LI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional
Limeira–SP, 02 a 06 de setembro de 2019

ALGORITMOS BASEADOS EM MÉTODOS DE *CLUSTERING*: SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE APLICAÇÕES EM REDES DE SENSORES SEM FIO PARA A INTERNET DAS COISAS NA INDÚSTRIA

Lorrainy Rembiski Delfino
Universidade Federal do Espírito Santo
Avenida Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, Espírito Santo
lorrainyrd@gmail.com

Helder Roberto de Oliveira Rocha
Universidade Federal do Espírito Santo
Avenida Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, Espírito Santo
helder.rocha@ufes.br

Anilton Salles Garcia
Universidade Federal do Espírito Santo
Avenida Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, Espírito Santo
anilton@inf.ufes.br

RESUMO

O uso da Internet das Coisas na Indústria é visto como parte do conceito de Indústria 4.0, no qual requer-se uma ampla quantidade de novas tecnologias e, principalmente, a interoperabilidade para a reutilização dos dispositivos industriais existentes. Uma forma de reuso é o acoplamento de sensores as máquinas para formar as redes de sensores sem fio. Essas redes são altamente restritas e limitadas de recursos, como energia, largura de banda, processamento e armazenamento. Neste contexto, o objetivo primordial desse artigo é uma simulação em MATLAB da aplicação de um algoritmo otimização com o método de *Clustering* Hierárquico, o LEACH, para análises e comparações com o GCA, outro algoritmo de otimização com o método de *Clustering* porém baseado em Grade, e assim verificar qual o de melhor desempenho quanto a característica de balanceamento de energia em redes de sensores sem fio.

PALAVRAS CHAVE. Clustering, LEACH, GCA.

Otimização por Métodos de *Clustering*, Redes de Sensores Sem Fio, Software de Simulação MATLAB

ABSTRACT

The use of the Internet of Things in Industry is seen as part of the Industry 4.0 concept, which requires a large amount of new technologies and, especially, the interoperability for the reuse of existing industrial devices. One form of reuse is the coupling of sensors to the machines to form wireless sensor networks. These networks are highly constrained and limited of resources, such as power, bandwidth, processing and storage. In this context, the main objective of this article is a simulation in MATLAB of the application of an optimization algorithm with the Hierarchical

https://proceedings.science/p/106915?lang=pt-br

Clustering method, LEACH, for analysis and comparisons with the GCA, another algorithm of optimization with the method of Grid-based Clustering, and thus to verify which one of it has the best performance about the characteristic of balance of energy in networks of wireless sensors.

KEYWORDS. Clustering, LEACH, GCA.

Optimization by Clustering Methods, Wireless Sensor Networks, MATLAB Simulation Software

1. Introdução

Uma das inovações concebidas pela Internet é a Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things* ou IoT), para o propósito de promover uma grande rede para a conexão entre objetos endereçáveis e acelerar a disseminação de informação através da Internet. A aplicação da IoT na Indústria é denominado como Internet das Coisas na Indústria (do inglês *Industrial Internet of Things* ou IIoT), e é visto como parte do conceito de Indústria 4.0, no qual se busca uma consistente digitalização e conectividade das unidades produtivas [Botta et al., 2015].

A IIoT, além de requerer uma ampla quantidade de novas tecnologias, realiza uma interoperabilidade com o reuso das comunicações máquina-a-máquina (M2M) e as máquinas modernas inteligentes e, com a interoperabilidade evita-se um conflito na incorporação das recentes tecnologias nas antigas e viabiliza-se que os dados anteriores possam ser utilizados para uma análise avançada posteriormente [de Moura et al., 2017].

Uma das formas de reuso é o acoplamento de sensores as máquinas, ou os dispositivos, com o objetivo de formar as redes de sensores sem fio (do inglês *Wireless Sensor Networks* ou WSN) e realizar a comunicação entre eles. Dessa forma, as informações são integradas das múltiplas máquinas ou dos nós e enviadas a uma estação base (EB), onde realiza-se o processamento e gera-se o aprimoramento da produtividade [Ullah et al., 2016].

As WSNs são altamente restritas e limitadas de recursos como energia, largura de banda, processamento, armazenamento. No entanto, com o avanço das tecnologias, houve um crescimento do uso das WSNs em diversos setores, além do industrial, para possibilitar uma coleta periódica de dados em uma ampla área monitorada, o que ocasionou em um aumento no consumo de energia dos sensores.

