

Avaliação de Desempenho do Protocolo RPL em Ambientes com Mobilidade

Jeferson Rodrigues Cotrim e João Henrique Kleinschmidt

Resumo— Com a crescente utilização do RPL para as redes de sensores sem fio, que serão utilizadas na Internet das Coisas, questões relacionadas ao comportamento do protocolo em cenários móveis tem aparecido. Grande parte das dúvidas se dão pela falta de padronização do protocolo neste tipo de cenário. Nesse artigo é avaliado o RPL em um cenário de mobilidade a fim de apresentar as limitações desse protocolo em uma topologia híbrida, ou seja, que contempla nós fixos e móveis. Foi verificado que a mobilidade dos nós afetou o desempenho do protocolo aumentando o consumo de energia, ETX e perda de pacotes.

Palavras-Chave— RPL, Internet das Coisas, Redes de Sensores sem Fio, Mobilidade.

Abstract— With the increasing use of the RPL for wireless sensor networks, that will be used in the Internet of Things, the issues related about the protocol behavior in mobile scenarios have appeared. Much of the questions are given by the lack of standardization of the protocol for this type of scenario. In this article the RPL will be evaluated in a mobility scenario to present the limitations of this protocol in a hybrid topology, ie, including fixed and mobile nodes. It was found that the mobility of the nodes affected the protocol performance by increasing power consumption, ETX and packet loss.

Keywords— RPL, Internet of Things, Wireless Sensor Networks, Mobility.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o crescimento de dispositivos conectados à internet aumentou e para os próximos anos é esperado que esse crescimento seja acelerado devido ao avanço da Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*). Grande parte desses elementos são dispositivos móveis, como aparelhos celulares atualmente e futuramente dispositivos para controle e sensoriamento de veículos, pessoas e animais [1].

A IoT demanda ainda dispositivos para controle de pessoas e ambientes. Esses dispositivos compõe as redes de sensores sem fio (WSN, do inglês *Wireless Sensor Network*). Esse tipo de rede é composta por dispositivos que possuem baixa capacidade de *hardware*. Por conta disso diversos novos protocolos precisaram ser desenvolvidos. Dentre esses protocolos está o RPL (*IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Network*). O RPL é um protocolo de roteamento para IoT, mais especificamente para redes de baixa potência com perdas (LLN, do inglês *Low Power and Lossy Network*). Esse protocolo tem como principal função atender a baixa capacidade dos dispositivos [2].

Jeferson Rodrigues Cotrim e João Henrique Kleinschmidt Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC, Santo André - SP, Brasil, E-mails: jeferson.cotrim@ufabc.edu.br, joao.kleinschmidt@ufabc.edu.br.

Este artigo estuda o comportamento do RPL em cenários de mobilidade. Apesar da padronização do RPL não contemplar esta característica, grande parte dos dispositivos que farão parte da IoT podem ter algum tipo de mobilidade. Esse estudo é necessário pois existem poucos trabalhos que analisam mobilidade em uma rede de sensores sem fio com RPL.

Os trabalhos apresentados na literatura até o momento propõem alterações para o RPL utilizando cenários específicos para buscar melhorias, como em [3] que utiliza cenário de VANETS (do inglês *Veicular Ad Hoc Networks*) ou em [4] que apresenta propostas para um ambiente de monitoramento de pacientes. Esses trabalhos, de forma geral, trazem resultados satisfatórios para os cenários e métricas por eles avaliadas, porém não avaliam o consumo de energia, um dos aspectos mais importantes em redes de sensores e IoT. Dos trabalhos com nós móveis, apenas em [5] é apresentada a avaliação do consumo de energia na rede. Assim, o impacto de nós móveis no desempenho da rede em diferentes cenários de mobilidade ainda precisa ser melhor estudado. Neste trabalho será avaliado o consumo de energia de cada nó da rede, além da perda de pacotes e número esperado de transmissões, em um cenário híbrido com nós fixos e móveis.

