização em ambientes internos é uma opção de menor custo. As três principais formas de realizar localização utilizando redes sem fio são: triangulação, trilateração e *fingerpint*. As técnicas de triangulação e trilateração sofrem com os efeitos atenuantes do sinal, tornando inadequadas para ambientes internos onde tais efeitos são acentuados. Em comparação às outras técnicas, o *fingerpint* pode apresentar performance superior por utilizar um algoritmo de aprendizado, assim o processo de localização tende a ser mais robusto. A principal dificuldade dos sistemas de localização interna é tratar a alta flutuação das medidas devido a interferências, desvanecimento de pequena escala, atenuação e reflexão do sinal. Em geral, estas flutuações fazem os sistemas de localização terem taxas de acerto insatisfatórias. Trabalhos anteriores avaliaram a acurácia de métodos de aprendizagem de máquina para a resolução do problema de localização em ambientes internos [3], bem como a importância da filtragem para uma melhor acurácia dos métodos [4].

A utilização de Bluetooth LE para localização foi empregada por Faragher e Harle [5], que destacaram a importância da coleta de múltiplas leituras do sinal de BLE para a inferência da localização, devido à natureza da propagação deste sinal. Também mostraram que múltiplas leituras melhoram o resultado, embora exista um ponto de corte para esta curva de melhoria. Rida et al. [6] desenvolveram um transmissor de baixo consumo energético para referência no ambiente e utilizando uma técnica de trilateração com obtenção de erros entre 0,5-1,0 metros. Huang et al. [7] propôs uma tecnologia baseada em ZigBee para rastrear agentes em minas de carvão utilizando um sistema distribuído como localizador. Também voltado diretamente para minas subterrâneas, Dayekh et al. [8] propôs uma técnica de

*fingerprint* utilizando *Channel Impulse Response*(CIR) e redes neurais para realizar a localização.

## 2 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do trabalho compreendeu uma análise sobre localização em ambientes internos, utilização de BLE para tal tarefa e outros sistemas de localização para minas subterrâneas. Também foi realizado um apanhado geral sobre técnicas de localização em ambientes internos e ESB. Com base nestas análises preliminares, uma proposta do sistema foi desenvolvida, com arquitetura e módulos. Visando validar a tecnologia proposta, uma análise de sinais de BLE foram coletados em um piloto estabelecido em um ambiente subterrâneo operacional.

### 2.1 Localização em Ambientes Internos

A tecnologia de GPS é a mais comum para prover localização, nesse sistema um receptor e capaz de receber informações de posição, hora, etc., de um conjunto de satélites. Porém, devido a atenuação do sinal pelo leito rochoso, dificilmente será possível obter contato com os satélites, tornando assim o GPS inviável para tal ambiente.

A utilização de redes sem fio para localização tem recebido atenção crescente. O uso de diferentes tecnologias (Wireless LAN, Bluetooth, ZigBee, etc.) e diferentes métricas tem provido soluções interessantes para o problema. Entre as diferentes métricas que podem ser utilizadas para realizar a localização estão:

- **Time of Arrival (TOA):** é o tempo de propagação entre emissor e receptor. Com essa medida é possível estimar a distância entre o receptor e o emissor;
- **Angle of Arrival (AOA):** é definido como o ângulo entre a direção de propagação de uma onda incidente e uma direção de referência;
- **Received Signal Strength Indicator (RSSI):** é uma medida de potência de sinal recebido. Utilizando essa medida e um modelo de propagação é possível estimar a distância entre receptor e emissor.

Cada uma dessas métricas possuem prós e contras em sua utilização, contudo, todas estão suscetíveis a ruídos causados por interferências, atenuações, desvanecimentos e reflexões. Esses efeitos são os principais culpados pelas acurácias insatisfatórias dos sistemas de localização. Existem três principais classes de métodos de localização que utilizam redes sem fio[9]:

- **Triangulação:** baseado nas propriedades geométrica de triângulos, utiliza ângulos para realizar a localização;
- **Trilateração:** baseado na distância entre pontos conhecidos e geometria de círculos e esferas para realizar a localização;
- **Fingerprint:** reúne um conjunto de atributos do ambiente e realiza a localização ao comparar medidas atuais com medidas feitas anteriormente.