Os sensores nos nós são, em alguns casos, inoperáveis e insubstituíveis e, geralmente, quando a falha ocorre é devido ao esgotamento de energia, pois os sensores são equipados com baterias para ambientes onde não há fonte de alimentação. Normalmente, o esgotamento de energia é ocasionado pelo grande volume de transmissão das informações, seja via Internet ou rádio [Zeb et al., 2016]. Por conseguinte, para alcançar o alto desempenho de uma WSN questões como a eficiência energética e o aproveitamento da vida útil da bateria são cruciais no desenvolver do projeto da rede.

Correntemente, uma técnica amplamente usada, como solução, é o algoritmo de otimização pelo método de agrupamento (do inglês *Clustering*) das WSNs com o objetivo de preservar a energia dos nós de sensores, diminuir o tempo de entrega de pacotes de informação e melhorar a vida útil da rede. O Algoritmo de *Clustering* forma as *Clusters* que são os conjuntos de nós de sensores, e essas possuem um nó representativo denominado de Cabeça da *Cluster* (do inglês *Cluster Head* ou CH) e os outros componentes são os Membros dos *Cluster* (do inglês *Clusters Members* ou CM). O CH recebe os dados dos seus CMs, ou de outros CH, e envia para a EB, dessa forma, otimiza-se a rede e reduz-se o número de transmissões de informações diretas [Ullah et al., 2016], [Zeb et al., 2016]. No entanto, existem diversos tipos de protocolos de *Clustering* devido à grande gama de aplicações e necessidades específicas, como requerer diferentes ciclos de tempo de vida, ou seja, outros tipos de otimizações da rede.

Neste contexto, o objetivo primordial desse artigo é uma simulação em MATLAB da aplicação de um algoritmo de otimização baseado em *Clustering* Hierárquico, o LEACH (do inglês *Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy* ou *Cluster* Hierárquico Adaptativo de Baixa Energia), em uma WSN para analisar e comparar com o Algoritmo GCA (do inglês *Grid-based Clustering Algorithm* ou Algoritmo de *Cluster* Baseado em Grade), com a finalidade de verificar qual obtém o melhor desempenho em relação balanceamento de carga para minimizar o consumo de energia.

https://proceedings.science/p/106915?lang=pt-br

Este artigo está fragmentado da seguinte forma: a seção II apresenta os Trabalhos Correlatos, os estudos desenvolvidos por outros pesquisadores na área. Em seguida, na seção III, estão os Algoritmos de *Clustering*, suas subdivisões e particularidades. Os Resultados das Simulações com o LEACH são caracterizados e discutidos na seção IV. As observações finais e as sugestões de trabalhos futuros estarão presentes na seção Considerações Finais.

2. Trabalhos Correlatos

O estudo de trabalhos correlatos é um ponto significativo para a concepção de uma abordagem viável, competitiva e com diferenciais. Nesta seção apresentam-se os estudos e trabalhos desenvolvidos por outros pesquisadores sobre o objetivo do artigo e os casos de aplicação de Algoritmos de *Clustering* para otimização de WSNs.

O emprego do *Clustering* em uma WSN é habitual para aperfeiçoar a eficiência dos recursos energéticos finitos contidos na rede. Gu et al. [2012] propõem, analisa e avalia com simulação o EELC, um protocolo de *Clustering* hierárquico em camadas, em que os dados da rede são coletados pelos CH e enviados a EB através de *multi-hops* e, ainda, realiza um balanceamento de energia dos CHs. Por outro lado, Liu et al. [2010] projeta o LPGCRA, um algoritmo de roteamento de *Cluster* baseado em Grade de baixa potência para WSN, que utiliza as grades desiguais para dividir a WSN e o *Clustering* para organizar os nós nas grades. Os resultados da simulação demonstram um equilíbrio de consumo de energia nos nós e um aumento do ciclo de vida da rede.

Thomas e Mathew [2017] apresentam uma nova forma de atribuição de endereços aos nós de sensores em uma WSN, o *Quadtree*. Os endereços dos nós da grade são designados de tal forma que os endereços dos nós adjacentes se diferem com apenas um *bit* e, em seguida, são combinados de forma semelhante aos mapas de *Karnaugh* com o intuito de compactar as informações e reduzir o tamanho dos dados de endereço do sensor.

