

A Lightweight Solution to perform Automatic Meter Reading using an Unmanned Aerial Vehicle

J. R. Torres Neto, D. L. Guidoni and L. A. Villas

Abstract— typically, electric power companies employ a group of employees known as power meter readers to collect data on the customer's energy consumption. This activity is carried out manually, which can lead to errors and cause financial and physical losses. There are several approaches with the aim at minimizing the aforementioned problems. These approaches propose different methodologies to discover routes that are more efficient for the power meter readers while performing their tasks. However, the problems associated with manual readings may occur even when the routes are more efficient. In addition, there are some proposals to achieve the automatic meter readings using cars. However, these proposals are limited to traffic congestions and present a high cost in terms of fuel. To overcome these challenges and limitations in the literature efforts, we propose an automatic meter reading system based on Unmanned Aerial Vehicles. The results show that our approach has two key contributions compared to other solutions in the literature: (i) power meter readers are no longer necessary; (ii) it reduces the time to perform the readings from the electric meters.

Keywords— AMR systems, Unmanned Aerial Vehicle.

I. INTRODUÇÃO

COM o desenvolvimento de tecnologias de microeletrônicos e sistemas embarcados com comunicação sem fio, novas soluções tem sido desenvolvidas para melhorar o estilo de vida das pessoas. Uma dessas soluções é o sistema de leitura automática de medidores (AMR - *Automatic Meter Reading*) que corresponde à transmissão e coleta remota de dados de consumo de energia, água ou gás para o faturamento, análise ou identificação de problemas [10, 11]. O sistema AMR deve ser de baixo consumo de energia, baixo custo, confiável e seguro. Além disso, o sistema AMR pode aumentar a eficiência e a precisão de medida [3].

Os avanços tecnológicos das últimas décadas reduziram significativamente o custo da infraestrutura necessária para a instalação de um sistema AMR, o que promoveu empresas a adotarem esses sistemas. Isso resultou em economias importantes dos custos logísticos e operacionais das empresas distribuidoras [11]. Os sistemas AMR já estão sendo usados em vários países (Estados Unidos, Canadá, Itália, Austrália e outros) devido às suas vantagens e benefícios, o que consequentemente atraiu a atenção de pesquisadores [15]. Os sistemas AMR podem ser classificados em três grandes categorias [1,15]: I) *Walk-by* (a pé): Nessa categoria, o leitorista vai até cada unidade consumidora carregando um smartphone ou equipamento similar contendo um coletor de dados. II) *Drive-by*: as medições de consumo por *drive-by*

consiste na instalação do dispositivo de coleta de dados em um veículo. Um funcionário então dirige o veículo enquanto o coletor de dados realiza a leitura remota dos consumos por meio de comunicação sem fio entre o coletor acoplado no veículo e os sensores acoplados nos medidores de consumo e III) *Fixed network*: O conceito *fixed networks* designa redes permanentes que são instaladas para capturar dados de consumo automaticamente. Essas redes compõem uma infraestrutura que interliga os medidores automáticos com um computador central, sem a necessidade de intervenção humana para a coleta.

Os sistemas AMR, que são construídos usando uma rede fixa, podem usar tecnologias com ou sem fio, porém é preferível a tecnologia sem fio, devido aos custos de planejamento e implantação [3]. Neste cenário, uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) pode ser usada para criar o sistema AMR a fim de realizar as leituras e roteamento dos dados [2, 8]. No entanto, os nós sensores, perto da estação base, irão encaminhar uma série de leituras e, em seguida, aumentarão seu consumo de energia. Neste caso, alguns clientes (por causa dos nós sensores em seu sistema AMR) terão custos para encaminhar leituras de outros clientes. Em algumas soluções foi proposta a tecnologia de comunicação *Power Line Carrier* (PLC), mas devido à sua largura de banda limitada, não é capaz de suportar uma rede de larga escala [9]. A abordagem mais utilizada é a *walk-by*. Porém, essa abordagem pode demorar muito tempo para a coleta das leituras, uma vez que o leitorista deve passar pontualmente em todas as casas. Além do tempo de percurso, o leitorista demanda um tempo para realizar e armazenar a leitura. Na abordagem *drive-by* também é preciso que o carro passe por todas as ruas. Ademais, a rota pode ter constrangimentos com tráfegos e sinais de trânsito.

Em vista dos problemas identificados nos sistemas propostos na literatura, este trabalho propõe um sistema AMR assistido por um VANT para realizar a leitura automatizada de medidores de energia.

