

Posicionamento de Concentradores para uma Infraestrutura Avançada de Medição Inteligente em Redes Máquina a Máquina

Álison A. Cardoso, Vinícius da C. M. Borges, Flávio H. T. Vieira, Gustavo B. de C. Souza
 Marcus V. G. Ferreira, Sérgio G. de Araújo, Marcelo S. Castro

Resumo—As restrições rigorosas de latência, custo e consumo de energia impostas pelo paradigma de comunicação Máquina a Máquina (M2M), requerem soluções que tentem otimizar ao máximo as características das redes sem fio. Um dos cenários de M2M mais empregados atualmente em cidades inteligentes é a Infraestrutura Avançada de Medição Inteligente (IAM) que pretende gerenciar de forma mais inteligente a energia elétrica através de um monitoramento preciso e imediato da rede elétrica das cidades. Neste contexto, o problema de otimização que objetiva minimizar a quantidade de concentradores enquanto mantendo a Qualidade de Serviço em nível aceitável tem um papel fundamental. Existem poucas abordagens que tratam a questão do posicionamento dos concentradores em uma IAM. Por esta razão, este artigo apresenta uma comparação dos algoritmos *Kmeans-Dijkstra* e Recursivo de posicionamento de concentradores em IAM realizada no Matlab, onde os parâmetros comparados mostram a superioridade do algoritmo Recursivo no posicionamento dos concentradores, onde limitações do algoritmo *Kmeans-Dijkstra* também são apresentadas.

Palavras-Chave—Redes Máquina a Máquina, Medição Inteligente, Posicionamento de Concentradores.

I. INTRODUÇÃO

A internet apresentou nas últimas décadas um considerável crescimento, se tornando uma ferramenta essencial para o ser humano, onde atualmente não somente o homem utiliza desta tecnologia de comunicação, como também máquinas (aparelhos e dispositivos), o qual se comunicam entre si. O paradigma de comunicação o qual possibilita esses dispositivos se comunicarem é nomeada de Máquina a Máquina (M2M) [Boswarthick et al. 2012][Gallego et al. 2012], onde alguns bilhões de dispositivos se comunicam apresentando fortes restrições de atraso e consumo de bateria.

Um dos cenários de aplicação M2M mais utilizados recentemente é Infraestrutura Avançada de Medição (IAM), uma estrutura inserida em medição inteligente que objetiva a comunicação, controle e monitoramento de energia elétrica, permitindo as operadoras de energia elétrica um gerenciamento mais preciso sobre a rede elétrica quase

que instantaneamente. Atualmente o Brasil está vivendo uma crise energética sem precedentes [Garcial 2015], no qual o governo tem sido cobrado para encontrar soluções para a falta de energia. Visto que encontrar fontes de energia sustentável é um recente desafio mundial, soluções que ajudem a economizar energia são bem vindas. Neste contexto, IAM oferece uma solução de gerenciamento de energia elétrica alternativa para administrar melhor o consumo da mesma.

O planejamento da Infraestrutura Avançada de Medição deve levar em consideração alguns requisitos como: quantidade de medidores suportados pelos concentradores, distância percorrida pelas mensagens e quantidade/posicionamento de concentradores e medidores [Liu et al. 2011]. O posicionamento dos medidores e dos concentradores, onde a quantidade elevada de medidores pode sobrecarregar o concentrador, conseqüentemente elevando as perdas de pacotes na comunicação. A distância em número de saltos que a mensagem percorre entre os medidores até chegar no concentrador também pode interferir no desempenho da rede, elevando o atraso da rede, onde quanto menor o atraso, mais rápido a operadora pode apresentar uma resposta (atuação).

O aumento na quantidade de concentradores pode aumentar a vazão, diminuir o atraso e diminuir a sobrecarga, mas como consequência pode elevar o custo financeiro da IAM. O contrário, a redução na quantidade de concentradores, pode ocasionar a degradação dos parâmetros de vazão, sobrecarga e atraso mas pode também apresentar uma maior viabilidade no custo de implementação. Por estas razões, este artigo foca no problema de otimização no posicionamento de concentradores em redes inteligentes de medidores, objetivando atender restrições de balanceamento na quantidade de medidores ligados aos concentradores, balanceamento na quantidade de medidores ligados aos medidores dominantes, e quantidade de saltos permitida na comunicação dos medidores com seus respectivos concentradores, ou seja, fatores que influenciam significativamente o desempenho da rede, como: vazão, atraso e perdas [Aoun et al. 2006].