Devido à complexidade e variabilidade dos ambientes internos, a triangulação e trilateração tendem a ter desempenhos reduzidos em comparação a ambientes externos. As técnicas que se baseiam em *fingerprint*, embora possuam um custo inicial de calibração do sistema alto, têm demonstrado um desempenho superior para essa classe de problema. O desempenho do *fingerprint* é dependente do algoritmo de aprendizagem utilizado. O algoritmo deve fazer a relação entre as

posições no ambiente e os valores na base, como também, idealmente, ter baixa complexidade computacional, baixo uso de recurso computacional e alta escalabilidade.

## 2.2 Enterprise Service Bus (ESB)

O ESB é referente à arquitetura de construção de software em tecnologias na categoria de produtos de infraestrutura. Geralmente, esse reconhecimento de padrões fornecem uma base de serviços para arquiteturas de sistemas mais complexos, existindo um *driver* de eventos e padrões baseado em mensagens.

Um ESB fornece a abstração de camadas na implementação de um sistema geral de mensagens, permitindo a integração de diferentes arquiteturas para poder explorar o sistema a nível de mensagens e não código, simplificando o acoplamento de diversos sistemas em uma única arquitetura de troca de mensagens.

As principais características do ESB segundo [10] são: invocação, rotas, mediação, adaptadores, segurança, gestão, orientação de processo, complexidade de processamento de eventos e integração. O sistema proposto neste trabalho é baseado, principalmente, na integração, pois as informações chegam de diversos pontos e uma junção é realizada para determinar o local onde o ativo está presente.

## 2.3 Desenvolvimento do Sistema de Localização

Existem duas formas de se abordar a localização em minas subterrâneas, por bloco ou métrica. A vantagem da localização métrica é a maior precisão, entretanto, esta necessita de superposição de sinais de rádio, o que aumenta o custo financeiro do projeto. Assim, para o ambiente em constante expansão da mina subterrânea, um sistema híbrido, capaz de realizar localização métrica em determinadas áreas e localização por blocos em outras, é uma alternativa que permite adaptar o sistema as necessidades e orçamento da operação.

No sistema proposto, o RSSI foi escolhido como métrica padrão para os algoritmos de localização devido a sua compatibilidade com múltiplas tecnologias. Em comparação, a TOA precisa de boa sincronicidade de relógios, e a AOA necessita de dispositivos específicos com múltiplas antenas. Com o foco da academia em métodos de aprendizado de máquina para localização, é interessante que o sistema seja capaz de utilizar e trocar entre múltiplos métodos. Assim, o sistema foi projetado tendo em vista a independência do sistema de predição.

A necessidade de independência entre os módulos estimulou o sistema a ser desenvolvido utilizando a arquitetura de um ESB. Assim, todos os módulos do sistema foram desenvolvidos de forma a se comunicarem utilizando mensagens padronizadas, permitindo que um módulo seja compatível com o sistema, ou seja, este precisa apenas registrar que tipo de mensagem deseja receber qual é capaz de fornecer.

## 2.4 Arquitetura do Sistema

A Figura 1 correlaciona os atores e serviços do sistema, sendo que os módulos se comunicam trocando mensagens pelo ESB, com a exceção dos agentes que se comunicam diretamente com os radares.

