

# A Robust and Lightweight Protocol for Efficient and Scalable Automatic Meter Reading using an Unmanned Aerial Vehicle

J. R. Neto, R. S. Yokoyama and L. A. Villas

**Abstract**— Most electric power companies employs power meter reader to collect data on the customer's energy consumption. Usually, this task is carried out manually, which can lead to high cost and errors, causing financial losses. Some approaches tries to minimize these problems, such as: find the minimal route or use a car to perform the readings. However, errors associated the manual readings can still occurs and cars suffer with congestions and a high costs of the fuel consumption and to maintaining. In this work, we go further and propose an Automatic Meter Reading (AMR) system using Unmanned Aerial Vehicles (UAV). One of the challenge of this solution is design a robust and lightweight protocol that is able to deal with the wireless communication collisions. Therefore, the main contribution of this work is the design a new protocol to ensure wireless communication from UAV to the power meters. We evaluated the protocol in an urban scenario and the results show a decrease of messages collisions up to 98%.

**Keywords**— Automatic Meter Reading, Unmanned Aerial Vehicles, Wireless communication.

## I. INTRODUÇÃO

NOS últimos anos o uso de veículos aéreos não-tripulados (VANT) em aplicações civis tem aumentado a cada dia. Essas aeronaves variam de tamanho e capacidade, podendo ser amplamente equipadas com diversos dispositivos, por exemplo: GPS, câmera de vídeo/imagem, uma ou mais tecnologias de comunicação sem fio e vários sensores. Logo, novas soluções com VANTs têm sido desenvolvidas para automatizar tarefas do dia a dia. Uma dessas soluções é o sistema de leitura automática de medidores de consumo (AMR - *Automatic Meter Reading*) que corresponde à coleta e transmissão remota de dados de leituras de medidores de consumo de energia, água ou gás, sem a intervenção humana, para finalidades administrativas como o faturamento, análise de dados ou identificação de problemas [1,5,17,18].

Normalmente, os sistemas AMR são classificados em [2-3]: i) manual e a pé: o leiturista caminha de casa em casa coletando os dados de consumo de energia; ii) assistido por veículo: o leiturista da empresa usa um veículo e percorre as ruas coletando os dados de consumo via comunicação sem fio e iii) rede fixa de dados: a coleta dos dados de consumo é feita remotamente por meio de uma rede de comunicação de dados.

As principais desvantagens das abordagens atuais são: a leitura a pé pode demorar um longo tempo indesejável para a

coleta das leituras, uma vez que o leiturista deve passar pontualmente em todas as casas, percorrendo todas as ruas. Na abordagem assistida por veículo também é necessário que o carro percorra todas as ruas, estando sujeito a restrições topológicas, congestionamentos e acidentes. Por fim, a categoria rede de dados fixa, geralmente consiste de uma rede de sensores com ou sem fio, a qual a topologia da rede pode prejudicar a coleta de informações, uma vez que pode ocorrer falha em nós *gateways* da rede e provocar significativo atraso e/ou perda de dados na leitura. Além disso, a implantação da infraestrutura de rede, que conecta uma base central a todos os medidores de consumo de energia, pode ter um alto custo de investimento [4].

As soluções mais recentes propõem o uso da tecnologia de comunicação *Power Line Carrier* (PLC), que utiliza a rede elétrica para transmitir pequenas quantidades de dados a longas distâncias. Porém, na transmissão de dados via PLC pode ocorrer uma alta atenuação do sinal e susceptibilidade à interferência de dispositivos próximos, resultando em uma alta taxa de perda, além de sua escalabilidade em sistemas AMR ser questionada por trabalhos da literatura [1, 5].

Siddiqui *et. al.* [5] mostra resultados de sistemas PLC que não conseguiram operar em ambientes com ruídos de alta frequência gerados por dispositivos que utilizaram técnica de comutação rápida (por exemplo, lâmpadas fluorescentes com reator eletrônico e fontes de alimentação chaveadas), afetando significativamente o desempenho do sistema de comunicação.

Para superar as limitações dos sistemas citados, este trabalho propõe uma nova abordagem para o sistema AMR baseada nas categorias assistida por um VANT e uma infraestrutura na qual um dispositivo sensor é embutido em cada medidor de energia. O uso de VANT supera as limitações mencionadas acima e aumenta as vantagens dos sistemas de AMR.