As próximas seções do artigo estão organizadas da seguinte forma: A seção II descreve o funcionamento do RPL. A seção III apresenta os problemas relacionados à mobilidade quando a utilização do RPL e as propostas já apresentadas de melhorias para o protocolo. Na seção IV é feita a avaliação de desempenho com apresentação do cenário de testes e resultados obtidos. Por fim a seção V é composta pela conclusão do artigo e trabalhos futuros.

II. O RPL

O RPL é um protocolo de roteamento que utiliza a técnica de vetor de distâncias para definir as rotas. Esse protocolo foi desenvolvido para redes de baixa potência e com perdas, LLNs, baseadas em IPv6[6]. As LLNs se caracterizam por possuir baixas capacidades de energia e computacionais, e por apresentarem variações da largura de banda. Dessa forma, o RPL foi desenvolvido para atender dois requisitos principais, baixas taxas de dados e altas taxas de erros, que fazem com que a vazão da rede seja baixa. Além da baixa vazão o RPL também precisa considerar os longos períodos de inacessibilidade dos nós, o que faz com que o protocolo precise fornecer rotas alternativas às rotas padrão para que o fluxo de dados não seja interrompido.

Diferente dos protocolos de roteamento que são utilizados na internet, baseados em tabelas, o RPL define suas rotas

formando uma árvore de roteamento utilizando o conceito topológico de grafos acíclicos dirigidos, DAG (do inglês Direct Acyclic Graphs). O DAG permite que um nó se associe a mais de um nó, o que distingue o RPL dos demais protocolos de roteamento baseado em topologias de árvore. O RPL forma a rede organizando os nós com destinos orientados, dessa maneira um elemento da rede passa a funcionar como nó raiz e concentra o recebimento de dados de todos os demais nós. Essa estrutura recebe o nome de DODAG (*Destination-Oriented Directed Acyclic Graph*). A rede pode ser constituída por um ou mais DODAGs, que unidos formam uma instância RPL. Essa instância recebe um identificador único, chamado *RPLInstanceID*. Um nó pode participar de várias instâncias, porém de apenas um DODAG.

Uma rede com topologia baseada no RPL é inerentemente hierárquica, com os nós se organizando em DODAGs e elegendo um nó como nó raiz, formando assim uma relação de pai-para-filhos. Mas o RPL também permite que o roteamento seja feito entre nós irmãos. Isso faz com que o RPL seja um protocolo que combina as topologias hierárquicas e mesh. Essa combinação provê flexibilidade de roteamento e gerenciamento da topologia.

O RPL não define nenhuma métrica e restrição em sua padronização, bem como a forma que essas definições são associadas para atender as necessidades de uma rede. É atribuição das Funções Objetivo (OF, do inglês *Objective Function*) traduzir as métricas e restrições estabelecidas para uma rede em um valor de rank. A OF também define como os nós selecionam seus pais e como otimizam e selecionam as rotas em uma instância RPL.

A construção do DODAG acontece por meio da troca e mensagens de controle pelos nós. Essas mensagens fazem parte do protocolo ICMPv6. Abaixo é descrita a função de cada uma das mensagens de controle:

- *DOGAG Information Solicitation* (DIS): Esta mensagem é utilizada para solicitar aos demais nós um *DODAG Information Object*. Dessa maneira é possível que um nó identifique seus vizinhos.
- *DODAG Information Object* (DIO): Essa mensagem carrega informações que permitem que um nó descubra uma instância RPL, aprenda seus parâmetros de configuração, selecione um conjunto de pais e conserve o DODAG. O nó raiz utiliza essa mensagem pra formar um novo DODAG. A mensagem DIO é responsável por disseminar o Rank pela rede.
- *Destination Advertisement Object* (DAO): Essa mensagem é utilizada pelos nós para propagar informações de roteamento de forma ascendente, ou seja, dos nós para o nó raiz. Isso faz com que cada nó consiga montar uma tabela de roteamento mais completa, com informações de cada vizinho. Após o recebimento de uma mensagem DAO pelo nó raiz, o caminho entre nó raiz e o nó destino é estabelecido.