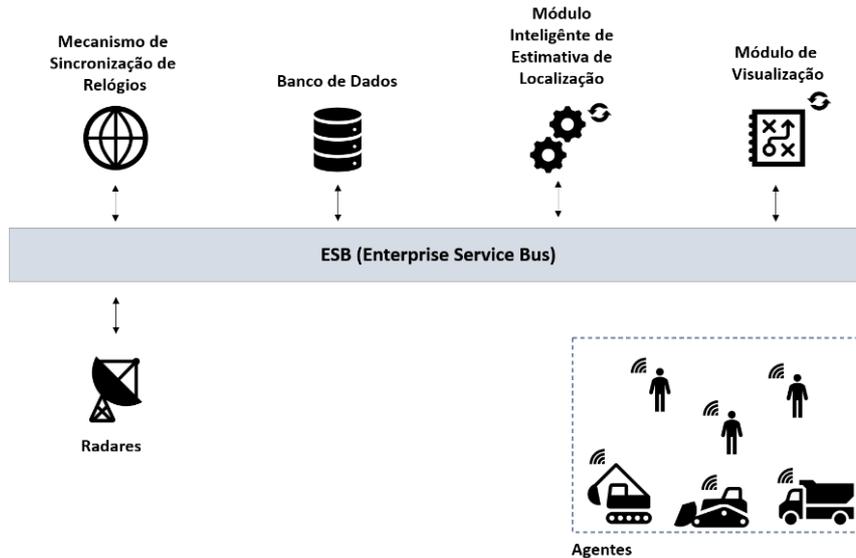


Figura 1. Arquitetura do sistema com os módulos propostos.

Os **agentes**, representam os veículos, máquinas e pessoas, são equipados com emissores de sinais (*beacons*) Bluetooth LE. Os **radares** fazem a varredura dos sinais e das informações dos *beacons* no alcance e fornecem mensagens com os valores de RSSI lidos no alcance; O **banco de dados** armazena as informações de RSSI vinda dos radares, as informações de localização provenientes do **módulo inteligente de estimativa de localização**, além de informações dos agentes e radares registrados. Os radares, servidor de visualização, cérebro de localização, banco de dados, e servidor de sincronismo de relógio devem estar conectados ao ESB.

## 2.5 Estabelecimento do Banco de Dados

O banco de dados é o ponto de concentração das informações geradas outros serviços. O Banco de Dados possui uma tabela de **agentes**, na qual todos os agentes devem estar cadastrados. A tabela **radares** tem a informação dos radares instalados na mina, nessa tabela está indicado a posição desse radar para a localização por bloco. Outra tabela, de **correspondência**, deve armazenar a referência do bloco de localização na mina com o identificador lógico na visualização. A tabela de **trace** no banco deve armazenar o resultado das varreduras feitas pelos radares e a hora que foram feitas. Essa tabela é utilizada pelo cérebro para estimar a localização dos agentes. Então, o cérebro escreve, em uma tabela **localização**, a posição estimada de cada agente e hora dessa estimativa. As visualizações então utilizam a tabela localização para exibir tais informações.

## 2.6 Emprego dos Radares

Os radares são responsáveis pelas varreduras dos sinais dos *beacons*, estes estarão conectados à rede de comunicação cabeada da mina, assim estes serviram como gateways entre a rede sem fio dos *beacons* e a rede cabeada da mina. O fluxograma de funcionamento dos radares pode ser visto na Figura 2: ao iniciar, os

radares atualizam o relógio utilizando a rede para então entrar em loop, enviando as informações dos agentes próximos e a hora que a coleta foi realizada.

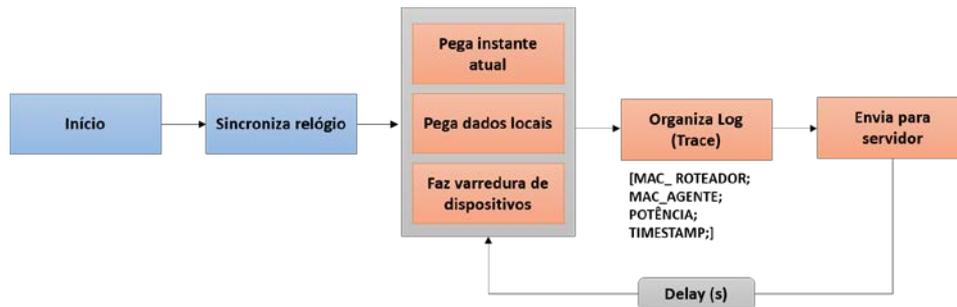


Figura 2. Fluxograma de funcionamento dos Radares.

As minas, devido à necessidade de comunicação, usualmente possuem algum tipo de sistema de comunicação cabeado. Assim, o sistema proposto visou utilizar os recursos existentes, evitando instalações e dispêndio de investimentos.