O restante do artigo está organizado na seguinte maneira. Na Seção-II é descrito os trabalhos relacionados. Na Seção-III é apresentada uma visão geral do sistema AMR com VANT e o protocolo de comunicação proposto. Na Seção-IV é detalhada a metodologia e os resultados da avaliação. Por fim, na Seção-V é discorrido sobre as conclusões e os trabalhos futuros.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

Esta Seção descreve os principais trabalhos relacionados a sistemas AMR. Os estudos realizados propõem metodologias para leitura automática de medidores de energia elétrica. Esta seção está dividida em uma subseção abordando as categorias: redes fixas e assistido por veículo; e a segunda Subseção com trabalhos que utilizam protocolos de comunicação de VANT com sensores.

J. R. Neto, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil, jrneto@unicamp.br  
 R.S. Yokoyama, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil, sadao@lrc.ic.unicamp.br  
 L.A. Villas, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil, leandro@ic.unicamp.br

### A. Categorias Redes Fixas e Assistido por Veículo

Na categoria *redes fixas* de dados, os dados de consumo dos clientes são capturados automaticamente por uma rede instalada com todos os medidores interligados a uma central. Vários sistemas foram propostos na categoria de redes fixas [6-8]. Enquanto que na categoria *assistido por veículo*, é necessário um veículo para a realização da coleta dos dados de consumo dos clientes remotamente por meio de comunicação sem fio. Os trabalhos a seguir foram propostos nesta categoria [3,6,7,8, 9].

Gurkan *et al* [3] fazem uma avaliação abordando o uso de VANTs em sistema AMR em áreas rurais. Os autores utilizam um VANT de asa rotativa do modelo hexarotor. O principal foco do supracitado artigo é a integração entre o Sistema de Navegação por Inércia (do inglês - INS) e um Sistema de Posicionamento Global (inglês - GPS), tendo como objetivo fornecer informações precisas sobre a localização e navegação do VANT.

Kwang *et al.* [6] apresentam um método de agregação de dados para medição de energia eficiente em larga escala. Os autores utilizaram *ZigBee* pela similaridade da rede AMR com uma rede de sensores. Basearam-se na árvore de caminho mais curto (do inglês, *Shortest Path Tree – SPT*) para diminuir o número de transmissões na rede AMR.

Tan e Moghavvemi [7] propõem um sistema AMR, usando PLC para a transferência dos dados. Foi desenvolvido um módulo de *interface* dos medidores, em que os medidores eletromecânicos ou analógicos foram convertidos para medidores de pulso digitalizados a fim de permitir que microcontroladores fossem capazes de armazenar e transmitir a leitura dos dados de consumo, através da rede PLC.

Shinde e Kulkarni [8] mostram uma coleta automática em sistemas AMR que consiste na captura de fotos da leitura de consumo e envio para uma base central usando *ZigBee*. Na central é utilizado o *Matlab* para fazer o pré-processamento da imagem, a segmentação e o reconhecimento de dígitos.

Nhan *et al.* [9] utilizam dispositivos de rede sem fio de baixo custo e de curto alcance (40 metros), junto aos medidores de energia elétrica. Um nó móvel embutido em veículos de transporte público é responsável pela leitura dos dados dos medidores, aproveitando o itinerário do transporte público.

### B. Comunicação de VANT com sensores

Nesta Subseção são apresentados alguns trabalhos propostos que utilizam VANT para a comunicação com uma rede de sensores.

Costa *et al.* [10] descrevem uma arquitetura baseada em VANTs usados em aplicações agrícolas, em que o VANT é responsável por pulverizar lavouras com defensivos químicos. Os sensores nas bordas das lavouras se comunicam com o VANT pulverizador ou um VANT repetidor a fim de dar o *feedback* de controle ao VANT. A aplicação faz uso de protocolos de roteamento oportunista por se tratar de uma rede móvel ad-hoc.

Ho *et al.* [11] propõem um novo protocolo MAC para uma RSSF utilizando um VANT. O VANT é responsável por ativar

os sensores espalhados pela área e em seguida coletar seus dados. Os sensores são divididos em grupos por prioridade, em que os níveis de prioridades são definidos pela força do sinal *beacon* recebido do VANT e a tendência de variação desse sinal. Os autores consideram uma taxa de erro (*Packet-Error-Rate*), em relação às transmissões e grupos de prioridades. As transmissões entre o VANT e a RSSF são feitas utilizando o protocolo CDMA.

Bodanese *et al.* [12] propõem uma pilha de protocolo de melhor esforço e confiável para a comunicação de um VANT que coleta dados em uma infraestrutura de RSSF e transmite para o nó *sink*. O protocolo proposto RBESP é baseado no padrão IEEE 802.15.4 e capaz de realizar a comunicação nos cenários *UAV-to-BS* e *UAV-to-WSN*.

## III. SISTEMA AMR UTILIZANDO VANT

Nesta Seção é apresentada uma visão geral do sistema AMR que utiliza um VANT para realizar a coleta das leituras de consumo dos medidores e, por fim, detalhamos o protocolo de comunicação proposto com a técnica para reduzir colisões de mensagens.