Para construir um novo DODAG, o nó raiz faz a difusão de uma mensagem DIO para anunciar o DODAGID. Esse DIO também informa aos nós vizinhos o rank e a função objetivo do nó raiz. Com base nessas informações o nó calcula o seu rank e difunde uma nova mensagem DIO. Após todos

os nós receberem um mensagem DIO e escolherem seus pais preferidos, a rota ascendente, ou seja, entre nó raiz e demais nós é definida. Para que a rota no sentido contrário seja definida, os nós precisam enviar uma mensagem DAO para o nó raiz a fim de informar ao nó raiz seus dados e assim fechar a rota. Ao fim desse processo o DODAG está formado. Nós ingressantes à um DODAG já formado precisam informar do seu interesse em ingressar nesse DODAG, para isso o nó enviar uma mensagem DIS para os nós vizinhos.

Para manter o DODAG os nós periodicamente enviam mensagens DIO. Essas mensagens são geradas através do mecanismo *Trickle Timer*, que otimiza o envio de mensagens baseado nas condições da rede. De forma geral, o tempo entre uma mensagem e outra tende a aumentar exponencialmente conforme as alterações na rede se tornam menores. O valor do *trickle timer* pode retornar ao valor mínimo caso alguma alteração significativa ocorra na rede.

III. MOBILIDADE

Com a crescente adoção do RPL como protocolo padrão em redes LLN, teve início o interesse na utilização do mesmo em cenários que contemplam mobilidade. Porém na padronização definida pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*) nenhuma menção é feita para utilização do RPL em cenários que utilizam dispositivos móveis. A falta de tal padronização inclui a não diferenciação entre nós móveis e nós estáticos. Dessa maneira diversas possibilidades se abrem para pesquisas e futuras padronizações.

Os nós pertencentes ao DODAG guardam consigo uma lista de possíveis pais e por consequência um pai preferido à qual se conecta. O problema ocorre quando um nó sai do alcance desse pai preferido, o que é bastante normal em redes de sensores sem fio dado que o alcance de transmissões dos dispositivos é relativamente baixo. Ao sair da área do nó pai, esse nó móvel tende a esperar um novo DIO para poder atualizar o seu rank, o que pode não ser útil caso o mesmo receba um rank maior que o seu último valor associado. O tempo de espera por um novo DIO pode ser elevado dada a utilização do algoritmo *trickle timer*, o que faria o nó ficar sem comunicação por um longo período e poderia gerar perda de dados. Ainda sim, é possível que o nó dispare uma mensagem DIS, porém não está claramente definido quando e como essa mensagem pode ser enviada. Um nó móvel pode também estar no meio de uma troca de mensagens DAO, e dada a sua mobilidade não encaminhar tal mensagem ao nó ascendente. Dessa maneira, se não for solicitado um DAO-ACK o caminho ascendente não será finalizado.

Além dos problemas com a estabilidade do DODAG, como mencionado anteriormente, um nó móvel tende a apresentar um desempenho inferior em relação aos nós fixos. O nó móvel precisará manter seu rádio ligado mais tempo para poder enviar e receber mensagens e assim atualizar sua posição em um DODAG ou mesmo ingressar em um novo DODAG. O nó móvel também precisará processar essas informações, fazendo com que o consumo de energia do nó aumente. A perda e atraso de pacotes tende a aumentar pois o nó pode perder o pai preferido durante a transmissão dos dados. É possível também que a nova posição de um nó crie loops na rede.

Por conta dos problemas relacionados acima, algumas soluções foram propostas para que o RPL apresente um melhor desempenho com dispositivos móveis. As soluções apresentadas até o momento tentam solucionar problemas em cenários específicos e que divergem bastante uns dos outros em suas características.