O artigo está dividido na seguinte forma: A seção 2 apresenta os trabalhos e propostas semelhantes existentes na literatura para o problema de posicionamento de concentradores. As seções 3 e 4 apresentam os algoritmos comparados na solução do problema. Na seção 5 é apresentado a implementação e os resultados dos algoritmos,

Borges e Vieira: Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, E-mails: vinicius@inf.ufg.br, flavio@emc.ufg.br.

Cardoso, Souza, Ferreira, Araújo e Castro: Escola de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Federal de Goiás. E-mails: alsnac@gmail.com, gustavo2x4@gmail.com, mvgerreira@tjgo.jus.br, granato@emc.ufg.br, mcastro@emc.ufg.br.

onde comparações na quantidade de concentradores em relação às restrições de QoS são apresentados. Na seção 6 apresentamos a conclusão deste trabalho apresentando também propostas de trabalhos futuros.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Buscando soluções para o problema de posicionamento de concentradores em uma rede de medidores inteligentes, encontramos similaridade com o problema da quantidade mínima de *Mesh Gateways* em uma rede WMN (*Wireless Mesh Network*). A rede WMN é composta de três componentes: MCs (Mesh Clients), MR (Mesh Routers) e MG (Mesh Gateways). Os Mesh Gateways são responsáveis por concentrar o tráfego provindo dos MCs e MRs, realizando a comunicação com a Internet, tarefa similar à dos concentradores da IAM. O problema de posicionamento dos Gateways objetiva também em encontrar a melhor posição possível para oferecer uma QoS satisfatória. A característica que aproxima o problema de otimização de posicionamento de *Mesh Gateways* ao de concentradores em IAM é o fato de escolha estar condicionada aos *Mesh Routers* e *Mesh Gateways* que possuem posição fixa e pré-determinada pelo gerente da rede. Similar a IAM onde os medidores e o concentradores também são fixos e com posição pré-determinadas.

Em Aoun *et al.* (2006), os autores propõem um algoritmo iterativo para o problema do posicionamento de *Gateways* levando em consideração alguns parâmetros de QoS, como: Quantidade de Nós por *Gateway*, Quantidade de Nós por Nós Dominantes e Quantidade Máxima de Saltos. Os autores comparam o algoritmo proposto a três outros algoritmos (*Basic Recursive*, *Iterative Greedy e Augmenting*), apresentando quantidade de *Gateways* alocados inferior aos algoritmos comparados. Aoun *et al.* (2006) utilizam o fato da proposta apresentar um algoritmo recursivo, permitindo visitar os nós do grafo e reduzir a quantidade de concentradores significativamente a cada iteração do algoritmo recursivo.

Souza *et al.* (2013) propõe um algoritmo, que faz uso de clusterização *k-means* e de algoritmos de caminho mínimo como BFS, Dijkstra e BellmanFord, para encontrar o melhor posicionamento de concentradores GPRS em uma rede de medição inteligente de energia elétrica utilizando medidores *ZigBee*, onde o número de saltos é minimizado. Os resultados apresentados em Souza *et al.* (2013), mostram resultados teóricos em conformidade com os resultados simulados, mas algumas características não são apresentadas, como por exemplo: otimização da rede levando em consideração alguns critérios de QoS como números de saltos entre os medidores e concentradores e balanceamento de carga entre os nós; cenários densos com quantidade elevada de nós; minimização na quantidade de concentradores objetivando uma redução de custos sem degradação na QoS.

Conforme o estudo realizado na literatura, podemos notar que a abordagem de Sousa *et al.* (2013) apresenta limitações que precisam ser tratadas. Por esta razão, este trabalho propõe aplicar o algoritmo proposto em Aoun

et al. (2006) com a abordagem de Sousa *et al.* (2013), levando em consideração a minimização da quantidade de concentradores na infraestrutura avançada de medição, considerando parâmetros de QoS, o qual não é considerado em Souza *et al.* (2013).