### A. Visão geral do sistema AMR utilizando VANT

O sistema AMR é composto por medidores de energia comunicando-se com o VANT, onde ambos são portadores de um dispositivo com capacidade de comunicação sem fio. Uma determinada área de interesse, composta por medidores de consumo nas residências, é sobrevoada pelo VANT que, paralelamente ao voo, envia requisições com uma periodicidade predefinida para solicitar as informações das leituras realizadas pelos medidores. Ao receber uma requisição, os medidores de energia respondem a essa com o consumo do medidor diretamente para o VANT (via *unicast*). O VANT pode armazenar as informações, informar a empresa utilizando comunicação via satélite ou infraestrutura celular 3G/4G, bem como retornar à origem do voo e levar os dados para a estação base.

As solicitações enviadas aos medidores são do tipo *multicast* e o plano de voo do VANT é composto de um mapa de toda área de interesse a ser sobrevoada e a posição dos medidores de energia. Assim, é possível identificar quais medidores estão no alcance para receberem a solicitação de leitura enviada pelo VANT. Também é possível saber quais medidores responderam a requisição. Caso aconteça de um medidor não enviar sua informação de consumo ou a transmissão for perdida devido a colisões, o VANT faz uma nova requisição *multicast* para solicitar essa informação de consumo. O VANT adiciona, nesta nova requisição, o medidor que não obteve resposta e os próximos medidores que estão ao alcance.

Desta maneira podemos dividir o sistema AMR em duas partes principais:

- *Plano de voo*: Percurso do VANT para sobrevoar toda a área de interesse para a leitura dos medidores de consumo.
- *Protocolo de comunicação*: Comunicação entre o VANT e os medidores de consumo.

### B. Protocolo de comunicação

Nesta Seção é descrito o protocolo desenvolvido que permite que o VANT se comunique com os sensores dos medidores de consumo. Primeiro, é definida a maneira que as mensagens são trocadas entre o VANT e os sensores de medidores de energia. Em seguida, são detalhados os procedimentos do protocolo de comunicação. Por fim, é explicada a técnica para prevenir colisões de mensagens.

#### 1) Definição de mensagens

O Protocolo de comunicação proposto é composto por dois tipos simples de mensagens: *i) mensagem de requisição*: são as mensagens de solicitação do VANT, do tipo *multicast*, para os medidores de consumo. Essa mensagem contém uma lista de ID dos medidores que devem responder à mensagem e a posição atual do VANT; e *ii) mensagem de resposta*: são mensagens do tipo *unicast* que os medidores de energia respondem ao VANT. Essa mensagem contém dois valores: o valor do seu consumo de energia atual e o valor do ID do medidor de energia.

#### 2) Procedimentos do protocolo

Na Fig. 1 é apresentado o fluxograma dos procedimentos realizados no protocolo de comunicação proposto, a fim de obter uma comunicação eficiente entre o VANT e os medidores de energia. Os procedimentos acontecem em três ambientes: Plano de voo, VANT e medidores. As setas indicam o sentido do fluxo dos procedimentos. Ao decolar, o VANT agenda uma transmissão para solicitação de leitura dos medidores de acordo com a sua velocidade, e.g., o medidor de energia será capaz de entregar a mensagem de resposta. Quando o tempo de espera para a transmissão se esgota, o VANT envia uma mensagem de requisição *multicast* com o objetivo de diminuir a quantidade de mensagens transmitidas. As transmissões enviadas pelo VANT são periódicas e paralelas ao seu plano de voo sobre o campo de medidores. Um temporizador define o intervalo de segundos  $t$  das requisições feitas pelo VANT, levando em consideração a velocidade média do VANT  $v$  em m/s e seu raio de comunicação  $r$  em metros, como mostra a Eq. 1. A cada  $t$  segundos o VANT envia mensagens de requisição para os medidores.

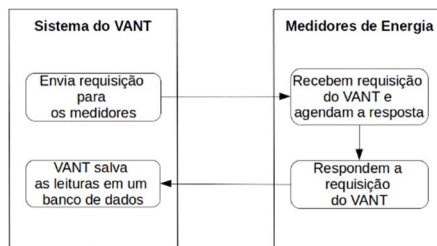


Figura 1. Procedimentos do protocolo de comunicação.

$$t = \frac{r}{2v} \quad (1)$$

Nos medidores de consumo, o nó recebe a mensagem de requisição do VANT, lê o consumo atual e, em seguida, responde essa requisição. Antes de responderem ao VANT, os medidores usam uma técnica de prevenção de colisão que

sincroniza a troca de mensagens entre o VANT e os medidores, este procedimento é descrito na próxima Subseção. Após passar por um ponto, o VANT voa para o próximo ponto e durante o percurso ele continua o procedimento de agendamento de transmissões. As transmissões são periódicas e em paralelo com sua navegação para os pontos de interesse predefinidos. Se o VANT não receber a mensagem de resposta de um medidor, ele aguarda a próxima requisição para incluir novamente o ID do medidor na mensagem de requisição.