Em [3] o cenário utilizado é o de VANETs e a proposta é o envio de DIO e DAO a cada mudança na rede, desconsiderando o *trickle timer*. No trabalho apresentado em [4] é introduzido o processo de *handoff* para o RPL em um cenário de monitoramento de pacientes médicos. O algoritmo *smart-HOP* monitora a rede para que um nó só troque de pai preferido quando houver qualidade de transmissão suficiente. Os autores de [7] propõem a criação de uma camada intermediária entre a camada de enlace de dados e a camada de rede. Essa camada tem a função de criar um suporte a mobilidade. Em [8] é apresentado o *trickle timer* reverso para os nós móveis, ou seja, o tempo de envio entre mensagens diminui conforme existam alterações na rede, isso permite que o nó móvel ingresse em um DODAG mais rapidamente. Além disso propõe que os nós móveis funcionem apenas como folhas, ou seja, não são capazes de encaminhar mensagens de outros nós. Já em [5] é implementado um mecanismo chamado Corona, que divide o DAG em áreas, para assim calcular a distância dos nós móveis em relação aos nós raízes. Por fim, em [9] os autores propõem uma identificação para os nós móveis e definiram que nós fixos tem prioridade para serem escolhidos como pais preferidos. É proposto também a adaptação na velocidade das mensagens de controle, evitando assim que um nó fique sem comunicação ou que o mesmo inunde a rede.

IV. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

A. Cenário de Testes

O cenário é composto por 7 nós fixos (NF) e alinhados, com distância de quarenta metros entre cada nó. O nó raiz da rede está disposto em uma das extremidades da rede. Os testes foram realizados com a presença de um ou dois nós móveis (NM), que partem do nó 1 em direção ao nó raiz. Os NMs ultrapassam o nó raiz de modo a manter a conexão apenas com o nó raiz. Dessa forma nos NMs percorrem 280 metros e retornam para o nó 1. Ao chegar ao nó 1 os NMs reiniciam seu trajeto. Os testes foram realizados com velocidades de 1 e 2 metros por segundo. Essa velocidade foi escolhida por se assemelhar a velocidade de um ser humano. A Fig.1 representa a topologia utilizada nos testes que pode representar uma pessoa caminhando e que esteja em posse de um dispositivo móvel, por exemplo, um *smartphone*.

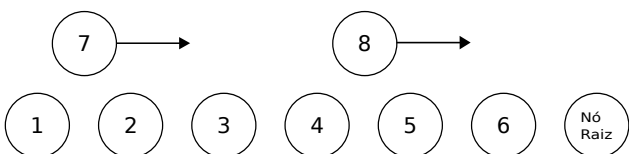


Fig. 1. Topologia de testes.

Da Fig.1 os nós de 1 à 6 são NFs e os nós 7 e 8 são NMs.

Os testes foram realizados com o simulador COOJA que é parte integrante do sistema operacional de código aberto Contiki [10]. Cada teste tem duração de trinta minutos e foi repetido dez vezes. Os nós estão configurados para enviar um pacote de dados a cada seis segundos.

Na camada de enlace de dados os nós utilizam o protocolo ContikiMAC [11]. Esse protocolo permite que os nós desliguem o rádio para diminuir o consumo de energia. De modo geral, o ContikiMAC faz com que os nós despertem apenas para receber os dados de seus vizinhos. Ainda na camada de enlace, o acesso ao meio é controlado através do CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*).

Os nós estão configurados para utilizar a MRHOF (*The Minimum Rank with Hysteresis Objective Function*) e a métrica utilizada é o ETX (*Expected Transmission Count*). O ETX calcula o número de transmissões necessárias para que uma mensagem saia da origem e chegue ao seu destino. A MRHOF faz com que um nó só troque de pai quando um limiar é atingido. No caso, como é utilizado o ETX um nó só troca de pai quando um determinado valor de ETX é informado.