A tecnologia de rede sem fio que os radares usam é o *Bluetooth Low Energy* (BLE). O BLE é um padrão lançado pelo *Bluetooth Special Interest Group* (SIG) e faz parte do padrão Bluetooth 4.0. Comparado com o Bluetooth clássico, o BLE trabalha na mesma banda de frequência de 2.4 GHz e usa a mesma modulação, porém com mensagens curtas para reduzir o consumo de bateria [5]. O BLE prevê a utilização de mensagens de *advertisement*, *broadcast* que anuncia a presença do dispositivo e transmite uma pequena quantidade de dados. Assim, o BLE é uma tecnologia ideal para pequenos sensores alimentados a bateria. Quando comparada a outras tecnologias como o RFID, a utilização de BLE nos radares é motivada pelo baixo custo relativo dos leitores e baixo consumo energético, permitindo a utilização de dispositivos menores com elevada vida útil. Com as especificações de Bluetooth Mesh [11], a expansão da área de cobertura da mina pode ser facilitada com a implantação de rádios que não necessitem de comunicação direta à rede cabeada de dados da mina.

## 2.7 Módulo de Estimativa de Posição

A bibliografia descreve avanços em sistemas de aprendizado de máquina para localização interna [4-6,12]. Com base em tais avanços, o módulo inteligente de estimativa de posição foi projetado de forma modular. Assim, caso o algoritmo de localização seja modificado, não deverá ocorrer impacto na disponibilidade do sistema. Esse módulo recebe mensagens com valores de RSSI, ID do Radar, ID do agente e o *timestamp*. Com essa informação, este utiliza um dos métodos inteligentes previamente treinados, infere a posição do agente e retorna uma mensagem com a localização para ser salva no banco de dados.

## 2.8 Interface Gráfica

Uma das visualizações propostas para o sistema é uma modificação do *Spatial Lag Pie*, conforme tela exemplo da Figura 3. Nesta visualização cada “círculo pizza” indica um ponto ou área rastreada dentro de uma mina. A dimensão espacial de cada gráfico tipo “pizza” equivale à proporção de dados naquele instante de tempo e cada tipo de dado equivale a uma fatia da “pizza” para um tipo de agente localizado,

rastreado e autenticado (veículos, maquinários e colaboradores). O número de agentes é indicado em cada fatia do círculo, legendas foram adicionadas para cada tipo de agente e uma tabela com os agentes naquele instante de tempo, que mostrará somente os dados da área clicada e de interesse.



Figura 3. Spatial Lag Pie com mapa como background.

Outra técnica utilizada foi o *Nightingale Rose Chart* (Figura 4). Esta visualização abstrai as áreas de interesse em fatias e representa os tipos de agentes nessa área como um arco da fatia. Arcos mais escuros e próximos ao centro representam um tipo de agente, enquanto os arcos mais claros e à borda representam outro tipo de agente, e assim por diante. A área ocupada por cada arco representa a quantidade de agentes daquele tipo naquela área ou sua proporção em relação as outras.



Figura 4. Nightingale Rose indicando a distribuição dos agentes.