As técnicas inovadoras para melhorar a eficiência energética e prolongar a vida útil da rede são altamente necessárias por serem um grande desafio de sobrevivência das WSNs. Uma área de pesquisa é sobre como otimizar as CHs para alcançar um grande desempenho. Para isso, Soni e Dey [2014] propõem uma técnica diferente na qual a CH é selecionada dinamicamente a partir dos CHs contidos na *Cluster* e, logo após, o ocorre novamente a seleção para gerar um processo rotacional de CH, ao ponto em que todas as CHs cheguem ao nível de energia dos CMs, e esses assumam a carga e tornem-se os novos CHs. A principal característica dessa técnica é não realizar paradas na rede para as alterações de posições.

Em muitas aplicações verifica-se que os nós mais próximos as EB costumam estar sobrecarregados com a grande carga de trafego, pois todos os dados da região são encaminhados a eles pra chegar ao destino final, a EB. Em Jannu e Jana [2014], aborda-se o problema do ponto de acesso e apresenta-se alguns algoritmos de *Clustering* e roteamento baseados em grade como forma de solução. Realizam-se testes com os algoritmos em vários cenários de uso da WSN e obtém-se como resultado experimental que os algoritmos propostos têm melhor desempenho do que os existentes em termos de tempo de vida da rede, consumo de energia e número de nós de sensores mortos.

Com base nessas referências, verificou-se o quão relevante é o estudo de soluções para aumentar o tempo de vida útil das WSNs, a partir de técnicas como a minimização do consumo de energia nos nós de sensores da rede. E, além disso, que as técnicas de Algoritmos de *Clustering* quando aplicadas melhoram o desempenho da rede e, inclusive, tornam possível o desenvolvimento de uma estrutura mais ampla e abrangente.

3. Algoritmos de *Clustering*

Uma rede de sensores é composta por um abundante número de nós de sensores, que podem ser densamente implantados dentro ou próximo de um evento a ser observado. Dado que

https://proceedings.science/p/106915?lang=pt-br

a posição dos nós de sensores não necessita ser previamente projetada ou alocada permite-se uma implantação aleatória em terrenos inacessíveis, por esse motivo os protocolos e algoritmos de rede de sensores devem possuir recursos de auto-organização. Ao equipar com processadores, enviam-se os dados para a EB parcialmente processados, apenas com o necessário, dessa forma, aumenta-se o consumo de energia nos nós de sensores. Em resumo, as WSN fornecerão ao usuário final inteligência e um melhor entendimento do ambiente [Akyildiz et al., 2002].

O *Clustering* e o roteamento realizam um papel importante na WSN para tornar a rede escalável e confiável em termos do tempo de vida da rede. Os dispositivos são alimentados com baterias insubstituíveis ou inacessíveis para carregamento, por isso, a conservação de energia é a principal preocupação para tornar a rede duradoura. O fenômeno de agrupamento nos nós de sensores é chamado de *Clustering*, e a técnica do caminho mais curto e confiável para a transferência de dados de dentro dos nós para a estação base é chamado de roteamento por Soni e Dey [2014], como mostra a Figura 1. A análise de *Clusters* é uma abordagem que tenta agrupar os pontos no espaço em conjuntos usualmente disjuntos em que se espera preservar as características marcantes de sua população [Goldbarg e Luna, 2005].

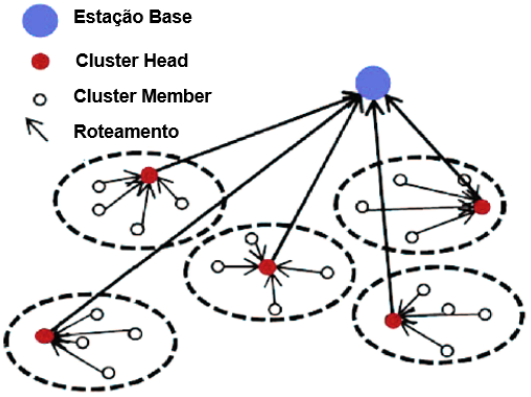


Figura 1: Arquitetura do *Clustering* [Basavaraj e Jaidhar, 2017].

O uso do *Clustering* possui vantagens como: descarte dos dados redundantes e não correlacionados para a geração de economia de energia nos nós de sensores, o roteamento é facilmente gerenciado pois somente os CHs precisam manter a tabela de roteamento e há a economia de largura de banda de comunicação em vista que os nós de sensores se comunicam apenas com seus CHs e, assim, evitam a troca de mensagens redundantes entre si [Jannu e Jana, 2014].

A otimização por *Clustering* possui vários métodos para organizar a rede, no entanto, os métodos a serem discutidos nesse artigo são: o *Clustering* Hierárquico e o *Clustering* baseado em Grade.