III. ALGORITMO *Kmeans-Dijkstra*

Nesta seção apresentamos o algoritmo apresentado em Souza *et al.* (2013), o qual nomearemos de *Kmeans-Dijkstra* neste artigo. O algoritmo *Kmeans-Dijkstra*, apresentado em Souza *et al.* (2013), objetiva minimizar a quantidade de saltos da rede, levando em conta a alocação dos concentradores nos centros de massa dos *k-clusters* gerados pelo algoritmo *k-means* (Webb, 2003). O algoritmo *Kmeans-Dijkstra* busca a minimização na quantidade de saltos, levando em consideração que os centros de massa possam apresentar as melhores soluções para a média de saltos, mas não leva em consideração critérios de posicionamento e caminhos de comunicação dos pacotes na comunicação entre os medidores e concentradores, ou seja, considerações que podem afetar o desempenho da rede de medição inteligente, como apresentado na seção seguinte.

IV. ALGORITMO RECURSIVO

O algoritmo Recursivo [Aoun *et al.* 2006] objetiva o posicionamento de concentradores em redes WMN, onde algumas restrições são levadas em consideração, como: Carga, Carga nos Nós Dominantes e Quantidade Máxima de saltos. Este algoritmo minimiza a subdivisão excessiva dos clusters (i.e. um concentrador e vários medidores), uma vez que o cluster têm a chance de se fundir com outros clusters em iterações anteriores da recursividade onde podem formar clusters viáveis que satisfaçam todas as restrições. Na subseção seguinte formalizamos as restrições Carga, Carga nos Nós Dominantes e Quantidade Máxima de saltos, apresentando a influência dos mesmos nos parâmetros de QoS, assim como, o algoritmo Recursivo.

A. Restrições do Algoritmo Recursivo

A capacidade de escoamento de dados do concentrador pode ser inferior a quantidade de pacotes que chegam para serem transmitidos para a internet, ocasionando perdas de pacotes, onde a quantidade de medidores ligados aos concentradores pode aumentar a chegada de pacotes no concentrador e aumentar a taxa de perda, afetando o desempenho da rede, assim, definimos a restrição Quantidade de Nós por Concentrador a seguir:

Definição 1 Quantidade de Nós por Concentrador (C): Seja o vetor $M = [m^1 \ m^2 \ \dots \ m^N]$ a coleção na quantidade de medidores m^i que utilizem o concentrador i , definimos a restrição C como sendo a quantidade máxima de medidores suportada pelo concentrador pela seguinte equação:

$$C > \max([m^1 \ m^2 \ \dots \ m^N]) = \max(M) \quad (1)$$

Os medidores (nós) que se comunicam diretamente com o concentrador são nomeados de medidores dominantes.

Os medidores dominantes, assim como os concentradores, podem apresentar sobrecarga devido a quantidade elevada de medidores alocados nesse medidor dominante, diminuindo a vazão da rede e aumentando a quantidade de pacotes perdidos, podendo apresentar um gargalo na comunicação entre os concentradores e os medidores dominantes, definimos assim a restrição Carga nos Nós Dominantes (*CND*):

Definição 2 Carga nos Nós Dominantes (*CND*): Seja o vetor $D = [d^1 \ d^2 \ \dots \ d^N]$ a coleção na quantidade de medidores d^i que utilizem o medidor dominante i , definimos a restrição Carga nos Nós Dominantes (*CND*) como sendo a quantidade máxima de medidores suportado pelo medidor dominante, sendo representado pela seguinte equação:

$$CND > \max([d^1 \ d^2 \ \dots \ d^N]) = \max(D) \quad (2)$$

A quantidade de saltos em redes sem fio, influencia diretamente o atraso da rede, fazendo com que quanto mais saltos, maiores serão os atrasos e a contenção. Definimos então a restrição Quantidade de Saltos Máximo a seguir (*QSM*):

Definição 3 Quantidade de Saltos Máximo (*QSM*): Seja q^i a quantidade máxima de saltos do medidor i até seu respectivo concentrador (concentrador o qual se conecta), definimos a Quantidade de Saltos Máximo como a maior distância na comunicação dos medidores ao concentrador, sendo representado pela seguinte equação:

$$QSM > \max([q^1 \ q^2 \ \dots \ q^N]) \quad (3)$$

V. RESULTADOS

Nesta seção apresentamos os resultados obtidos na simulação dos algoritmos *Kmeans-Dijkstra* e Recursivo considerando estudos de casos com cenários reais. A obtenção das coordenadas dos medidores foi realizada através do programa Google Maps [Google 2014] e as simulações foram realizadas utilizando o programa MATLAB [MathWorks 2014], o qual apresenta uma coleção de algoritmos e bibliotecas consideráveis e com uso solidificado no meio acadêmico e científico.