## 2.9 Teste Piloto em Mina Subterrânea

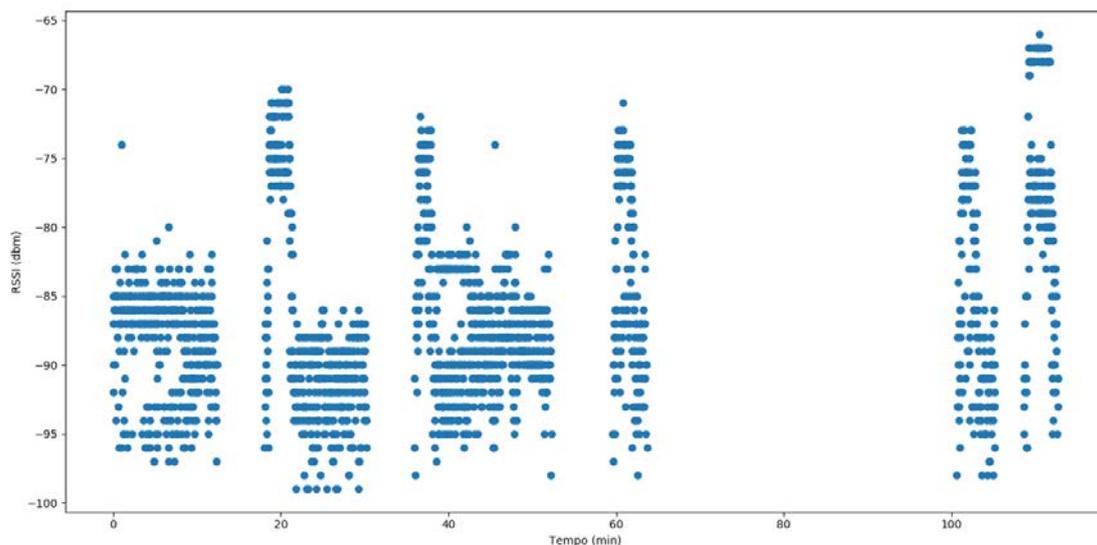
Um teste piloto da tecnologia foi realizado em uma mina localizada no complexo de Taquari-Vassouras em Rosário do Catete -SE. Para tanto, foi proposto o rastreamento do *Shuttle Car* (veículo industrial empregado para transporte do minério internamente na cava subterrânea) durante o processo de descarga no *feeder* (local de alimentação para saída do minério da mina). Originalmente, o monitoramento do *Shuttle Car* na mina se limitava à contagem manual de viagens, sem informações sobre o tempo de descarga, intervalo entre descargas ou tempo de espera. Nesta operação, dois *Shuttle Cars* realizam o transporte de material da frente de lavra ao *feeder* para descarga. Enquanto um carro está descarregando, o outro se dirige à frente de lavra para carregamento. Com o término da descarga, o primeiro carro se afasta do *feeder* e aguarda, em uma área designada, a volta do segundo carro.

Para o piloto, foram instalados *Beacons* BLE, modelo EMBC02 da fabricante EM Microeletronic, com frequência *advertisement* de 1 Hz, no *Shuttle Car* e microcomputadores Intel® Edison próximo ao *feeder*, que ficaram responsáveis por ler o sinal dos *Beacons* BLE (vide Figura 5).



**Figura 5.** Beacon BLE fixado na lateral do Shuttle Car (1) e Microcomputador próximo ao feeder (2).

O leitor foi posicionado de forma a ser capaz de perceber o veículo tanto na área de descarregamento quanto na área de espera, porém a frente de lavra ficou fora do alcance do leitor. Assim, a atividade foi dividida em dois estados: (1) descarregando e (2) aguardando carga. Essa informação nas mãos do centro de controle permite realizar análises sobre a produtividade, identificações de gargalos no processo de descarga, entre outros. As leituras captadas podem ser visualizadas na Figura 6.

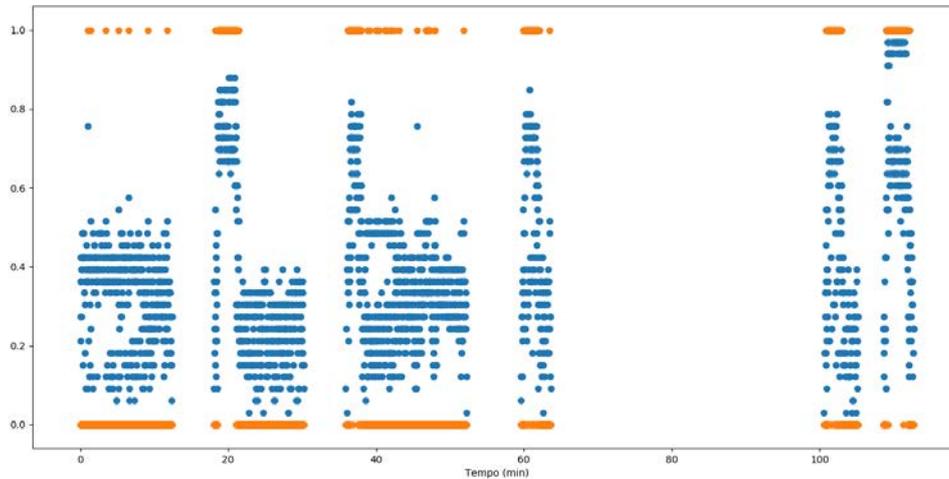


**Figura 6.** Leituras de RSSI sem tratamento: é possível identificar visualmente espaços sem leituras onde o *Shuttle Car* estava fora de alcance do radar.