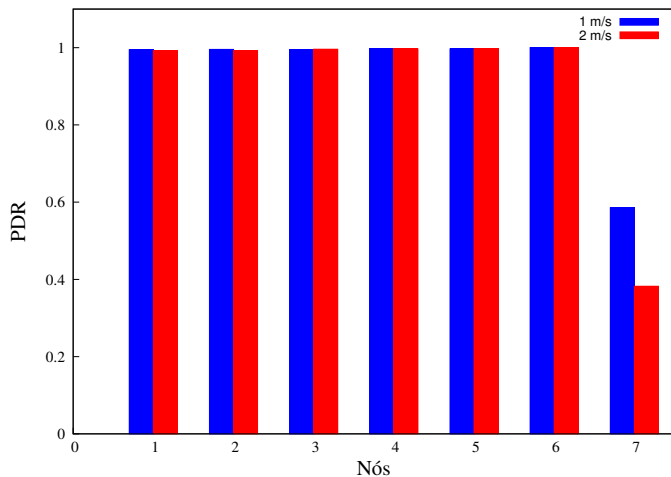
Antes de apresentar os resultados com o cenário de mobilidade é necessário explicar o comportamento dessa mesma rede com a presença apenas de NFs. Os nós estão configurados para não ter perdas de transmissão, ou seja, não ter perda de pacotes. Isso foi feito pra avaliar apenas o efeito que os NMs terão sobre a rede. Sem os NMs não há perda de pacotes, o ETX cresce em passos iguais conforme os NFs estão mais afastados do nó raiz e o consumo de energia é menor, mas segue o mesmo padrão que será apresentado posteriormente. Outra característica importante é que o nó raiz mantém o seu rádio ligado o tempo todo. A ideia é que esse nó não tenha restrição de energia, podendo estar ligado a uma rede de energia elétrica. Além disso, o nó raiz faz a interface com outras redes. Por conta disso não serão apresentados dados de avaliação para o nó raiz.

B. Resultados Obtidos

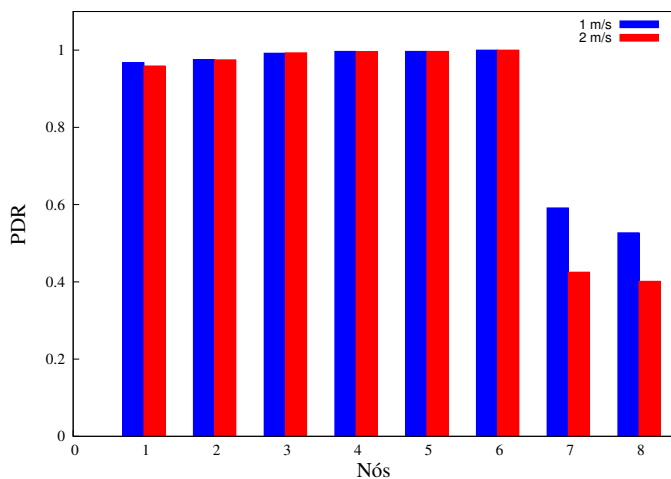
O desempenho do protocolo RPL foi avaliado em três métricas: taxa de entrega de pacotes (PDR, do inglês *Packet Delivery Ratio*), ETX e consumo de energia. A seguir é apresentado em detalhes o comportamento do RPL em cada uma dessas métricas.

1) *Taxa de Entrega de Pacotes*: Em LLNs a perda de pacotes já é esperada. Por conta disso o RPL foi desenvolvido para contornar essas perdas. Nesse trabalho a avaliação da perda de pacotes permite verificar a influência dos NMs na rede. A perda de pacotes é avaliada utilizando a taxa de entrega de pacotes, PDR, ou seja, dado um número de pacotes enviados pelo emissor, quantos desses pacotes são recebidos pelo receptor, no caso o nó raiz. Nos experimentos realizados cada nó envia para o nó raiz 300 pacotes de dados. Nesse trabalho não foram consideradas as mensagens de controle.