O restante deste trabalho está estruturado da seguinte forma. Na Seção 2, é fornecida uma visão geral dos trabalhos relacionados. A solução proposta é descrita na Seção 3. A Seção 4 apresenta as avaliações de desempenhos e os resultados das simulações. Na Seção 5 é discutido a aplicabilidade da solução proposta. Finalmente a Seção 6 conclui o trabalho com observações e trabalhos futuros.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Peral et al. [13] propõem e avaliam um sistema de AMR para medidores de água com base no padrão IEEE 802.15.4 [6]. O sistema proposto é alimentado por baterias e a transmissão dos dados e a sincronização é baseada no procedimento de balizamento definidos neste protocolo. Esta

J. R. Torres Neto, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil, jrtorresneto@lrc.ic.unicamp.br

D. L. Guidoni, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), São João del-Rei, Brasil, guidoni@ufsj.edu.br

L. A. Villas, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil, leandro@ic.unicamp.br

rede utiliza uma topologia em árvore com dispositivos finais e roteadores em diferentes níveis hierárquicos. Cada nó (coordenador, roteador ou dispositivo final) que constitui essa rede utiliza o mesmo hardware para comunicação entre os demais nós. Porém, o nó coordenador possui uma conexão de rede IP, via cabo ou sem fio, utilizada para a transmissão dos dados. Os autores afirmam a capacidade de até 4096 nós (medidores) em cada rede. Por outro lado, caso o nó coordenador não possua ou perca a conexão com a rede IP, empregada para a transmissão dos dados, não é apresentada nenhuma metodologia alternativa.

Na categoria *drive-by*, é necessário um veículo para a realização da coleta dos dados de consumo dos clientes, essa coleta é feita remotamente por meio de comunicação sem fio. Tuna [15] apresenta uma avaliação abordando o uso de VANTs em sistema de AMR em áreas rurais, onde há alguns consumidores espalhados por uma vasta área. Para uma boa navegação no ambiente real, um mapa do ambiente e a capacidade de interpretar esse mapa são obrigatórios. A implementação bem sucedida da proposta depende, principalmente, da precisão na navegação e do sistema de localização. Por isso, o principal foco neste artigo é a integração entre o Sistema de Navegação e o por Inércia (do inglês - INS) e um Sistema de Posicionamento Global (do inglês - GPS), tendo como objetivo fornecer informações precisas sobre a localização e navegação do VANT. No entanto, este artigo não se aprofunda no uso de VANTs em reas urbanas (onde a concentração de nós é maior) e nem no planejamento de rotas neste ambiente, uma vez que o planejamento de rota influencia de maneira direta na eficiência do VANT para concluir uma determinada tarefa, neste caso coletar os dados de medidores. É importante salientar que os autores não mencionam como é feita a comunicação.

Em [12], é proposto a implantação de dispositivos de rede sem fio de baixo custo e de curto alcance (40 metros) junto aos medidores de energia elétrica. Para a leitura dos dados nos medidores, os autores sugerem que o nó móvel responsável por esta atividade seja embarcado em veículos de transporte público, o que consequentemente reduz o custo da leitura. A motivação para essa prática se baseia em aproveitar o deslocamento dos veículos de transporte público que, obrigatoriamente, devem percorrer um determinado percurso em um determinado itinerário. Assim, não é necessário empregar um outro veículo de maneira exclusiva para essa atividade. Além destes veículos, os autores em [12] sugerem que motocicletas (com um nó móvel embarcado) sejam empregadas para realizar a leitura dos medidores que não estão localizados no trajeto do transporte público. No entanto, em vários cenários reais apontam que, para os dispositivos sem fio instalados nos medidores de energia, a topologia da rede pode ser desconectada, uma vez que alguns medidores de energia podem estar longe um do outro (mais de 40m). Com base nessas informações, a solução proposta neste trabalho foi comparada com [12] considerando um veículo que percorra todas as ruas apresentadas no nosso cenário.

III. SISTEMA PROPOSTO

No sistema proposto, cada medidor de energia é equipado com um dispositivo com capacidade de comunicação sem fio. O VANT também é equipado com uma interface de comunicação sem fio. O VANT sobrevoa a área de interesse e ao mesmo tempo envia requisições com uma periodicidade pré-definida para solicitar aos medidores informações das leituras realizadas. Ao receber uma requisição, os medidores de energia respondem a requisição com o consumo do medidor. O VANT carrega o mapa de toda área de interesse a ser sobrevoada bem como a posição dos medidores. Assim é possível identificar quais medidores estão no alcance para receberem a solicitação de leitura enviada pelo VANT. As solicitações são requisitadas por *multicast*, uma vez que se acontecer de um medidor não enviar sua informação de consumo ou a transmissão for perdida devido a colisões, o VANT faz uma nova requisição para solicitar a informação de consumo.