3.1. *Clustering* Hierárquico

O Algoritmo de otimização pelo método de *Clustering* Hierárquico (do inglês *Hierarchical Clustering* ou HC) organiza os dados dos nós de sensores em uma estrutura hierárquica, de acordo com a matriz de proximidade. Os resultados do HC são, geralmente, representados por uma árvore binária ou um dendrograma. O nó posicionado na raiz do dendrograma representa todo o conjunto de dados, a EB, e cada nó da folha é considerado como um objeto de dados, os CMs. Os nós intermediários, portanto, descrevem a extensão em que os objetos estão próximos uns dos outros e a altura do dendrograma, os CHs, geralmente, expressam a distância entre cada par de objetos ou *Clusters* [Xu e Wunsch, 2005], [Nisha e Kaur, 2015].

Dessa forma, os resultados finais do *Clustering* podem ser obtidos a partir de cortes no dendrograma em diferentes níveis. Essa representação fornece descrições e visualizações informativas para a denominação de possíveis estruturas de *Clustering* de dados, particularmente quando existem relações hierárquicas reais nos dados, assim como nos dados da pesquisa evolucionária sobre diferentes espécies de organizações.

Os algoritmos baseados em HC são classificados em Métodos Aglomerativos e Métodos Divisivos, como mostra a Figura 2. O Método Aglomerativo começa com a designação dos *Clusters* em que cada um deles inclui exatamente um objeto. Em seguida, ocorre uma série de operações de entrelaçamento para unir todos os objetos ao mesmo grupo. O método Divisivo procede de maneira oposta. No início, todo o conjunto de dados pertence a um *Cluster* e, posteriormente, acontece um procedimento em que os divide sucessivamente até que todos os *Clusters* transformem-se em *Clusters* com dados únicos [Xu e Wunsch, 2005]. Entretanto, o uso do Método Divisivo não é comum na prática computacional por ser custoso para a computação, um vista disso, os desenvolvimentos de otimizações concentram-se em Métodos Aglomerativos.

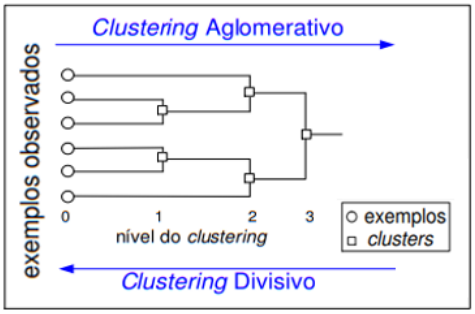


Figura 2: Dendograma dos Métodos Aglomerativo e Divisivo [Metz et al., 2004].

O LEACH é o primeiro e o mais popular protocolo de roteamento baseado em *Clustering* Hierárquico. É um protocolo de *Clustering* adaptativo e auto organizador que utiliza uma probabilidade baseada em randomização para distribuir e balancear a carga de energia igualmente entre os nós de sensores da rede. No LEACH, os nós têm a capacidade de se organizarem em *Clusters* para selecionar os CHs, e agirem como roteadores ou agregadores de dados para os outros nós [Singh, 2015], como mostra Figura 3.

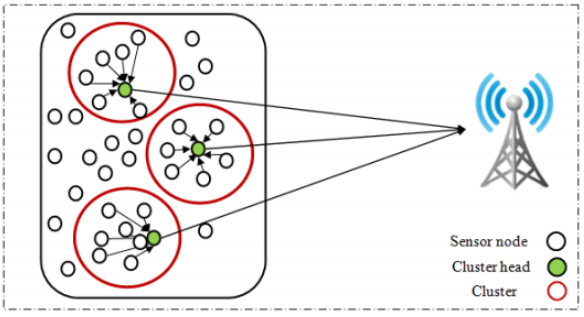


Figura 3: Modelo de Arquitetura da WSN como uso do Protocolo de Otimização LEACH [Omari e Laroui, 2015].

O nó CM detecta o seu CH de destino para o envio de dados e, em seguida, transmite-os.

O CH irá agregar aos dados recebidos de outros CMs, compactar e enviar para a EB. Logo após esse processo, ocorre uma rotação aleatória para selecionar novos CHs na qual os utilizados na rodada anterior ficarão uma porcentagem (P) de rodadas como CMs antes de transformarem-se em CHs novamente [Omari e Laroui, 2015]. O algoritmo LEACH quando detém de um número de *Clusters* muito pequeno, o consumo de energia dos seus CHs aumentará e causará a morte antecipada das CHs, e quando detém de um número de CHs muito excessivo, causará sobrecarga de dados de transmissão da EB e afetará todo o consumo de energia da rede, consequentemente, encurta-se o ciclo de vida da WSN [Rasyid et al., 2018].