#### 3) Tratamento de colisões de mensagens

Na troca de mensagens entre o VANT e os medidores, existem desafios que devem ser considerados, por exemplo, sincronizar o percurso do VANT e o tempo de resposta dos medidores de modo que reduz colisões entre pacotes, uma vez que todos os nós compartilham o mesmo canal de comunicação sem fio. Diante disso, o impacto da velocidade do VANT considerando o tempo de propagação das mensagens deve ser avaliado [13]. Assim, controlar o tempo em que cada medidor responde o VANT foi a técnica utilizada para prevenir colisões. O tempo de propagação e de empacotamento das mensagens usados no modelo foram baseados no estudo de Awdren *et al.* [13].

A técnica descrita é capaz de prevenir que colisões ocorram antes dos medidores responderem à solicitação do VANT. Em linhas gerais, o nó estima sua distância relativa em relação ao VANT e verifica qual é a janela de tempo para a transmissão. Em seguida, o nó calcula um valor de tempo aleatório dentro da janela de tempo e agenda uma transmissão.

Esta técnica pode ser dividida em três etapas, da seguinte maneira: *i) Divisão do Campo de Alcance*, *ii) Cálculo da Distância Estimada* e *iii) Agendamento da Resposta*.

A *Divisão do Campo de Alcance* pode ser visualizada na Fig. 2, em que é separado os nós por *slots* de tamanhos iguais, com base no raio de comunicação do VANT. Desta maneira, cada *slot* atribui um comportamento diferente para os nós que estão contidos em sua área, por exemplo, o tempo e processamento das respostas são individuais e, tal comportamento é decisivo no momento de resposta da requisição do VANT.

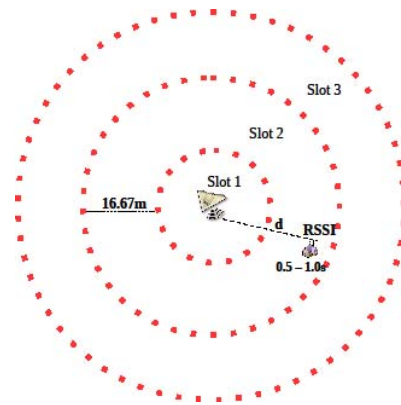


Figura 2. Divisão do alcance do rádio de comunicação em *slots* para transmissão dos medidores.

Quando o VANT envia a mensagem de requisição, o VANT inclui a sua posição atual. Depois de receber a solicitação, o medidor de energia calcula sua distância do VANT e calcula em qual *slot* pertence. É importante salientar

que um nó só pode estar incluído em apenas um *slot*. Porém, durante a tarefa de leitura, em um primeiro momento, ao receber uma requisição, um nó pode estar localizado em um determinado *slot* e, em um segundo momento, ao receber outra requisição para retransmitir suas informações, o mesmo nó pode estar localizado em outro *slot* diferente em comparação com o *slot* no primeiro momento. Isto acontece porque o VANT transmite requisições periódicas enquanto se desloca pela área de interesse, assim o nó muda de *slot* em função do tempo, de acordo com a velocidade do VANT. Além disso, o VANT reenvia requisições apenas para os nós que ele não obteve resposta.

Para realizar o *Cálculo da Distância Estimada* é usada a técnica do indicador de intensidade do sinal recebido (RSSI) [14], que comumente é aplicada para estimar a distância entre dois nós, pois utiliza apenas o rádio transmissor/receptor para a comunicação e nenhum outro *hardware* [15]. A técnica de RSSI também não utiliza nenhuma mensagem de controle para estimar a distância, como é feito em outras técnicas de estimativa de distância [15]. A mensagem atual do VANT está contida na mensagem de requisição das leituras dos medidores, desta maneira, o medidor estima sua distância em relação ao VANT usando RSSI sem a necessidade de ser equipado com um dispositivo de posicionamento. Esta distância estimada encontrada definirá o *slot* que o nó está localizado. A velocidade do VANT, distância estimada e tempo de propagação da mensagem são fatores importantes que precisam ser considerados para a definição do intervalo em que o medidor responderá a solicitação do VANT.