A. Análise na Influência na Variação dos parâmetros de Qualidade de Serviço (*QoS*)

Nesta seção apresentamos os resultados obtidos comparando os algoritmos Recursivo e *Kmeans-Dijkstra* levando em consideração o cenário real do setor Santa Geneveva na cidade de Goiânia, no estado de Goiás, com a presença de 460 medidores.

O algoritmo *Kmeans-Dijkstra* apresentado em Souza *et al.* (2013) (ver Algoritmo 2) diferentemente do algoritmo Recursivo, define a escolha da quantidade de nós concentradores manualmente, ficando a cargo do operador do algoritmo defini-los, o que condiciona a escolha na quantidade mínima ao pensamento humano. As simulações foram realizadas executando o algoritmo *Kmeans-Dijkstra* e na sequência o algoritmo Recursivo apresentando as mesmas

restrições resultantes do primeiro algoritmo. Nas seções seguintes analisamos os resultados obtidos em relação as restrições de *QoS*.

1) *Análise da Variação da Restrição Quantidade de Nós por Concentrador*: O balanceamento de carga realizado pelo algoritmo Recursivo permite que um concentrador da rede não apresente uma diferença grande na quantidade de medidores suportados, em relação aos outros concentradores da rede. A solução apresentado pelo algoritmo *Kmeans-Dijkstra* não leva em consideração o balanceamento de carga, o que pode fazer com que um concentrador específico atenda uma elevada quantidade de medidores, elevando a quantidade de pacotes que chegam para ser transmitidos e como consequência o preenchimento no *buffer* do concentrador, ocasionando perdas.

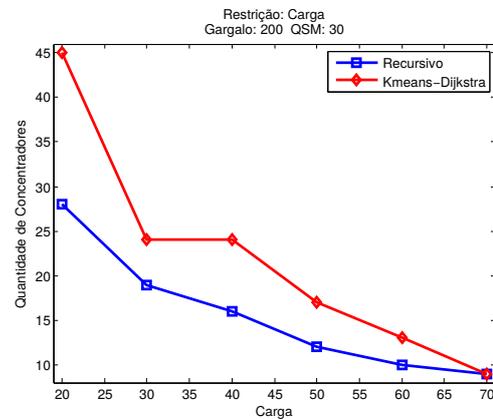


Fig. 1. Quantidade de concentradores versus a restrição de *Carga* obtida pelos algoritmos Recursivo e *Kmeans-Dijkstra*, com restrições fixas de *CND* igual a 200 e *QSM* igual a 30.

A Figura 1 apresenta os resultados para o problema de minimização na quantidade de concentradores pelos algoritmos apresentados variando a restrição Quantidade de Nós por Concentrador (C). A variação de C influencia a quantidade de concentradores como apresentado na Figura 1, onde o aumento da restrição permite os concentradores a atenderem mais medidores, necessitando de menos concentradores para atender toda a rede. Enquanto que a redução na restrição C ocasiona o aumento de concentradores adotados, devido à redução na quantidade de medidores suportada pelo concentrador. Os resultados apresentados na Figura 1 mostram uma adoção menor de concentradores pelo algoritmo Recursivo em comparação com o algoritmo *Kmeans-Dijkstra*, onde próximo a restrição C de valor 20, encontramos uma diferença de até 17 concentradores, devido ao posicionamento inteligente do algoritmo Recursivo.

O aumento da restrição C , apresentado na Figura 1, mostra que os algoritmos Recursivo e *Kmeans-Dijkstra* apresentaram valores similares na quantidade de concentradores adotadas, obtendo valores próximos de 10 concentradores para uma restrição de 70, onde restrições próximas de 70 não apresenta valores condizentes com situações reais, ou seja, pouca demanda na quantidade de medidores suportados. Enquanto, a redução na restrição

C apresenta uma restrição mais rigorosa, encontrada em cenários densos de IAM, o que reflete mais a realidade encontrada, onde o algoritmo Recursivo se sobrepôs ao *Kmeans-Dijkstra*, obtendo menores quantidade de concentradores.