O sistema proposto é dividido em duas fases. A primeira refere-se ao plano de voo do VANT. A segunda está relacionada com a comunicação entre o VANT e os medidores de energia. A Fig. 1 mostra os principais passos da solução proposta. A primeira fase é descrita no retângulo pontilhado à esquerda (plano de voo) e a *segunda fase* (protocolo de comunicação) é descrito no retângulo pontilhado à direita.

A. Fase 1 - Plano de Voo

Um plano de voo é uma lista de pontos (*waypoints*) do ponto de origem ao ponto de destino. A área de interesse é considerada um plano cartesiano dos eixos X e Y. O voo do VANT inicia na base, por exemplo, ponto (0,0), e cada ponto (X,Y) indica o local que o VANT deve ir a partir de sua localização atual. Ao chegar ao próximo ponto da lista de pontos carregados, o VANT se move para o próximo ponto listado. No entanto, quando o VANT viaja por todos os pontos listados, o plano de voo estará finalizado e então o VANT retorna para a base (ponto (0,0)). O movimento utilizado pelo VANT foi o movimento linear, em que o deslocamento do VANT é baseado no eixo X (direção horizontal) e no eixo Y (direção vertical). Depois de iniciar seu plano de voo no ponto (0,0), o VANT se move em linha reta para a direita até o fim da área (ponto (Xmax,0)). Ao atingir o fim, a aeronave se move no eixo Y e o valor do deslocamento é limitado pelo seu raio de comunicação e do raio de comunicação dos sensores acoplados aos medidores de energia. Assim, o valor do deslocamento é definido como duas vezes o o raio de comunicação. Após se deslocar no eixo Y, o VANT se move em linha reta para esquerda até (ponto (0, Y_atual)) e, em seguida, completa o ciclo desloca-se novamente no eixo Y. O VANT repete esses passos até chegar na extremidade da área (Xmax,Ymax). Posteriormente, o VANT retorna ao ponto de origem. Mais detalhes podem ser vistos no retângulo esquerdo (Plano de Voo) na Fig. 1 e no Algoritmo 1.

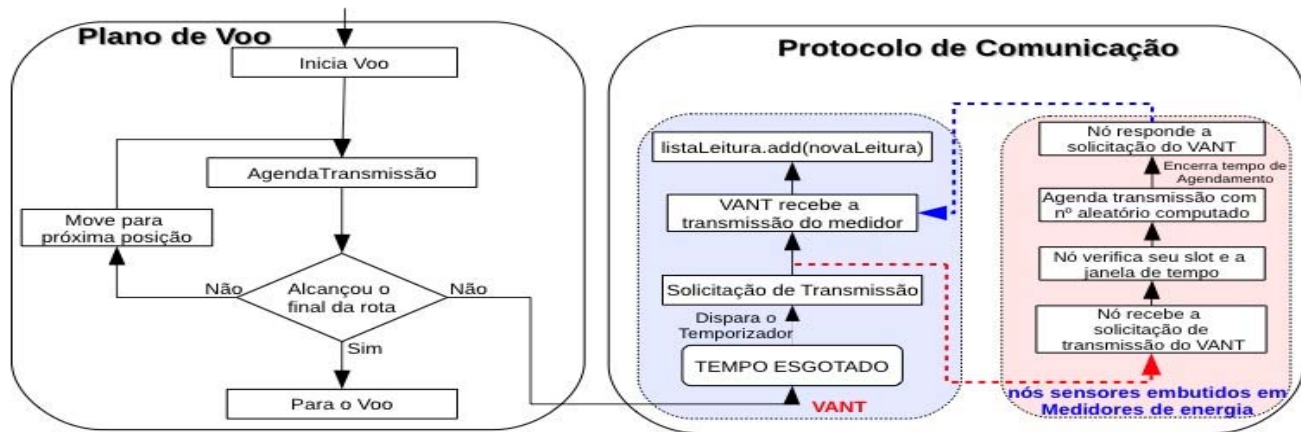


Figura 1. Um fluxograma mostrando os principais componentes da solução proposta.