Na Fig.2(a) e (b) são apresentados os resultados da PDR para a presença de um e dois nós na rede, respectivamente, e com velocidades de 1 m/s ou 2 m/s. Verifica-se que o aumento da velocidade diminui a PDR do NM, isso por conta da perda de contato com o nó pai. Com a presença de 2 NMs na rede



(a) 1 nó móvel



(b) 2 nós móveis

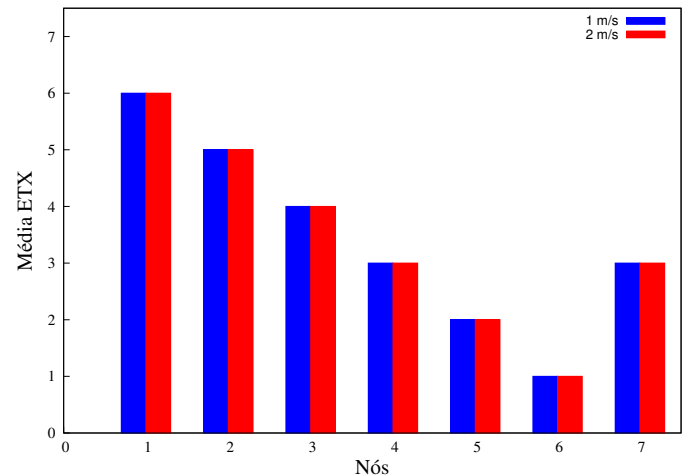
Fig. 2. Taxa de entrega de pacotes.

houve a diminuição da PDR dos NFs. Isso acontece pois os nós fixos tem maiores chances de se conectar a um NM que esteja enviando DIOS com um rank menor que o do atual pai do NF em questão. Pode-se notar ainda que os NFs mais distantes do no raiz, por exemplo os nós 1 e 2, tem uma PDR pouco menor que os demais NFs. Acontece que esses nós se associam com mais facilidade aos NMS, pois recebem DIOS desses NMs com ranks menores que os dos seus pais atuais. Os NMs tem uma PDR baixa que é deteriorada pela presença de um maior número de nós e com o aumento da velocidade. Cada aplicação lidará com a perda de pacotes de uma maneira, mas em comparação com os nós fixos essa perda de dados é muito alta e pode comprometer grande parte das aplicações.

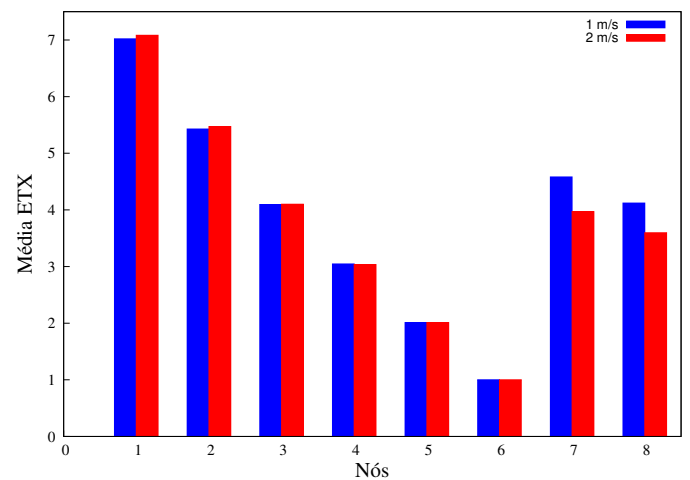
2) *ETX*: A avaliação dessa métrica permite perceber a influência dos NMs no DODAG. Se a avaliação fosse feita sem os NMs o ETX diminuiria de forma linear conforme os nós estivessem mais próximos ao nó raiz. Além disso, como os nós estão configurados para não terem perdas, na ausência dos NMs o valor do ETX seria igual ao número de saltos entre origem e destino. Na Fig.3(a) e (b) é observado que o ETX decresce conforme o nó está mais próximo do nó raiz, porém

com um valor levemente maior que o número de saltos. Isso acontece pois os NMs se associam aos NFs quando possuem rank menor que o nó pai preferido atual do NF. Porém, como o movimento para que isso ocorra é contrário ao sentido do nó raiz ocorre a perda de pacotes e por consequência o aumento do ETX.

A Fig.3(a) e (b) apresenta os resultados obtidos para o ETX.



