

Análise do Impacto do Modelo de Mobilidade em Redes *Ad-hoc* Voadoras

Lucas Baptista, Fernanda G. O. Passos, Raphael Guerra, Carlos Malcher,
Natalia C. Fernandes, Dianne S. V. Medeiros

Resumo—A alta mobilidade dos drones facilita o acesso a locais remotos, tornando-os valiosos para diversas aplicações em cidades inteligentes. É comum que os drones colaborem entre si e se comuniquem por meio de Redes *Ad-hoc* Voadoras (*Flying Ad-hoc Networks* - FANETs) para coleta de dados. No entanto, a cobertura eficiente de uma área pode ser desafiadora devido à coordenação do movimento dos nós, que pode impactar diretamente o desempenho da comunicação. Este artigo avalia 3 modelos de mobilidade bem conhecidos e propõe adaptações que focam em aumentar a taxa de entrega de pacotes. Avalia-se o impacto de cada modelo no desempenho de uma FANET na qual se utiliza o AODV (*Ad-hoc On-demand Distance Vector*) como protocolo de roteamento. A avaliação comparativa é realizada através de simulações utilizando o Network Simulator 3. Os resultados mostram que nas FANETs cuja mobilidade pode ser representada pelos modelos adaptados, a taxa de entrega cresce em troca de um aumento no atraso.

Palavras-Chave—FANET, Drones, Mobilidade, Cidades Inteligentes.

Abstract—The high mobility of drones facilitates access to remote locations, making them valuable for various applications in smart cities. It is common for drones to collaborate with each other and communicate through *Flying Ad-hoc Networks* (FANETs) for data collection. However, efficiently covering an area can be challenging due to the coordination of node movement, which can directly impact communication performance. This article evaluates 3 well-known mobility models and proposes adaptations that focus on increasing the packet delivery rate. The impact of each model on the performance of a FANET using the *Ad-hoc On-demand Distance Vector* (AODV) routing protocol is evaluated. Comparative evaluation is carried out through simulations using Network Simulator 3. The results show that in FANETs where mobility can be represented by the adapted models, the delivery rate increases at the cost of increased delay.

Keywords—FANET, Drones, Mobility, Smart Cities.

I. INTRODUÇÃO

Um Veículo Aéreo Não Tripulado (*Unmanned Aerial Vehicle* - UAV), também conhecido como drone, é um equipamento que pode ser operado de forma autônoma ou remotamente por pessoas [1]. De acordo com características físicas e lógicas, os drones podem ser utilizados em diversas áreas e aplicações no contexto de cidades inteligentes, como serviços emergenciais e gerenciamento de desastres, monitoramento de tráfego e de público, coleta de dados, computação de borda, extensão de

conectividade de redes, mapeamento de regiões e inspeções de áreas de difícil acesso [2], [3].

Algumas das aplicações que utilizam drones requerem a comunicação entre eles para encaminhamento de dados, formando uma rede de drones denominada Rede *Ad hoc* Voadora (*Flying Ad hoc Network* - FANET). A FANET pode ser considerada uma variação das redes veiculares terrestres, mas que trazem novos desafios como a inserção de uma nova dimensão de movimentação no eixo da altura, velocidade e aceleração com maiores chances de variação, limitação do tempo de voo e menor capacidade de suporte de cargas. Além disso, a diversidade de aplicações gera requisitos de qualidade de serviço e de resiliência heterogêneos. A simulação de aplicações e novos protocolos propostos em diversos cenários é fundamental para otimizar as soluções antes da implementação real. Contudo, devido às características das FANETs, modelar a mobilidade dos nós e encontrar modelos de mobilidade representativos de cada aplicação é um desafio.

Este artigo tem como objetivo, portanto, examinar a influência do padrão de mobilidade dos drones no desempenho geral de uma FANET em um cenário de monitoramento de uma área para coleta de dados, que envolve a comunicação entre os drones e com estações terrestres. Diversos trabalhos na literatura avaliam o impacto de um determinado modelo para a cobertura de uma área física e para a conectividade entre os nós aéreos [4]. Entretanto, é necessário ir além e analisar o impacto da mobilidade representada por um modelo matemático sobre a qualidade da rede, incluindo não somente a comunicação entre drones, mas também a comunicação com estações terrestres. Neste artigo, a missão dos drones consiste em coletar dados em estações terrestres fixas de difícil acesso e sem conectividade com a infraestrutura de telecomunicações, e entregar esses dados para uma estação de controle terrestre fixa de fácil acesso e conectada à infraestrutura. Este tipo de cenário é particularmente interessante no contexto de cidades inteligentes, como é o caso de aplicações de monitoramento da defesa civil [5]. Nesse ambiente, são aplicados os modelos de mobilidade de Gauss-Markov (GM), *Manhattan Grid* (MH) e *Semi Random Circular Movement* (SRCM) para definir a movimentação dos drones. Adicionalmente, são propostas duas variações do MH e SRCM afim de reduzir ou evitar problemas de grafos desconexos na FANET.