3.2. *Clustering* Baseado em Grade

A abordagem do *Clustering* Baseado em Grade utiliza uma estrutura de dados de grade com múltiplas resoluções. Quantiza-se um conjunto de células em formato de grade, atribui-se os objetos a células apropriadas e todas as operações de *Clustering* são executadas. A complexidade da *Cluster* depende do número de células de grade preenchidas e não do número de objetos no conjunto de dados. A principal vantagem da abordagem baseada em grade é o seu rápido tempo de processamento, que é tipicamente independente do número de objetos de dados, mas dependente do número de células em cada dimensão no espaço quantizado [Suman e Rani, 2017], [Liao et al., 2008].

Em uma WSN organizada por *Clusters* Baseados em Grade, as grades podem ser formadas de tamanhos iguais ou desiguais. Nas grades de tamanhos iguais os nós próximos a EB, os CHs, necessitam transmitir um volume de dados maior do que os nós distantes da EB, pois todos os dados coletados são roteados por meio deles. Assim, a energia dos nós mais próximos a EB é prematuramente esgotada e resulta na segmentação da rede e redução da sua vida útil. Enquanto que nas grades de tamanhos desiguais, Figura 4, possuem a vantagem de obter o balanceamento de consumo de energia e prolongar o tempo de vida da rede, dado que existem mais CHs próximos a EB para suportar a carga da rede do que nas de tamanhos iguais [Jannu e Jana, 2014], [Zhang et al., 2018].

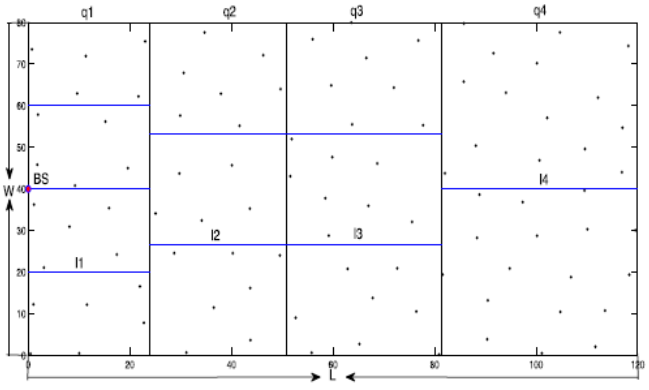


Figura 4: Modelo de WSN com Clustering baseado em grade de tamanho desigual [Zhang et al., 2018].

Entretanto, para um uso com alto desempenho, o método de *Clustering* Baseado em Grade necessita resolver as seguintes questões: como determinar o número ideal de *Clusters*, como calcular o tamanho do *Cluster*, como selecionar um CH único em uma grade e como calcular o roteamento *multi-hop* entre os CHs dos *Clusters* [Ying et al., 2014]. Normalmente, parâmetros como localização, energia e os pacotes de controle trocados entre os nós colaboram para solucionar essas questões e ampliar a otimização da rede [Zhang et al., 2018].

O GCA é um algoritmo de *Clustering* Baseado em Grade que utiliza a análise de carga para balancear a energia na rede, com o propósito de prolongar o seu tempo de vida. Em sua fase de testes por [Zhang et al., 2018], identificaram-se três pontos de contribuição para a otimização de uma WSN, são eles:

- Ao gerar o modelo de distribuição de energia possibilitou-se analisar a carga e determinar o consumo de energia da rede. Por conseguinte, pôde-se concluir que o número de pacotes entregues em cada nível está relacionado ao tamanho do *Cluster* nesse nível.
- O tamanho ideal do *Cluster* pode ser determinado para equilibrar o consumo de energia da rede a partir da solução de polinômios e, em seguida, a realização da partição da rede em *Clusters* com as grades de acordo com o tamanho obtido. A carga da rede é redistribuída com tamanho novo dos *Clusters* desiguais.
- O novo CH em cada *Cluster* é selecionado com base nas informações de energia e distância do *Cluster* no qual está inserido. Dessa forma, o consumo de energia da transmissão intra é minimizado e a sobrecarga de seleção de CH diminui de forma eficaz.

4. Resultado da Simulação do LEACH

A configurações selecionadas para a simulação em MATLAB formaram-se a partir do pseudocódigo presente na Figura 5, adaptada de Rahmadhani et al. [2018].