Para exemplificar esta etapa, considere os cálculos dos intervalos de tempo sob as seguintes condições reais: *i)* raio de comunicação de 50 m e *ii)* velocidade do VANT de 10 m/s. Assumindo um número de *slots* igual a 3, conforme é mostrado na Fig.2, o alcance de comunicação é dividido pelo número de *slots*, portanto cada *slot* tem  $tamSlot = 16,67$  m. Ao receber a mensagem de solicitação do VANT, a localização dos medidores de energia é computada pela Eq. 2, onde  $d$  é a distância estimada para o VANT e  $tamSlot$  é a largura de cada *slot*. A Eq. 2 retorna um valor real, mas só usamos a parte inteira para definir a qual *slot* o medidor pertence.

$$slot = \frac{d}{tamSlot} \quad (2)$$

Por fim, no *Agendamento da Resposta*, os medidores mantêm uma tabela (ver Tab. I) com intervalos de tempo predefinidos com base na divisão do campo mostrada na Fig. 1 para agendar as transmissões de acordo com o *slot* que o medidor pertence. A fim de reduzir as colisões entre as transmissões de medidores no mesmo *slot*, cada medidor calcula um tempo aleatório dentro do intervalo definido pelo *slot* que o medidor pertence. A solução é projetada para os medidores serem capazes de responder à solicitação do VANT no intervalo de 0 a 1,5 s. Desta maneira, a tabela para agendamento de resposta é baseada na quantidade de *slots* que o campo de alcance do VANT está sendo dividido. Em seguida, o nó efetua a transmissão de sua leitura no valor do tempo calculado. Mais especificamente, se o medidor de energia está contido no *slot* 2, o medidor calcula um valor aleatório no intervalo de 0,5 a 1,0 segundos, por exemplo, 0,7

s. Em seguida, o medidor agenda a transmissão para responder a requisição do VANT em 0,7 s.

TABELA I. INTERVALO DE TEMPO COM NOS *SLOTS* PARA OS MEDIDORES CALCULAREM O ATRASO ALEATÓRIO NA TRANSMISSÃO.

Número do <i>slot</i>	Intervalo de tempo (s)
1	1.0 - 1.5
2	0.5 - 1.0
3	0.0 - 0.5

#### IV. RESULTADOS

Nesta Seção é descrita a metodologia utilizada para a avaliação do protocolo de comunicação e apresentado os resultados das simulações para diferentes métricas de desempenho.

##### A. Metodologia

A avaliação do protocolo de comunicação foi por meio do simulador Sinalgo. Implementamos uma extensão no Simulador Sinalgo a fim de avaliar as colisões de pacotes de mensagens transmitidas, inferindo o instante em que ocorre a colisão de pacotes, uma vez que o simulador não implementa a camada MAC. Analisamos o desempenho das transmissões do Sistema AMR usando VANT em dois momentos diferentes: no primeiro momento, o VANT se comunica com os medidores sem o uso da técnica para evitar colisões, enquanto que, no segundo momento, foi aplicada a técnica para evitar as colisões das mensagens.

Neste trabalho, o protocolo foi avaliado no seguinte cenário: com 1000, 2000, 4000 e 8000 medidores de consumo e a divisão do raio de alcance do VANT foi de 5 *slots*;

O *Plano de voo* do VANT utilizado na simulação foi composto por uma lista de pontos os quais devem ser sobrevoados por ele, como ilustrado na Fig. 3. Neste plano de voo, o VANT considera uma planta (lotas e ruas) em um plano cartesiano dos eixos X e Y. Para representar um cenário real urbano, foi realizada a divisão de uma área por quadras (bloco de casas), em que cada quadra é composta por 16 casas, cada casa é composta por um sensor acoplado no medidor de consumo.

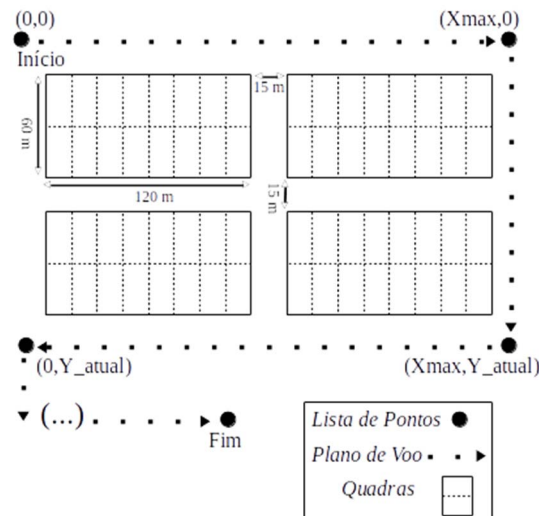


Figura 3. Plano de voo do VANT no cenário da simulação.