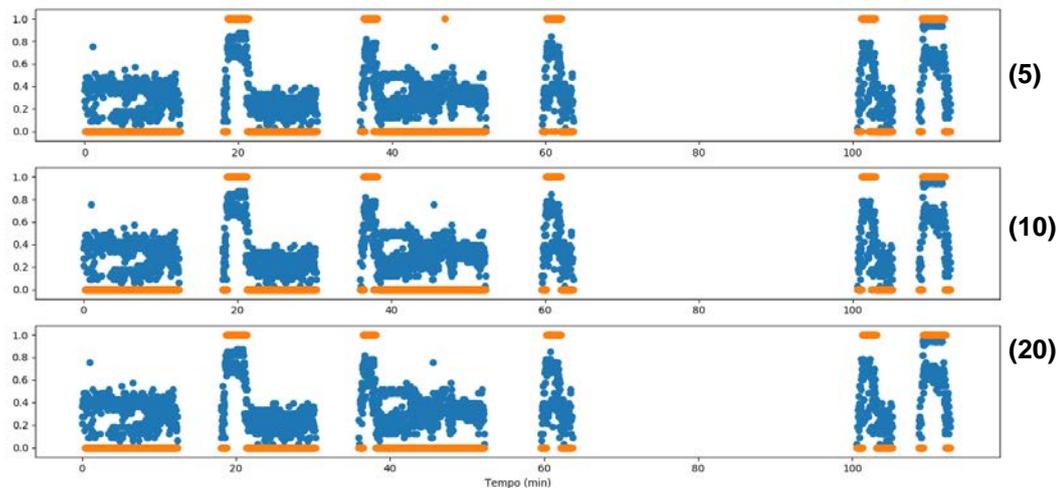
Como o processo de *fingerprint* tem alto custo, técnicas de aprendizado de máquina não supervisionado são interessantes para definir um modelo capaz de diferenciar os estados (1) e (2). Utilizando técnicas não supervisionadas é possível utilizar dados não rotulados para calibrar o sistema. Para essa tarefa foi utilizado o algoritmo de clusterização Kmeans [13], que tenta as leituras em um número predeterminado de clusters de forma que cada leitura pertença ao cluster mais próximo da média. Dois estados a serem diferenciados foram identificados ( $n^{\circ}$  de clusters = 2).

Devido ao ruído no sinal de RSSI dos *beacon*, a utilização direta do sinal no sistema de predição gera resultados absurdos, como se o *Shuttle Car* estivesse indo do ponto de descarga ao de espera múltiplas vezes por minuto, como exibido na Figura 7. Assim, um filtro de mediana foi aplicado com janela de 5, 10 e 20 nos dados de entrada com o objetivo de reduzir o ruído. Esse filtro tem a desvantagem

de aumentar o tempo para o sistema começar a gerar saídas válidas. Os filtros de 10 e 20 apresentaram resultados semelhantes. O filtro de 5 apresenta resultado ligeiramente pior, sendo este não suficiente para suprimir o ruído em determinados momentos, mas já produz uma melhoria notável em relação aos dados sem tratamento.



**Figura 7.** Classificação das leituras utilizando o Kmeans treinado. Em azul, os valores de RSSI sem tratamento; em laranja, o resultado da classificação utilizando os clusters do Kmeans (obs.: valores em escala para facilitar a visualização). Os Valores “1” representam o Shuttle Car próximo ao feeder e “0” na área de espera, com um momento onde há uma rápida variação entre os dois estados.



**Figura 8.** Resultados da clusterização dos dados filtrados pelos filtros de mediana 5, 10 e 20.

A Figura 8 mostra o resultado da previsão do cluster, na qual é possível observar claramente um padrão nos dados. Observa-se que, em comparação com a Figura 7, a resposta do Kmeans é mais estável e compatível com o observado durante a operação. Após um período sem leituras, um curto período do veículo na área de espera, seguido por outro curto período na área de descarga e, então, finalmente um período relativamente longo na área de espera. Ao fim desse período existe ausência de sinal, fato consistente com o movimento real do *Shuttle Car* durante a operação.