(a) 1 nó móvel



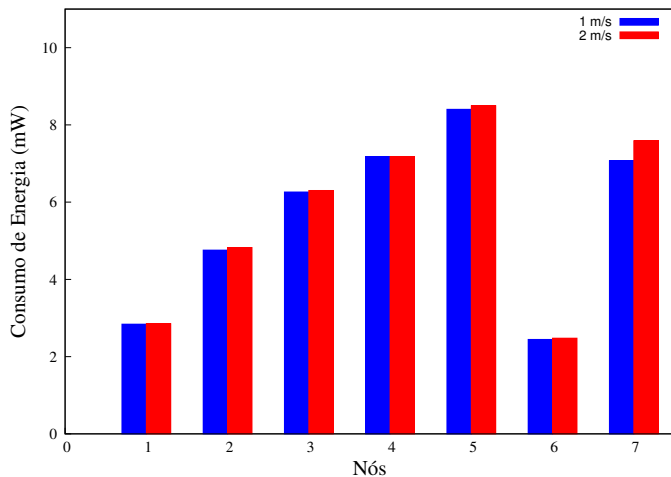
(b) 2 nós móveis

Fig. 3. Média ETX.

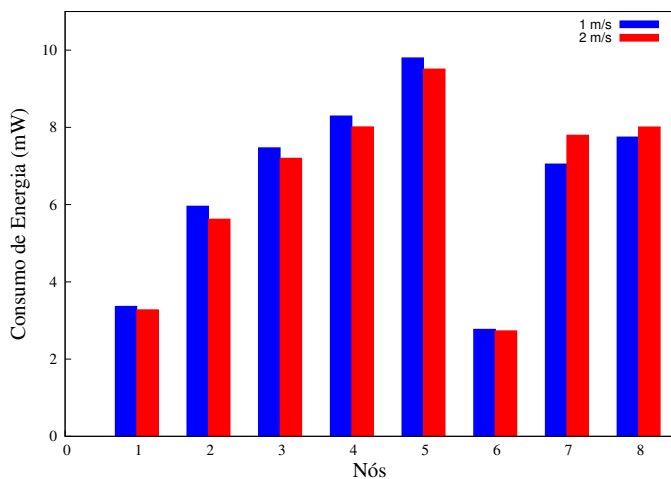
Com apenas um NM na rede, o aumento da velocidade faz com que este NM aumente seu ETX, pois demora a se associar a um NF. Com a presença de dois NMs, estes podem se associar entre si e por conta disso ocorre a diminuição do ETX com o aumento da velocidade, dado que os NMs se cruzaram mais vezes. Pode-se dizer então que o aumento do ETX faz com que o desempenho da rede diminua.

3) *Consumo de Energia*: O consumo de energia dos nós é de suma importância para a sobrevivência da rede. Por conta disso os nós devem consumir o mínimo de energia possível. A Fig.4(a) e (b) apresenta o consumo de energia dos nós na presença de nós móveis na rede.

O consumo de energia cresce quando os nós estão próximos ao nó raiz. Com a única diferença para o nó imediatamente



(a) 1 nó móvel



(b) 2 nós móveis

Fig. 4. Consumo de Energia.

vizinho ao nó raiz, que apresenta um consumo de energia relativamente baixo. Isso acontece pela forma como o ContikiMAC funciona. Os nós precisam entrar em um acordo para definir o momento que vão acordar para transmitir os dados. Na topologia apresentada o nó 5 recebe os dados de todos os nós imediatamente anteriores a ele, porém precisa esperar o nó 6 ligar o seu rádio para que possa ocorrer a transmissão. O nó 6 por sua vez tem como referência de transmissão o nó raiz que está configurado para não operar com o ContikiMAC, ficando com o rádio ligado todo o tempo. Sendo assim, o nó 6 só liga o seu rádio quando precisa transmitir, e nesse momento o nó 5 pode transmitir também os seus dados. O nó 5 apresenta o maior consumo de energia por receber os dados de todos os nós anteriores a ele e por ter que ficar aguardando o nó 6 para poder transmitir os dados.