B. Fase 2 - Protocolo de Comunicação

Após a decolagem, o VANT agenda a transmissão da requisição das leituras registradas pelo medidor. Atingindo o tempo de espera, o VANT envia a *request message* (mensagem de requisição). Cada mensagem de requisição está associada a um temporizador levando em consideração a velocidade do VANT. Quando um medidor recebe uma mensagem de solicitação do VANT, o medidor lê o consumo de energia atual e responde a requisição do VANT. Quando o VANT recebe a resposta do medidor, o VANT armazena as informações do medidor e o consumo de energia. Em seguida, ele agenda a próxima solicitação; uma vez que o VANT possui um mapa da área de interesse, este envia solicitações *multicast* com o objetivo de reduzir a quantidade de transmissões de requisições. Caso o VANT não receba resposta de requisição de algum medidor considerando um tempo atraso, na próxima solicitação o VANT insere também a requisição para o medidor que não respondeu a requisição anterior. É importante destacar que o VANT realiza uma transmissão periódica em paralelo com o seu deslocamento no campo de medidores, como mostra com detalhes o retângulo à direita (Protocolo de Comunicação) na Fig. 1. O intervalo de tempo periódico que o VANT leva para as transmissões pode ser descrito matematicamente como, por exemplo, $t = (r/2)/v$ onde t é o tempo do intervalo, r é o raio de comunicação do VANT e v é a velocidade média do VANT. O protocolo de comunicação proposto é composto por um mecanismo de colisão para minizar a probabilidade de colisão durante a transmissão dos medidores para o VANT.

No mecanismo de colisão proposto, o raio de comunicação é dividido em 5 *slots* (veja a Fig. 2). Os medidores presentes em cada *slot* têm comportamento diferente para responder a requisição do VANT. De acordo com a distância estimada do medidor em relação ao VANT, o medidor sabe qual *slot* está inserido. É importante ressaltar que o VANT transmite solicitações periódicas, portanto, em um primeiro momento, ao receber uma requisição o medidor pode estar localizado em um *slot*. Caso o nó receba outra mensagem para retransmitir

sualeitura, esse mesmo medidor pode se encontrar em um novo *slot*, uma vez que o VANT utiliza *multicast* para a transmissão das solicitações.

```

Input:  $nextPosition_x = 0$ ; // Próximo ponto de X
Input:  $nextPosition_y = 0$ ; // Próximo ponto de Y
Input:  $Xmax$ ; // Posição máxima de X
Input:  $Ymax$ ; // Posição máxima de Y
Input:  $R$ ; // Raio de comunicação do VANT

1 begin
2   // Agenda a mensagem de transmissão
3   ScheduleBroadcast();
4   // próximo deslocamento do VANT será para a direita
5    $nextPosition_x = Xmax$ ;
6   // esta função indica o próximo ponto que o VANT se move
7   MoveToNextPosition( $nextPosition_x, nextPosition_y$ );
8   while  $nextPosition_y < Ymax$  do
9     // se o VANT está localizado no final do eixo X, adiciona o próximo
    ponto do eixo Y
10    if ( $currentPosition_x == Xmax$ ) then
11       $nextPosition_y = currentPosition_y + (2 * R)$ ;
12      MoveToNextPosition( $nextPosition_x, nextPosition_y$ );
13      // se o VANT está localizado no ponto definido do eixo Y, o
      próximo ponto do eixo X é 0, i.e., VANT irá para esquerda
14      if ( $currentPosition_y == nextPosition_y$ ) then
15         $nextPosition_x = 0$ ;
16        MoveToNextPosition( $nextPosition_x, nextPosition_y$ );
17      end
18    end
19    // se o VANT está localizado no ponto inicial do eixo X, adiciona o
    próximo ponto do eixo Y
20    if ( $currentPosition_x == 0$ ) then
21       $nextPosition_y = currentPosition_y + (2 * R)$ ;
22      MoveToNextPosition( $nextPosition_x, nextPosition_y$ );
23      // se o VANT está localizado no ponto definido do eixo Y, o
      próximo ponto do eixo X é o  $Xmax$ , i.e., o VANT irá para direita
24      if ( $currentPosition_y == nextPosition_y$ ) then
25         $nextPosition_x = Xmax$ ;
26        MoveToNextPosition( $nextPosition_x, nextPosition_y$ );
27      end
28    end
29 end

```

Algoritmo 1. Algoritmo para definir o plano de voo do VANT.

Foi utilizado a técnica do indicador de intensidade do sinal recebido (RSSI) [17] para o cálculo da distância estimada entre os medidores e o VANT. Esse método não necessita de nenhum outro *hardware* como, por exemplo GPS, além do rádio *transmissor/receptor* integrado ao medidor [16, 4]. O VANT envia sua atual posição nas requisições de solicitação de leitura dos medidores. Quando o medidor recebe a

requisição do VANT, o medidor calcula sua distância em relação a posição do VANT utilizando RSSI. A distância estimada é que vai definir em qual *slot* o medidor se encontra. Cada *slot* define uma janela de tempo dividida da seguinte maneira: *slot 1*: 1,2 a 1,5s; *slot 2*: 0,9 a 1,2s; *slot 3*: 0,6 a 0,9s; *slot 4*: 0,3 a 0,6s; *slot 5*: 0 a 0,3s. Para reduzir colisões, o nó sorteia um número aleatório dentro do *slot* para efetuar a transmissão.