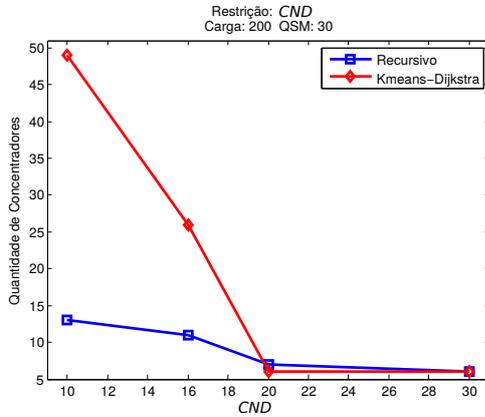


Fig. 2. Quantidade de concentradores versus a restrição de *CND* obtida pelos algoritmos Recursivo e *Kmeans-Dijkstra*, com restrições fixas de *Carga* igual a 200 e *QSM* igual a 30.

2) *Análise na Variação na Restrição Carga nos Nós Dominantes (CND)*: Os resultados para a quantidade de concentradores versus a restrição de *CND* obtida pelos algoritmos Recursivo e *Kmeans-Dijkstra*, com restrições fixas de *Carga* igual a 200 e *QSM* igual a 30 podem ser visualizados na Figura 2, onde o aumento na restrição *CND* faz com que os nós dominantes suportem uma quantidade maior de medidores, o que reduz a necessidade de um aumento na quantidade de concentradores. O contrário, a redução da restrição *CND*, diferentemente, aumenta a quantidade de concentradores adotados. Os resultados apresentados pela Figura 2 mostram que o algoritmo Recursivo obteve uma quantidade de concentradores inferior ao algoritmo *Kmeans-Dijkstra*. Nota-se que o aumento na restrição *CND* mostra valores semelhantes para os algoritmos considerados, assim como no caso para a variação da restrição *Carga* na Figura 1.

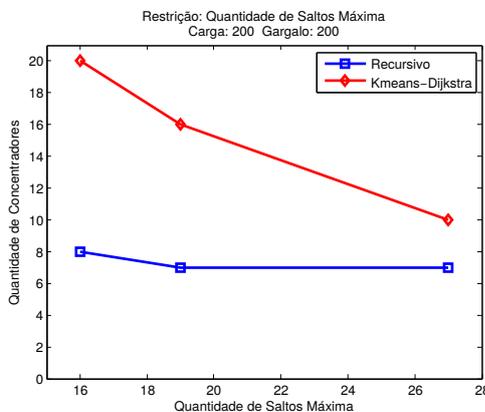


Fig. 3. Quantidade de concentradores versus a restrição da quantidade de saltos máxima (*QSM*) obtida pelos algoritmos Recursivo e *Kmeans-Dijkstra*, com restrições fixas de *Carga* igual a 200 e *CND* igual a 200.

3) *Análise na Variação da Restrição Quantidade Máxima de Saltos*: A Figura 3 apresenta os resultados para o número de concentradores em relação a restrição Quantidade de Saltos Máxima utilizando os algoritmos apresentados. A restrição *QSM* se refere a quantidade máxima de saltos permitidos entre o concentrador e os medidores (ver Definição 3), onde o aumento do *QSM* permite os concentradores atenderem mais medidores, o que reduz a quantidade de concentradores. O inverso, ou seja, a redução da restrição ocasiona o aumento do número de concentradores.

O algoritmo Recursivo apresentou menores valores para o número de concentradores adotados de acordo com a Figura 3, enquanto o algoritmo *Kmean-Dijkstra* apresentou os maiores valores, onde a maior diferença se apresentou com valor de 12 concentradores para *QSM* de valor igual a 16.