### 3 CONCLUSÃO

Uma proposta de um sistema de localização para ambientes mineração subterrânea foi desenvolvida com sucesso, possibilitando atividades como planejamento de resgates em casos de acidentes e identificação de gargalo na logística da operação. A utilização do ESB fornece um design flexível, permitindo a integração de serviços futuros, como por exemplo, a inclusão, de forma independente, de módulos para estimativa de posição. Os resultados obtidos com o piloto implantado em uma mina subterrânea operacional permitiram comprovar a viabilidade da tecnologia Bluetooth LE para localização. O emprego de técnicas de filtragem, permitiu que a tecnologia proposta apresentasse resultados satisfatórios, mesmo no ambiente com elevada taxa de ruído. Desdobramentos futuros do sistema proposto podem incluir metodologias para salvar dados de sensores acoplados à agentes, como acelerômetros e sensores de gás. Outras técnicas para localização inteligente em ambientes internos, como galpões de armazenamento e oficinas, podem ser geradas a partir deste trabalho, desde que compatíveis com a arquitetura.

## AGRADECIMENTOS

Projeto desenvolvido com o apoio financeiro do Edital de Inovação para a Indústria (CNI) e fomento de bolsas do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Pelas contribuições ao projeto, agradecemos ao Dr. Cleidson R. B. de Souza (UFPA), Sr. Carlos A. dos Santos e Dr. Otavio M. Leite (Vale).

## REFERÊNCIAS

- 1 Alvarenga JF. Estudo dos índices operacionais da lavra subterrânea no Brasil. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2012. 71p. (Dissertação de Mestrado).
- 2 Thrybom L, Neander J, Hansen E, Landernas K. Future challenges of positioning in underground mines. IFAC-PapersOnLine. 2015;48(10):222–226.
- 3 Schneider V, Andreão R, Nunes R. Sistema De Localização Para Ambientes Fechados Baseado Na Intensidade De Sinal Recebido Em Rede Zigbee. In: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente; 2011. p. 875–880.
- 4 Carvalho E, Faical BS, Filho GPR, Vargas PA, Ueyama J, Pessin G. Exploiting the use of machine learning in two different sensor network architectures for indoor localization. Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology. vol. 2016-May. IEEE. IEEE; 2016. p. 652–657.
- 5 Faragher R, Harle R. Location fingerprinting with bluetooth low energy beacons. IEEE journal on Selected Areas in Communications. 2015;33(11):2418–2428.
- 6 Rida ME, Liu F, Jadi Y, Algawhari AAA, Askourih A. Indoor location position based on bluetooth signal strength. Information Science and Control Engineering (ICISCE), 2015 2<sup>nd</sup> International Conference on. IEEE; 2015. p. 769–773.
- 7 Huang X, Zhu W, Lu D. Underground miners localization system based on ZigBee and WebGIS. In: 2010 18th International Conference on Geoinformatics; 2010. p. 1–5.
- 8 Dayekh S, Affes S, Kandil N, Nerguizian C. Cooperative geo-location in underground mines: A novel fingerprint positioning technique exploiting spatio-temporal diversity. 2011 IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications; 2011. p. 1319–1324.
- 9 Ding G, Zhang J, Zhang L, Tan Z. Overview of received signal strength based fingerprinting localization in indoor wireless LAN environments. Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications (MAPE), 2013 IEEE 5<sup>th</sup> International Symposium on. IEEE; 2013. p. 160–164.
- 10 Menge F. Enterprise service bus. Free and open source software conference. vol. 2; 2007. p. 1–6.

- 11 Bluetooth Mesh Networking Specifications. Acessado em: 2018-05-20. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/specifications/mesh-specifications>.
- 12 Ferreira BV, Carvalho E, Ferreira MR, Vargas PA, Ueyama J, Pessin G. Exploiting the Use of Convolutional Neural Networks for Localization in Indoor Environments. *Applied Artificial Intelligence*. 2017;31(3):279–287.
- 13 MacQueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Statistics*. Berkeley, Calif.: University of California Press; 1967. p. 281–297.