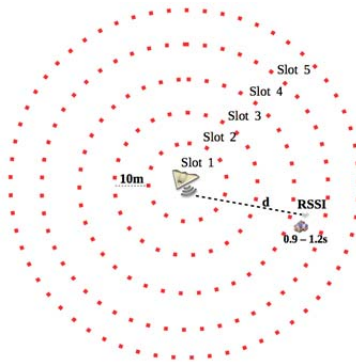


Figura 2. Mecanismo de Colisão.

IV. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Nesta seção mostra os parâmetros de configuração e os resultados obtidos na avaliação de desempenho realizada por meio de simulações. Salienta-se que o grupo já possui um VANT para experimentos reais de comunicação com as RSSF no solo. Tais resultados são apresentados em um outro artigo em [5]. Para este trabalho em particular, foram realizados experimentos com simulações, dado que o VANT não pode percorrer sobre residências sem a prévia autorização das autoridades legais.

A. Configuração do Cenário

Um estudo de simulação foi conduzido a fim de analisar o sistema de leitura automática de medidores proposto. Para realizar as simulações, foi utilizado o simulador Sinalgo [14]. Na abordagem proposta, o VANT sobrevoa a área alvo para coletar as informações dos medidores de consumo de energia dos clientes. Na abordagem *do veículo* (Carro), o veículo equipado com uma interface de comunicação sem fio coleta informações dos medidores de consumo de energia dos clientes passando por todas as ruas. Na abordagem *a Pé*, uma pessoa carregando um *smartphone* caminha por todas as ruas e passa em cada medidor de consumo de energia (considerando-se a área de interesse) para realizar a coleta das informações dos medidores de consumo de energia dos clientes. A abordagem usando um veículo foi baseada na leitura automática de medidores proposta por [12].

Para a realização das avaliações, foi criado um cenário considerando diferentes parâmetros. A Fig. 3 ilustra a configuração do cenário proposto. Este cenário foi criado considerando um bairro típico no Brasil, onde a largura e o fundo do lote é 15mx30m. Para avaliar os resultados, criou-se cenários com 1000, 2000, 4000 e 8000 medidores de energia, em que cada medidor representa um cliente e o alcance de

comunicação dos medidores é de 50m. Para se ter uma comparação justa, o alcance de comunicação do VANT e do veículo equipado com uma comunicação sem fio também é de 50m.

Na seção IV-B é apresentado a distância e o tempo para realizar todas as leituras de cada abordagem. Em seguida, na seção IV-C analisamos o desempenho das transmissões da solução proposta em dois momentos diferentes: o primeiro em que o VANT se comunica com os medidores enviando solicitações de *broadcast* sem o uso do mecanismo de colisões e o segundo momento utilizando o mecanismo de colisões proposto. Os resultados foram obtidos considerando-se 95% de intervalo de confiança.

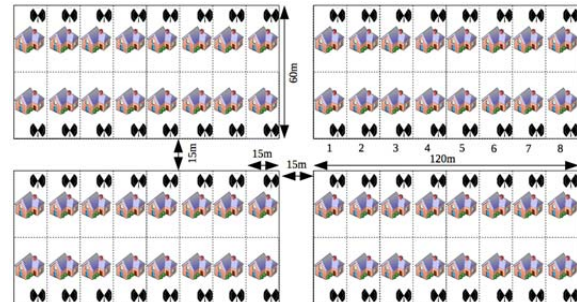


Figura 3. Configuração do Cenário.

B. Resultados das Simulações

A Fig. 4 mostra a distância percorrida por cada abordagem (*VANT*, *Carro*, *a Pé*) considerando diferentes tamanhos de bairros (número de clientes). A rota calculada em nossa solução não tem restrições topológicas, uma vez que o VANT sobrevoa a área alvo, o que torna a sua distância percorrida menor em comparação com as outras abordagens. Por exemplo, quando a rede tem 1000 nós (clientes), a distância percorrida do VANT é de 1,53 e 4,29 vezes menor em comparação com as abordagens Carro e a Pé, respectivamente. Quando a rede tem 8000 nós, a distância percorrida do VANT é de 1,71 e 5,41 vezes menor em comparação com o Carro e a Pé, respectivamente. Isto é devido ao fato de que, tanto para a abordagem *Carro* quanto para a abordagem *a Pé*, sua rota é baseada nas ruas da cidade e esta característica não é considerada no plano de voo do VANT, que considera apenas os medidores dos clientes.