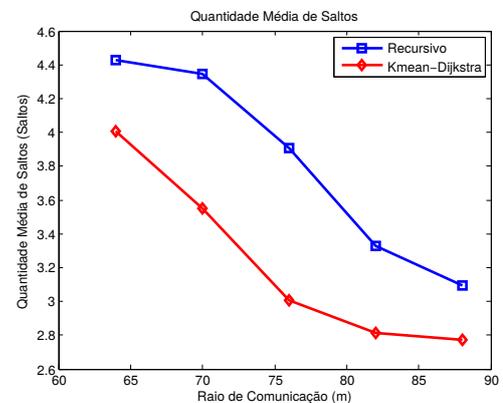


Fig. 4. Quantidade média de saltos da rede versus o alcance de comunicação dos nós (medidores) obtido pelos algoritmos Recursivo e *Kmeans-Dijkstra*.

4) *Análise na Variação do Alcance de Comunicação*: A Figura 4 apresenta a quantidade média de saltos da rede versus o alcance de comunicação dos nós (medidores) obtido pelos algoritmos Recursivo e *Kmeans-Dijkstra*. A quantidade de saltos em uma rede é um objetivo a ser minimizado, fazendo com que os atrasos sejam menores. A redução no raio de comunicação faz com que os nós necessitem dos nós mais próximos para retransmitirem a mensagem até o concentrador, elevando assim a quantidade média de saltos da rede.

Na Figura 4, observamos que o algoritmo *Kmean-Dijkstra* apresentou a menor quantidade total de saltos, enquanto o algoritmo Recursivo apresentou maiores valores, devido a menor quantidade de concentradores obtidos pelo algoritmo Recursivo, o que eleva a quantidade média de saltos. Nota-se que o objetivo principal do algoritmo *Kmeans-Dijkstra* é alcançado, obtendo valores próximos a 4 para a média de saltos para o raio em 50 m, enquanto o algoritmo Recursivo obteve valor próximos a 4,4. Através do melhor posicionamento dos concentradores pelo algoritmo Recursivo, obtemos menores quantidades alocadas de concentradores à um baixo custo na quantidade média de saltos, com diferença de próximas de 0.4 para raio de

comunicação de 50 m. Em outras palavras, o número de saltos aumentou levemente no algoritmo Recursivo, em um valor aceitável (10%) que provavelmente não influenciará de forma significativa o atraso dos pacotes na rede.

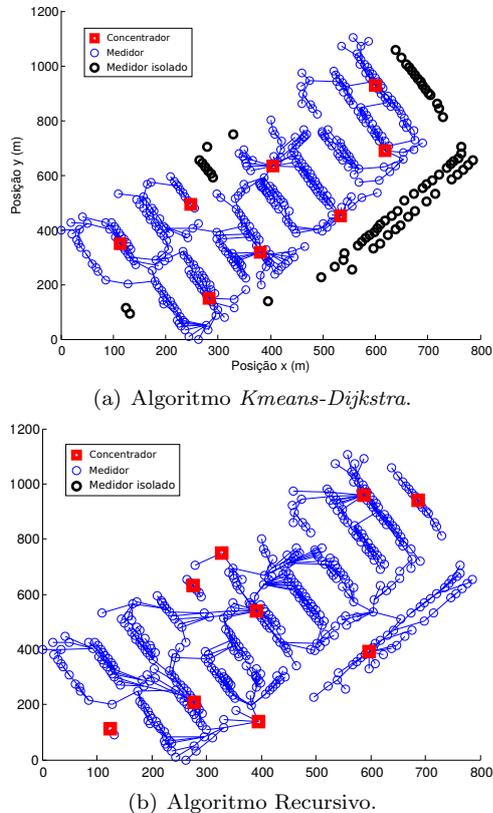


Fig. 5. Resultado obtido para o posicionamento de concentradores pelo algoritmos *Kmeans-Dijkstra* e Recursivo, apresentando medidores isolados dos concentradores, com alcance de comunicação igual a 55m.

A redução no raio de comunicação pode ocasionar a partição da rede em ilhas, onde alguns nós ficam sem comunicação. O surgimento de ilhas pode apresentar a não alocação de concentrador para atendê-la, inutilizando os medidores que se localizam nas ilhas. O algoritmo *Kmeans-Dijkstra* objetiva apenas a redução na quantidade média de saltos, como apresentado pela Figura 4, não se preocupando se todos os nós são atendidos pelos concentradores. A Figura 5(a) apresenta o resultado obtido ao se reduzir o alcance de comunicação para 55 metros, onde pode-se observar medidores isolados gerando algumas ilhas de medidores para o algoritmo *Kmeans-Dijkstra*.