No	Pseudocódigo
1	Começo;
2	Configuração dos Parâmetros;
3	Posicionamento Randômico dos nós;
4	Processo de Determinação da CH;
5	Se (Nó igual a CH) {
6	Enviar broadcast para todo os nós normais;
7	Determinar os membros da CH;
8	}
9	Senão (Nó igual a Nó Normal) {
10	Receber broadcast do CH;
11	Escolher CH;
12	}
13	Formar os Clusters;
14	Nós normais enviar pacotes a CH;
15	CH buscar por EB;
16	Se (EB não encontrada por CH) {
17	Salvar pacote no buffer;
18	Se (buffer cheio) {
19	Apagar Todos os Pacotes;
20	} }
21	Senão Enviar pacote para a EB.

Figura 5: Modelo de Pseudocódigo para Simulação do LEACH adaptado de Rahmadhani et al. [2018].

Nesse pseudocódigo, as principais etapas são:

- Posicionamento Randômico dos Nós: distribuição e alocação dos nós em uma área de forma aleatória.

- Processo de Determinação da CH: os nós de maior energia são selecionados para serem os CHs na primeira rodada do algoritmo.
- Determinar os membros da CH: envio para os CMs quais nós foram determinados como CHs.
- Escolher CH: alocação dos nós CM as CHs mais próximas para receber ou enviar informações que necessitam chegar a EB.
- Formar os *Clusters*: a partir da união dos CMs aos seus CHs mais próximos formam-se os *clusters* do HC.

4.1. Configuração da Simulação em MATLAB

Para a configuração da simulação do LEACH no MATLAB, utilizou-se os mesmos parâmetros de entrada empregues por Zhang et al. [2018] em sua simulação do GCA, para que a simulação do LEACH seja similar a do GCA. Os parâmetros identificados e que serão utilizados na simulação são:

- Número total de 96 nós de sensores distribuídos por uma área retangular de 120m x 80m;
- Energia inicial de 0,5 J para cada nó, exceto para a EB que recebe alimentação externa, e uma energia total para o sistema de 50 J;
- Número de rodadas igual a 500;
- Tamanho máximo dos pacotes enviados dos CHs para a EB é de 400 *Bytes*;
- Tamanho máximo dos pacotes enviados dos CMs para os CHs é de 200 *Bytes*.

A EB, do algoritmo LEACH, esta localizada ao centro dos *Clusters* em vista da sua topologia ser considerada como uma árvore binária ou um dendograma, como mostra a Figura 6. O tempo de vida será prolongado caso o total do consumo de energia seja minimizado. A análise da energia na rede é alcançada neste artigo com base em [Omari e Laroui, 2015].

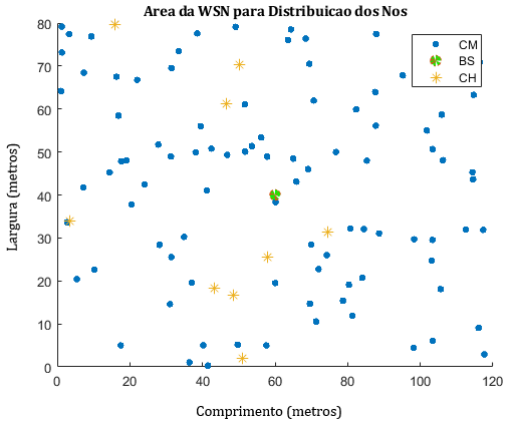


Figura 6: Área da WSN para Distribuição dos nós simulado em MATLAB.

4.2. Avaliações e Comparações de Performances

O número de nós de sensores mortos, como mostra a Figura 7 a), é utilizado para avaliar a característica do balanceamento do consumo de energia. Como resultado obtém-se que quando a rodada é igual a 500 ainda não existe nenhum nó que tenha esgotado sua energia e possa ser considerado como nó morto. Enquanto, no GCA, de acordo com Zhang et al. [2018], próximo a rodada de número 400 antecipadamente existe um nó morto e ao completar a rodada de número 500, somam-se um total naquele instante de 18 nós mortos.