A Fig. 5 mostra o tempo necessário para fazer a coleta de dados dos medidores considerando as abordagens *VANT*, *Carro* e *a Pé*. Nesses cenários, as velocidades do *VANT*, *do Carro* e *a Pé* foram configurados para 10 m/s, 8 m/s e 1,25 m/s, respectivamente. Esses valores representam as velocidades de um VANT típico, um Carro em uma cidade (não consideramos problemas de congestionamento de veículos) e uma Caminhada normal. Considerando a abordagem *a Pé*, para a realização de uma leitura, uma pessoa leva em média 10 segundos para ler o medidor e salvar a leitura. Podemos observar que, quando a rede tem 1000 nós, o tempo que o VANT leva para atravessar toda a área-alvo é 1,95 e 34,34 vezes menor em comparação com as abordagens *Carro* e *a Pé*, respectivamente. Quando a rede possui 4000 nós, o tempo do VANT é 2,15 e 42,14 vezes menor em relação às abordagens *Carro* e *a Pé*, respectivamente.

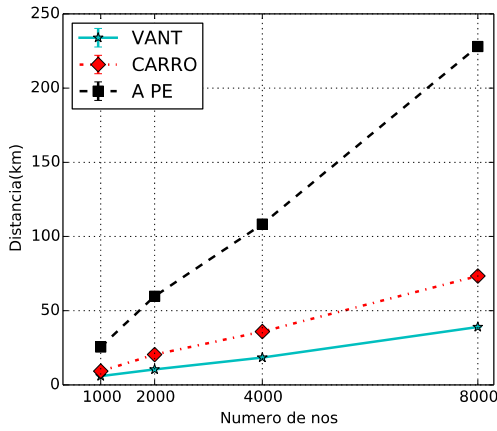


Figura 4. Distância Percorrida.

Tipicamente, a abordagem mais utilizada na maioria dos países é a abordagem *a Pé*, onde uma pessoa precisa ir em cada medidor para realizar a leitura. Neste caso, além do tempo para caminhar nas ruas, também é necessário considerar o tempo para ler o medidor e salvar a leitura. Nas abordagens *Carro* e *VANT*, esse tempo não é necessário, uma vez que a leitura é feita remotamente (usando a conexão sem fio). No entanto, a abordagem *Carro* tem uma rota específica que considera as ruas, onde pode haver problemas de tráfego, tais como sinais de trânsito e engarrafamentos. Neste caso, a distância e o tempo percorrido para atravessar a área de interesse é maior em comparação com a abordagem utilizando um VANT, já que o plano de voo não considera as ruas e sim os clientes.

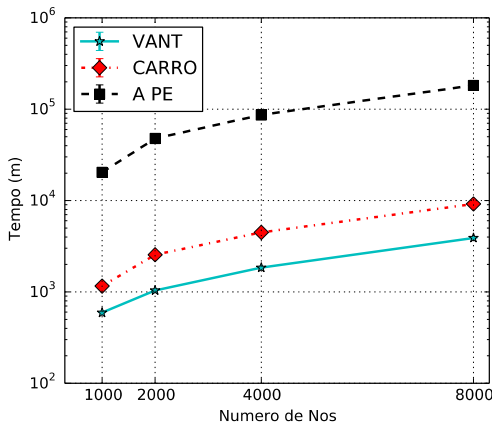


Figura 5. Tempo para realizar a coleta.

A Fig. 6 mostra o tempo necessário para coletar as informações de consumo dos medidores de energia considerando quatro velocidades diferentes do VANT (5, 10, 15 e 20 m/s). É importante notar que, quando se aumenta a velocidade, o tempo para cobrir toda a área alvo diminui.

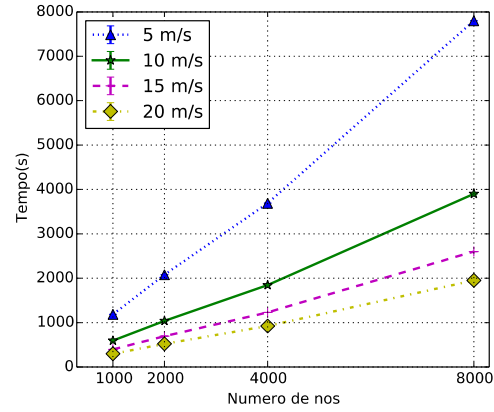


Figura 6. Velocidade do VANT.