As setas na Fig. 3 representam a direção em que o VANT se movimentava. O VANT parte da origem (ponto (0,0)) e se move para direita em linha reta até a extremidade horizontal (ponto (Xmax,0)). Em seguida, o VANT se desloca no eixo Y e o valor do seu deslocamento será duas vezes o seu raio de comunicação de modo que obedeça ao limite de alcance do VANT para os sensores acoplados nos medidores. Ao se deslocar no eixo Y, o VANT se move para esquerda em linha reta até a extremidade horizontal (ponto (0, Y\_atual)) e depois novamente no eixo Y, completando um ciclo. O VANT repete o ciclo até chegar à extremidade da área (Xmax,Ymax) e, em seguida, retorna ao ponto de origem.

### B. Desempenho do protocolo de comunicação para o cenário avaliado

Nesta Seção são apresentados os resultados do protocolo de comunicação proposto. O objetivo das simulações é analisar o desempenho do sistema AMR com ganhos em custos de transmissões e garantia de entrega de todas as leituras. A avaliação e comparação na solução proposta em relação as abordagens a pé e assistida por veículo não são realizadas nesse trabalho, pois a mesma já foi avaliada no trabalho anterior publicado em [16].

A Fig. 4 mostra o número de mensagens enviadas entre o VANT e os medidores de energia. Nesta avaliação pode ser visualizado que, usando a técnica de tratamento de colisões (curva VANT\_MC), a quantidade de mensagens transmitidas é significativamente reduzida e, apesar de ter uma ordem de grandeza uma vez menor que a abordagem que não usa a técnica (curva VANT\_semMC), é garantida uma alta cobertura, em média, quase em 100% de entrega de mensagens, como pode ser visto na Fig. 7. Isto acontece porque as colisões entre pacotes de mensagens são reduzidas.

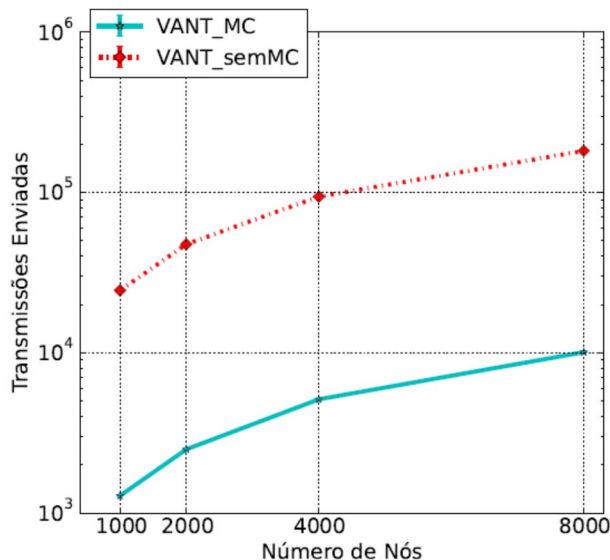


Figura 4. Mensagens transmitidas entre o VANT e os medidores de energia.

Quando controlamos o instante em que os medidores de energia enviam suas informações para o VANT, nós impedimos que mensagens sejam enviadas ao mesmo tempo, portanto, diminuimos o número de colisões entre as mensagens (ver Fig. 5). É importante ressaltar que a

quantidade de colisões evitadas resultará na taxa de cobertura derivada por solução.

No cenário sem o uso da técnica de prevenção de colisão, o VANT envia mensagens de requisição para todos os nós em seu alcance de comunicação, em seguida, os nós enviam a resposta, causando colisões de mensagens, pois várias transmissões podem estar sendo feitas ao mesmo tempo e periodicamente.

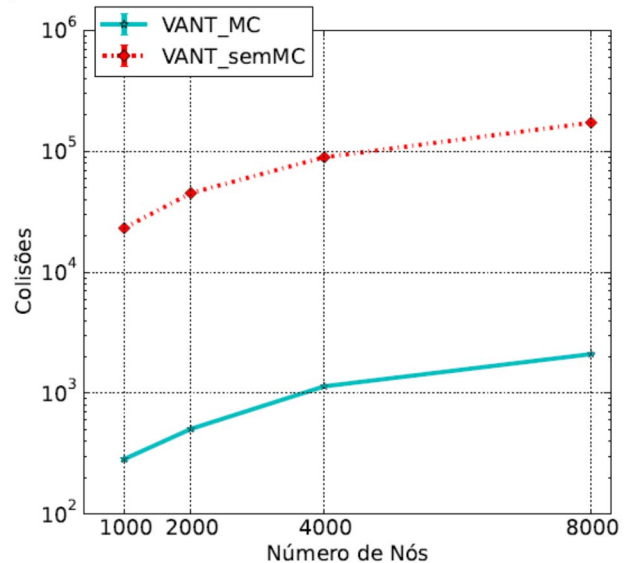


Figura 5. Colisões de mensagens na comunicação entre VANT e os medidores de energia.