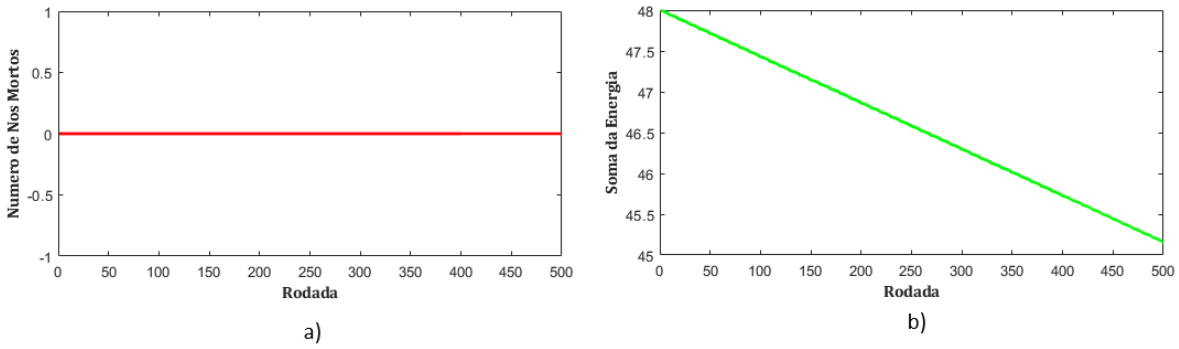


Figura 7: a) Número de nós de sensores mortos e b) Energia remanescente nos nós de sensores da WSN.

Como demonstra a Figura 7 b), no tempo em que o número da rodada está próximo a 500, o valor da energia remanescente na WSN, com o LEACH, é próximo a 45 J, portanto, nota-se que a energia restante em cada nó, independente da função, é de aproximadamente 0,46 J. No mesmo momento, o GCA apresenta cerca de 0,1 J para cada nó da WSN.

E, por fim, percebe-se na Figura 8 que no instante da rodada de número 500, 14000 *Bytes* prontamente foram enviados a EB. No entanto, o GCA não implementou simulações quanto ao número de pacotes enviados a EB, mas em seu artigo, Zhang et al. [2018], discursa sobre como efetuou o cálculo dos pacotes enviados. O cálculo consiste do número de nós de sensores, que não estão mortos, multiplicado pelo tamanho do pacote. Constata-se, então, que como a quantidade de nós de sensores mortos antes da rodada de número 500 do GCA é maior do que a do LEACH, o algoritmo do GCA enviou menos pacotes que o do LEACH.

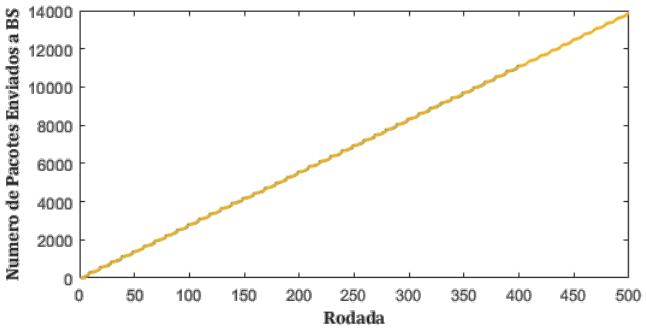


Figura 8: Número de pacotes enviados a BS.

5. Considerações Finais

Os projetos de otimizações demandam numerosos trabalhos baseados na otimização do número de CHs, conjuntos difusos ou raios completos, com propostas para alcançar um equilíbrio

com o consumo de energia. Em relação aos algoritmos apresentados e as simulações efetuadas, observa-se que nos três parâmetros selecionados para a comparação nesse artigo, o comportamento do Algoritmo de LEACH supera o do GCA.

Por conseguinte, é possível inferir que a estrutura do LEACH para otimização de uma WSN em um ambientes industrial, nas mesmas condições da simulação acima, é superior ao GCA. Esse fato é um ponto crucial para a minimização do consumo de energia e o prolongamento do tempo de vida útil da rede, dado que ao final das rodadas estipuladas o algoritmo LEACH ainda dispõe de aproximadamente três vezes mais a quantidade de energia que o GCA dispõe para cada nó de sensor em suas *Clusters*.

Para trabalhos futuros sugere-se a continuidade do desenvolvimento da pesquisa sobre o Algoritmo de LEACH; simulações de aplicações em grande escala, em outros ambientes e a obtenção de outros parâmetros como a quantidade ideal dos CHs, o consumo da rotação dos CHs, a distância entre os nós, dentre outros. E, ainda, a implementação de outros algoritmos como o Genético, o PSO (do inglês Particle Swarm Optimization ou Otimização por Enxame de Partículas), a Colônia de Formigas e o Recozimento Simulado com o uso de funções que otimizadas alcançarão um desempenho superior ao LEACH.