O algoritmo Recursivo, ao contrário do *Kmeans-Dijkstra*, objetiva a minimização na quantidade de nós, levando em conta parâmetros de QoS da rede, o qual visa o atendimento de todos os nós da rede, como observado na Figura 5(b). Neste cenário em específico, nota-se um ligeiro aumento na quantidade de concentradores adotadas pelo algoritmo Recursivo, sendo este valor de 9 em comparação ao *Kmeans-Dijkstra* que apresentou valor igual a 8. A ocorrência da elevação nesta quantidade se justifica pelo fato do algoritmo Recursivo apresentar uma preocupação com o atendimento de todos os nós da rede, característica não

apresentada pelo *Kmeans-Dijkstra* o que pode deixar de representar uma solução adequada para o cenário avaliado.

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma comparação entre dois algoritmos de posicionamento de concentradores adotados em uma rede de medição inteligente de energia elétrica, onde estudos de casos com cenários reais foram apresentados. Os resultados demonstraram que o posicionamento inteligente do algoritmo Recursivo alocou menores quantidades de concentradores em comparação ao algoritmo *Kmeans-Dijkstra*, quando usadas restrições mais rigorosas de número máximo de medidores por concentrador, carga nos medidores dominantes e quantidade máxima de saltos entre medidores e concentrador, visto que o algoritmo Recursivo leva em consideração estas restrições de QoS para decidir número de concentradores e suas posições.

Como trabalhos futuros destacamos a verificação de parâmetros de rede (vazão, perdas e atrasos) na simulação da rede de medição inteligente, em softwares de simulação, com o posicionamento dos concentrados obtido pelos algoritmos *Kmeans-Dijkstra* e Recursivo.

REFERÊNCIAS

- [Alageswaran et al. 2012] Alageswaran, R., Usha, R., Gayathridevi, R., and Kiruthika, G. (2012). Design and implementation of dynamic sink node placement using particle swarm optimization for life time maximization of wsn applications. In *Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM), 2012 International Conference on*.
- [Aoun et al. 2006] Aoun, B., Boutaba, R., Iraqi, Y., and Kenward, G. (2006). Gateway placement optimization in wireless mesh networks with qos constraints. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 24(11):2127–2136.
- [Boswarthick et al. 2012] Boswarthick, D., Elloumi, O., and Hersent, O. (2012). *M2m communications: a systems approach*. John Wiley & Sons.
- [Gallego et al. 2012] F. Vázquez-Gallego, J. Alonso-Zarate, L. Alonso, and M. Dohler, “Analysis of energy efficient distributed neighbour discovery mechanisms for machine-to-machine networks,” *Ad Hoc Networks*, vol. 18, pp. 40–54, 2014.
- [Garcial 2015] Garcial, G. (2015). Brasil enfrenta a pior crise energética da história. <<http://noblat.oglobo.globo.com/geral/noticia/2015/01/brasil-enfrenta-pior-crise-energetica-da-historia.html>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2015. *Jornal O Globo*.
- [Google 2014] Google (2014). Google Maps. <<https://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 28 de novembro de 2014.
- [Liu et al. 2011] Liu, Q., Leng, S., Mao, Y., and Zhang, Y. (2011). Optimal gateway placement in the smart grid machine-to-machine networks. In *GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), 2011 IEEE*, pages 1173–1177.
- [MathWorks 2014] MathWorks (2014). Matlab e simulink. <<http://www.mathworks.com/>>. Acesso em: 28 de novembro de 2014.
- [Popovic and Cackovic 2014] Popovic, Z. and Cackovic, V. (2014). Advanced metering infrastructure in the context of smart grids. In *Energy Conference (ENERGYCON), 2014 IEEE International*, pages 1509–1514.
- [Souza et al. 2013] Souza, G., Vieira, F., Lima, C., Junior, G., Castro, M., and araujo, s. (2013). Optimal positioning of gprs concentrators for minimizing node hops in smart grids considering routing in mesh networks. In *Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), 2013 IEEE PES Conference On*, pages 1–7.
- [Webb 2003] Webb, A. R. (2003). *Statistical pattern recognition*. John Wiley and Sons.