O VANT envia mensagens de requisição para um determinado nó até sair de seu alcance, deste modo, a quantidade de transmissões é aumentada, consequentemente, aumenta o número de mensagens duplicadas, que pode ser visto na Fig. 6. Note que na utilização da técnica para prevenir colisões, as mensagens duplicadas são realmente menores.

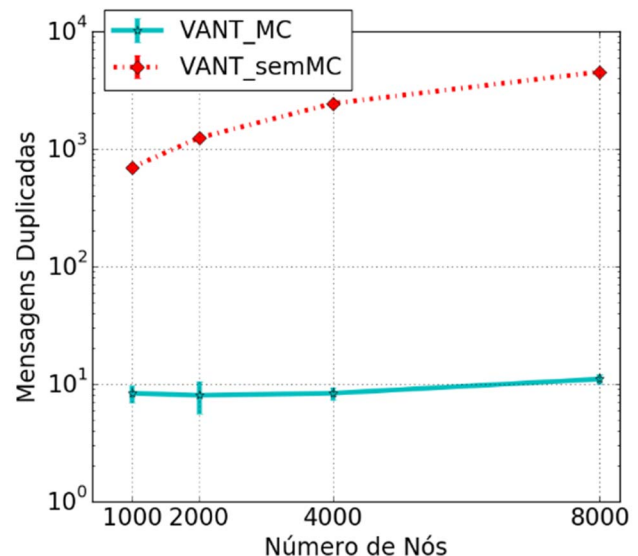


Figura 6. Mensagens duplicadas enviadas pelos medidores ao VANT.

A Fig. 7 mostra a taxa de cobertura utilizando a técnica de prevenção e sem o uso da técnica para reduzir a colisão. A taxa de cobertura significa quantas das leituras da zona de interesse foram bem sucedidas. Reduzimos as mensagens de



requisição transmitidas e ainda aumentamos a área de cobertura, usando o protocolo proposto. Quando a técnica de prevenção de colisões não é utilizada, ocorre uma perda significativa de mensagens e a cobertura atinge apenas 50%.

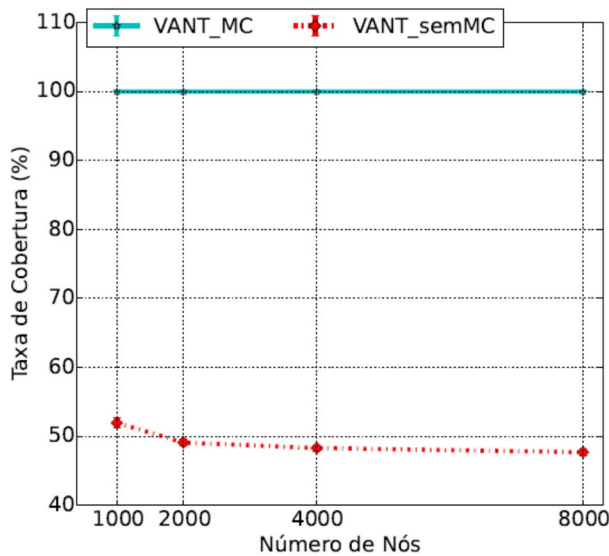


Figura 7. Taxa de sucesso de leituras na área de interesse.

Estes resultados mostram que o princípio de reduzir o domínio de transmissões, por meio do conceito de *slots*, integrado com o tempo aleatório das transmissões das mensagens de resposta, é o suficiente para reduzir as colisões de mensagens e tornar-se viável a comunicação entre o VANT e os medidores de energia.

## V. CONCLUSÃO

Os resultados mostram a redução de colisões de até 98% para as mensagens. Portanto, o protocolo mostra-se viável ao sistema AMR utilizando VANT. Para possíveis trabalhos futuros, a avaliação da nossa abordagem irá considerar cenários tridimensionais com diferentes densidades de medidores (por exemplo, centro da cidade com edifícios altos) e a cobertura da rede celular para gerenciar a tarefa do VANT em tempo real. Além disso, o planejamento do percurso do VANT com diferentes planos de voos será considerado na avaliação de desempenho.