C. Avaliação do mecanismo de colisão proposto

As Figs. 8 e 9 mostram a relação de quantidade de transmissões entre o VANT e os medidores. A Fig. 7 mostra a quantidade de requisições *broadcast* enviadas pelo VANT para os medidores, observe que utilizando o mecanismo para tratamento de colisões reduz a quantidade de requisições necessárias. Isso ocorre pois utilizando o mecanismo para tratamento de colisões reduz drasticamente as transmissões dos medidores para o VANT (Veja a Fig. 8).

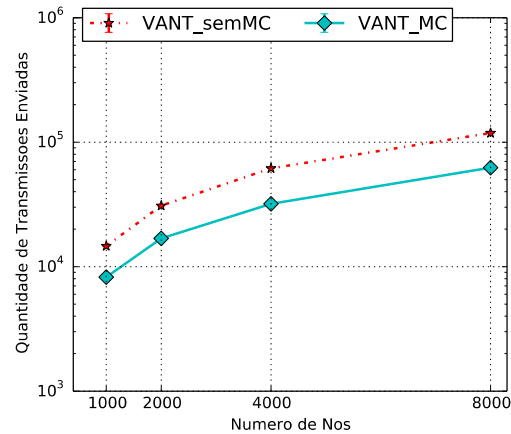


Figura 7. Mensagens Transmitidas.

Observe que ao utilizar o mecanismo para tratamento de colisões nas transmissões dos medidores para o VANT o número de transmissões necessárias é aproximadamente n , onde n é o número de medidores. Sem o mecanismo para tratamento de colisões nas transmissões dos medidores para o VANT o número de transmissões necessárias é aproximadamente $300n$, onde n é o número de medidores. Isso ocorre, pois o mecanismo proposto evita colisões e não é necessário fazer retransmissões.

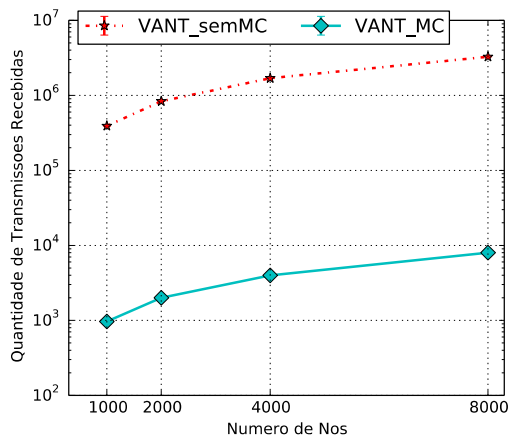


Figura 8. Mensagens Recebidas.

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentada uma nova solução para realização da leitura automática de medidores de energia utilizando Veículo Aéreo Não Tripulado e medidores de consumo equipados com interface de comunicação sem fio. Resultados de simulação mostram que a atividade de leitura de medidores utilizando o sistema proposto pode ser mais rápida e com baixo custo operacional comparado com soluções da literatura. Como trabalhos futuros, pretende-se avaliar abordagem proposta neste trabalho considerando diferentes cenários com diferentes densidades de medidores, ou seja, o centro de uma cidade com edifícios e áreas rurais. Também pretende-se avaliar diferentes planos de voo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio dos processos nº 147356/2013-0 e nº 486332/2013-6 e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo apoio financeiro por meio do processo nº APQ-01947-12.

REFERÊNCIAS

- [1] Bittner, M., Widmer, H., Pajot, A., Alberdi, G., Hohl, H., and Kmety, G. Energy project no 226369. Technical report, funded by the European Commission, OPEN meter, 2010.
- [2] Liting Cao, Jingwen Tian, and Yanxia Liu. "Remote real time automatic meter reading system based on wireless sensor networks". In *Proceedings of the 2008 3rd International Conference on Innovative Computing Information and Control*, 2008.
- [3] Liting Cao, Jingwen Tian, and Yanxia Liu. "Remote wireless automatic meter reading system based on wireless mesh networks and embedded technology". In *Embedded Computing, 2008. SEC '08. Fifth IEEE International Symposium on*, pages 192–197, Oct 2008.
- [4] Cardoso, C., Guidoni, D., Maia, G., Ueyama, J., Loureiro, A., and Villas, L. "An energy consumption aware solution for the 3d localization and synchronization problems in wsns". In *Computer Networks and Distributed Systems (SBRC)*, 2014.
- [5] Faical, B. S., Costa, F. G., Pessin, G., Ueyama, J., Freitas, H., Colombo, A., Fini, P. H., Villas, L. A., Osório, F. S., Vargas, P. A., and Braun, T. "The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor networks for spraying pesticides". *Journal of Systems Architecture - Embedded Systems Design*, 60(4):393–404, 2014.
- [6] Han, Y., Wang, Z., Li, L., and Zhao, Y. "A fast automatic gain control scheme for ieee 802.15.4 receiver". In *Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, 2008.