Referências

Akyildiz, I., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., e Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. In *Computer Networks*, volume 38, p. 393 – 422.

Basavaraj, G. N. e Jaidhar, C. D. (2017). H-leach protocol with modified cluster head selection for wsn. In *2017 International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon)*, p. 30–33.

Botta, A., Donato, W. D., Persico, V., e Pescapé, A. (2015). A. Integration of Cloud Computing and Internet of Things : A survey. In *Future Generation Computer Systems*.

de Moura, R. L., Ceotto, L. F., e Gonzalez, A. (2017). Industrial IoT and Advanced Analytics Framework: an approach for the Mining Industry. In *International Conference on Computational Science and Computational Intelligence*.

Goldbarg, M. C. e Luna, H. P. L. (2005). In *Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos - 2.ed.* Rio de Janeiro: Elsevier.

Gu, Y., Jing, D., e Guo, J. (2012). Energy efficient layered clustering approach for wsn. In *2012 International Conference on Control Engineering and Communication Technology*, p. 628–631.

Jannu, S. e Jana, P. K. (2014). Energy efficient grid based clustering and routing algorithms for wireless sensor networks. In *2014 Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, p. 63–68.

Liao, W., Liu, Y., e Choudhary, A. (2008). A grid-based clustering algorithm using adaptive mesh refinement. In *7th Workshop on Mining Scientific and Engineering Datasets*.

Liu, W., Wang, Z., Zhang, S., e Wang, Q. (2010). A low power grid-based cluster routing algorithm of wireless sensor networks. In *2010 International Forum on Information Technology and Applications*, volume 1, p. 227–229.

Metz, J., Lee, H., dos Santos, L. C., Machado, R., e Wu, F. C. (2004). Lancet: Um sistema para clustering hierárquico aplicado à biodeterioração do concreto. In *Anais do I Workcomp Sul - Workshop de Ciências da Computação e Sistemas da Informação da Região Sul*, p. 1–12.

Nisha e Kaur, P. J. (2015). A survey of clustering techniques and algorithms. In *2015 2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, p. 304–307.

Omari, M. e Laroui, S. (2015). Simulation, comparison and analysis of wireless sensor networks protocols: Leach, leach-c, leach-1r, and heed. In *2015 4th International Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, p. 1–5.

Rahmadhani, M. A., Yovita, L. V., e Mayasari, R. (2018). Energy consumption and packet loss analysis of leach routing protocol on wsn over dtn. In *2018 4th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, p. 1–5.

Rasyid, M. U. H. A., Lee, B., Syarif, I., e Arkham, M. M. (2018). Leach partition topology for wireless sensor network. In *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)*, p. 1–5.

Singh, K. (2015). Wsn leach based protocols: A structural analysis. In *2015 International Conference and Workshop on Computing and Communication (IEMCON)*, p. 1–7.

Soni, S. e Dey, B. (2014). Dynamic selection of cluster head in cluster of cluster heads within the cluster in heterogeneous wireless sensor network. In *2014 IEEE International Conference on Advanced Communications, Control and Computing Technologies*, p. 877–881.

Suman e Rani, P. (2017). A survey on sting and clique grid based clustering methods. In *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, volume 8.

Thomas, S. e Mathew, T. (2017). Lossless address data compression using quadtree clustering of the sensors in a grid based wsn. In *Ad Hoc Networks*, volume 56, p. 84 – 95.

Ullah, Z., Mostarda, L., Gagliardi, R., Cacciagrano, D., e Corradini, F. (2016). A comparison of heed based clustering algorithms – introducing er-heed. In *2016 IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, p. 339–345.

Xu, R. e Wunsch, D. (2005). Survey of clustering algorithms. In *IEEE Transactions on Neural Networks*, volume 16, p. 645–678.

Ying, X., Xiongfei, Z., e Renfa, L. (2014). A grid-based unequal clustering algorithm for the multi-hop routing in wsn. In *3rd International Conference on Computer Science and Service System*.

Zeb, A., Islam, A., Zareei, M., Al Mamoon, I., Mansoor, N., Baharun, S., Katayama, Y., e Komaki, S. (2016). Clustering analysis in wireless sensor networks the ambit of performance metrics and schemes taxonomy. In *International Journal of Distributed Sensor Networks*.

Zhang, J., Feng, X., e Liu, Z. (2018). A grid-based clustering algorithm via load analysis for industrial internet of things. In *IEEE Access*, volume 6, p. 13117–13128.

https://proceedings.science/p/106915?lang=pt-br