## REFERÊNCIAS

- [1] T. Khalifa, K. Naik, and A. Nayak. A survey of communication protocols for automatic meter reading applications. *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, 13(2):168–182, Second 2011.
- [2] M. Bittner, H. Widmer, A. Pajot, G. Alberdi, H. Hohl, and G. Kmety. Energy project no 226369. *Technical report, funded by the European Commission, OPEN meter*, 2010.
- [3] Gurkan Tuna. Performance evaluations on uav-aided automated meter reading. *Int J Adv Robotic Sy*, 9(229), 2012.
- [4] 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.
- [5] B.A. Siddiqui, P. Pakonen, and P. Verho. Experience of communication problems in plc-based amr systems in finland. In *Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), 2014 IEEE PES*, pages 1–6, Oct 2014.

- [6] Kwang il Hwang, Doo Soon Park, Sang-Soo Yeo, and Jong Hyuk Park. Energy-efficient meter data aggregation protocol for (amr) automatic meter reading networks. In *Embedded and Multimedia Computing, 2009. EM-Com 2009. 4th International Conference on*, pages 1–6, Dec 2009.
- [7] S.Y. Tan and M. Moghavvemi. Pic-based automatic meter reading and control over the low voltage distribution network. In *Research and Development, 2002. SCORed 2002. Student Conference on*, pages 517–520, July 2002.
- [8] M.V. Shinde and P.W. Kulkarni. Automation of electricity billing process. In *Power, Automation and Communication (INPAC), 2014. International Conference on*, pages 18–22, Oct 2014.
- [9] Nhat-Quang Nhan, Minh-Thanh Vo, Tuan-Duc Nguyen, and Huu-Tue Huynh. Improving the performance of mobile data collecting systems for electricity meter reading using wireless sensor network. *Advanced Technologies for Communications (ATC), 2012 International Conference on*, vol., no., pp.241,246, 10-12 Oct. 2012.
- [10] F.G. da Costa, T. Braun, J. Ueyama, G. Pessin and F.S. Osório. Arquitetura baseada em Veículos Aéreos não Tripulados e redes de sensores para aplicações agrícolas. In *VIII Congresso Brasileiro de Agroinformatica (SBIAgro2011)*, 2011, Bento Gonçalves, RS.
- [11] T.D. Ho; J. Park; Shimamoto, S. QoS Constraint with prioritized frame selection CDMA MAC protocol for WSN employing UAV. *GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), 2010 IEEE*, vol., no., pp.1826,1830, 6-10 Dec. 2010.
- [12] Bodanese, J.P.; de Araujo, G.M.; Raffo, G.V.; Becker, L.B. RBESP: Reliable and best effort stack protocol for UAV collaboration with WSN. *Industrial Informatics (INDIN), 2014 12th IEEE International Conference on*, vol., no., pp.382,387, 27-30 July 2014.
- [13] Awdren L. Fontão Eduardo F. Nakamura Horácio A.B.F. Oliveira, Raimundo S. Barreto and Antonio A.F. Loureiro. 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 (SBRC 2010)*, pages 75–88, 2010.
- [14] Rong-Hou Wu, Yang-Han Lee, Hsien-Wei Tseng, Yih-Guang Jan, and Ming-Hsueh Chu-ang. Study of characteristics of rssi signal. In *Industrial Technology, 2008. ICIT 2008. IEEE International Conference on*, pages 1–3, April 2008.
- [15] L.A. Villas, D.L. Guidoni, and J. Ueyama. 3d localization in wireless sensor networks using unmanned aerial vehicle. In *Network Computing and Applications (NCA), 2013 12th IEEE International Symposium on*, pages 135–142, Aug 2013.
- [16] Rodrigues Torres Neto, Jose; Ludovico Guidoni, Daniel; Aparecido Villas, Leandro. A Lightweight Solution to perform Automatic Meter Reading using an Unmanned Aerial Vehicle. *Revista IEEE América Latina*, v. 13, p. 628-633, 2015.
- [17] Tyler Ward, Kirk Martinez, and Tim Chown. Simulated analysis of connectivity issues for sleeping sensor nodes in the internet of things. In *Proceedings of the 11th ACM symposium on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, & ubiquitous networks P. 101-108*, 2014.
- [18] Coutinho, R.; Boukerche, A.; Vieira, L.; Loureiro, A.; Transmission Power Control-based Opportunistic Routing for Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 17th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems Pages 219-226*, 2014
- [19] Chaves, A.; Sergio, P.; Jose, J.; Loureiro, A.; Adaptive search control applied to Search and Rescue operations using Unmanned Aerial Vehicles. *Revista IEEE América Latina*, v. 13, p. 628-633, 2014



**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.



**Roberto Sadao Yokoyama** é bacharel em Ciências da Computação pela Unesp, mestre e doutor em Ciências da Computação e Matemática Computacional pela USP, com período sanduíche na Politecnico di Torino. Atualmente é pós-doutorando no Instituto de Computação da UNICAMP.



**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 sanduiche.