- [7] Horácio A.B.F. Oliveira, Raimundo S. Barreto and Loureiro, A. A. "Envio de dados de consulta para sinks móveis em alta velocidade em redes de sensores sem fio". *28o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, 2010.
- [8] Kawai, T., Wakamiya, N., Murata, M., Yanagihara, K., Nozaki, M., and Fukunaga, S. "A sensor network protocol for automatic meter reading in an apartment building". In Miri, A., editor, *Wireless Sensor and Actor Networks II*, volume 264 of *IFIP*, 2008.
- [9] Khalifa, T., Naik, K., and Nayak, A. "A survey of communication protocols for automatic meter reading applications". *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 13(2):168–182, 2010.
- [10] Li Quan-Xi, L. G. "Design of remote automatic meter reading system based on zigbee and gprs". *Proceedings of the Third International Symposium on Computer Science and Computational Technology (ISCST '10)*, 2(1):186–189, 2010.
- [11] Nhan, N.-Q., Vo, M.-T., Nguyen, T.-D., and Huynh, H.-T. "Improving the performance of mobile data collecting systems for electricity meter reading using wireless sensor network". pages 241–246, 2012.
- [12] Peral, J., Merlo, E., Labrador, R., Torralba, A., Carvajal, R. G., Gil, M., Villalba, D., Grande, A., Moreno, M., and Viguera, J. "Automated meter reading based on ieee 802.15.4". In *IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 2012.
- [13] Sinalgo. Simulator for network algorithms. Distributed Computing Group - ETH- Zurich, 2014.
- [14] Tuna, G. "Performance evaluations on uav-aided automated meter reading". *Int J Adv Robotic Sy*, 9(229), 2012.
- [15] Villas, L., Guidoni, D., and Ueyama, J. (2013). "3d localization in wireless sensor networks using unmanned aerial vehicle". In *12th IEEE International Symposium on*, 2013.
- [16] Wu, R.-H., Lee, Y.-H., Tseng, H.-W., Jan, Y.-G., and Chuang, M.-H. "Study of characteristics of rssi signal". In *Industrial Technology, 2008. ICIT 2008. IEEE International Conference on*, pages 1–3, 2008.
- [17] Azzedine Boukerche, Xin Fei, "A coverage-preserving scheme for wireless sensor network with irregular sensing range", *Ad Hoc Networks*, Volume 5, Issue 8, Pages 1303-1316, 2007.
- [18] Oliveira, H.A.B.F.; Boukerche, A.; Freire Nakamura, E.; Loureiro, A.A.F., "An Efficient Directed Localization Recursion Protocol for Wireless Sensor Networks," *Computers, IEEE Transactions on*, vol.58, no.5, pp.677,691, 2009
- [19] Boukerche, A.; Xin Fei, "A Voronoi Approach for Coverage Protocols in Wireless Sensor Networks," *Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM '07. IEEE*, vol., no., pp.5190,5194, 26-30, 2007
- [20] Boukerche, A.; Sungbum Hong; Jacob, T., "An efficient synchronization scheme of multimedia streams in wireless and mobile systems," *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, vol.13, no.9, pp.911,923, 2002
- [21] Villas, L.A.; Boukerche, A.; Ramos, H.S.; de Oliveira, H.A.B.F.; de Araujo, R.B.; Loureiro, A.A.F., "DRINA: A Lightweight and Reliable Routing Approach for In-Network Aggregation in Wireless Sensor Networks," *Computers, IEEE Transactions on*, vol.62, no.4, pp.676,689, 2013



José Rodrigues Torres Neto é graduado em Ciência da Computação pela Universidade Estadual do Piauí (UESPI), Teresina, Piauí, Brasil, em 2014. Atualmente é aluno de mestrado na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e suas pesquisas se concentram principalmente na área de Veículos Aéreos não Tripulados e sistemas distribuídos.



Daniel Ludovico Guidoni é professor da Universidade Federal de São João del-Rei. Ele recebeu em 2011 o título de Doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais. Em 2012 foi agraciado com o prêmio CAPES de Tese com prêmio de melhor tese de Doutorado em Ciência da Computação do Brasil.



Leandro Aparecido Villas é professor no instituto de computação da UNICAMP. Ele recebeu em 2012 o título de doutor pela Universidade Federal de Minas Gerais na área de coleta de dados em redes de sensores sem fio. Passou um ano no laboratório PARADISE no SITE da Universidade de Ottawa como parte de seu doutorado *sandwich*.