É possível observar que o acréscimo do segundo nó móvel na rede fez com que o consumo de energia aumentasse para todos os nós fixos. Esse aumento se deve a um maior tráfego de dados de controle para manter a rede. A velocidade dos nós tende a diminuir o consumo dos nós fixos, pois o tempo que um nó móvel está no alcance de um nó fixo diminui, logo

pode não haver tempo suficiente para troca de DIOs entre esses nós e por consequência a não associação desses nós móveis aos nós fixos. Por sua vez, os NMs consomem mais energia quando aumenta-se a velocidade, porque esses nós precisam enviar mais mensagens para entrar na rede.

4) *Avaliação conjunta das métricas:* É perceptível que cada métrica apresentada sofre influência das demais. O aumento da velocidade faz com que aumente a perda de pacotes da rede, que por sua vez eleva o ETX. A perda de pacotes também acontece com pacotes de controle, que precisam ser retransmitidos, o que aumenta o consumo de energia dos nós. O aumento da velocidade faz com que os nós móveis precisem enviar um maior número de mensagens de controle para entrar no DODAG, isso tem efeitos no aumento do consumo de energia e por consequência na perda de pacotes.

V. CONCLUSÃO

Com esse trabalho foi possível analisar o comportamento do protocolo RPL na presença de nós móveis. Verificou-se o aumento do consumo de energia e da perda de pacotes com o acréscimo de nós móveis. Além disso foi possível notar as alterações do DODAG com a análise do ETX. O RPL pode ser utilizado para cenários que apresentam mobilidade, porém é preciso encontrar formas de melhorar o protocolo para que ele se ajuste às necessidades de cada rede. É preciso notar que cada melhoria deve ser proposta para um cenário específico, pois as características da topologia interferem diretamente no desempenho do RPL.

Para trabalhos futuros é necessário avaliar o protocolo sob outras métricas e topologias de rede para aprofundar o conhecimento do comportamento do mesmo. É necessário também avaliar o protocolo em outros modelos de mobilidade como o *Random Waypoint* ou *Manhattan*.

REFERÊNCIAS

- [1] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010.
- [2] T. Winter, P. Thubert, A. Rock, and Kelsey Corporation, "Rfc 6550-Rpl," pp. 1–157.
- [3] K. C. Lee, R. Sudhaakar, J. Ning, L. Dai, S. Addepalli, J. P. Vasseur, and M. Gerla, "A Comprehensive evaluation of RPL under mobility," *International Journal of Vehicular Technology*, vol. 2012, pp. 1–10, 2012.
- [4] H. Fotouhi, D. Moreira, and M. Alves, "mRPL: Boosting mobility in the Internet of Things," *Ad Hoc Networks*, vol. 26, pp. 17–35, 2015.
- [5] O. Gaddour, A. Koubaa, R. Rangarajan, O. Cheikhrouhou, E. Tovar, and M. Abid, "Co-RPL: RPL routing for mobile low power wireless sensor networks using Corona mechanism," in *Proceedings of the 9th IEEE International Symposium on Industrial Embedded Systems (SIES 2014)*, 2014, pp. 200–209.
- [6] O. Gaddour and A. Koubaa, "RPL in a nutshell: A survey," *Computer Networks*, vol. 56, no. 14, pp. 3163–3178, 2012.
- [7] J. Ko and M. Chang, "MoMoRo: Providing Mobility Support for Low-Power Wireless Applications," *IEEE Systems Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 585–594, jun 2015.
- [8] C. Cobarzan, J. Montavont, and T. Noel, "Analysis and performance evaluation of RPL under mobility," *2014 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pp. 1–6, 2014.
- [9] I. E. Korbi, M. Ben Brahim, C. Adjih, and L. A. Saidane, "Mobility enhanced RPL for wireless sensor networks," *2012 3rd International Conference on the Network of the Future, NOF 2012*, pp. 63–70, 2012.
- [10] [Online]. Available: www.contiki-os.org
- [11] A. Dunkels, "The ContikiMAC Radio Duty Cycling Protocol," *SICS Technical Report T2011:13*, ISSN 1100-3154, pp. 1–11, 2011.