Os impactos dos modelos de mobilidade no desempenho da rede são comparados no cenário simulado proposto. Os pacotes são roteados na FANET utilizando o protocolo *Ad hoc On-demand Distance Vector* - (AODV). São avaliadas medidas de desempenho relevantes em relação à qualidade de serviço (*Quality of Service* - QoS), como atraso, *jitter* e taxa

Lucas Baptista, Natalia Fernandes e Dianne Medeiros, Mídia-com/TET/PPGEET/UFF, Niterói-RJ, e-mails: lucasbaptista@midia.com.uff.br; {nataliacf,diannescherly}@id.uff.br; Fernanda G. O. Passos, DEETC, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal, e-mail: fernanda.passos@isel.pt; Raphael Guerra, IC/UFF, Niterói-RJ, e-mail: rguerra@id.uff.br; Carlos Malcher, GTECCOM/TET/UFF, Niterói-RJ, e-mail: camalcherbastos@id.uff.br.

de entrega de pacotes. A avaliação é feita utilizando o *Network Simulator* [6], em sua versão 3.39. Os resultados apontam que as modificações propostas realizadas nos modelos de mobilidade MH e SRCM permitem melhorar a taxa de entrega em pelo menos 27,1% no pior caso, ao custo de aumentar o atraso na entrega em no máximo 50 milissegundos.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Diversos trabalhos na literatura abordam análises e propostas de melhoria nos protocolos de roteamento clássicos para que se adequem melhor aos desafios apresentados pelas FANETs. Esses trabalhos costumam apresentar os modelos de mobilidade utilizados, além de parâmetros que impactam diretamente no funcionamento das FANETs.

Wheeb *et al.* [7] têm como principal objetivo apresentar os maiores desafios encontrados em FANETs, além de destacar os tipos de modelos de mobilidade e roteamento utilizados em diversos cenários. Os autores dividem os modelos de mobilidade em quatro principais grupos, sendo eles: mobilidade aleatória, mobilidade de grupo, mobilidade baseada em tempo e mobilidade com caminho planejado. Independente do tipo de modelo aplicado, os autores evidenciam características inerentes às FANETs, que tornam o roteamento uma tarefa complexa para esse tipo de rede. Entre essas dificuldades, a principal é a alta mobilidade dos nós, que resulta na mudança frequente da topologia da rede.

Huang *et al.* [8] analisam o comportamento de redes de drones celulares, utilizando modelos de mobilidades com padrões aleatórios. O principal modelo de mobilidade utilizado é o Brownian, no qual apenas um drone de serviço se movimenta em três dimensões e os outros drones são estáticos. Os autores mostram que o modelo de mobilidade utilizado permite aumento de velocidade do drone de serviço sem impactar negativamente as medidas de desempenho da rede.

Kumar *et al.* [9] discutem o desafio de se manter a qualidade da comunicação em redes de alta mobilidade, como FANETs. Os autores propõem um arcabouço de roteamento distribuído que foca na qualidade de serviço para maximizar o desempenho da rede. São utilizadas técnicas de combinação de redes neurais e lógica difusa para avaliar como a movimentação impactará a qualidade da rede e o atraso da comunicação.

Srivastava *et al.* [10] apresentam os tipos de comunicação utilizada por redes de drones. As principais abordagens passam pela comunicação ponto-a-ponto entre drones e via redes *ad-hoc*. Os autores também consideram os tipos de padrões de mobilidades já citados anteriormente em [7], mas adicionando um novo grupo, o de mobilidade baseada em topologia.

Apesar de avaliarem ou discutirem modelos de mobilidade para FANETs, os trabalhos relacionados não buscam discutir os impactos relacionados à qualidade de serviço devido às variações da movimentação dos nós e considerando um determinado protocolo de roteamento.

III. MODELOS DE MOBILIDADE PARA FANETS

Este trabalho avalia modelos de mobilidade que se encaixam em três grupos distintos: mobilidade aleatória, mobilidade dependente do tempo e mobilidade planejada [13], [7].

Os *modelos aleatórios* costumam ser facilmente implementados. Neles, a direção de movimento dos drones é escolhida aleatoriamente segundo uma distribuição probabilística. Neste trabalho, o representante dos modelos de mobilidade aleatória utilizado é o *Manhattan Grid* (MH) [11]. Nesse modelo, a área é dividida em formato de grade, sendo cada cruzamento entre arestas um ponto de decisão no qual o drone decide aleatoriamente a direção a ser seguida, representada nesse caso por uma aresta na grade. Esse modelo é comparado com o comportamento de carros em uma rodovia, onde em cada esquina podem tomar a decisão de qual caminho seguir. O modelo original consiste em um sistema de decisões sem memória, em que o veículo pode tomar direções repetidas em um curto período de tempo.

Os *modelos dependentes do tempo* tentam superar as mudanças abruptas de direções que podem afetar o percurso dos veículos, que ocorrem principalmente nos modelos aleatórios. Os modelos dependentes do tempo são determinados por equações matemáticas com diversos parâmetros, como tempo e posições anteriores [7]. O representante desse grupo de modelos utilizado neste trabalho é o de Gauss-Markov (GM) [12]. Esse modelo possui memória e variabilidade, de forma que a cada período de tempo, uma nova direção, sentido e variável gaussiana é atribuída ao nó, com base na sua posição anterior.

Nos *modelos de mobilidade planejada*, cada drone tem memória da posição que deve seguir ao longo de toda a missão. Esses modelos são adequados para ambientes conhecidos, nos quais a missão será feita periodicamente. O representante desse grupo adotado neste trabalho é o *Semi Random Circular Movement* (SRCM) [7], no qual os drones são posicionados em raios distintos e cada drone segue um movimento circular em um raio fixado. Após um período de tempo, o drone seleciona outro raio para seguir sua trajetória.

IV. MODELOS DE MOBILIDADE ADAPTADOS E CENÁRIO DE AVALIAÇÃO

Neste trabalho, são propostas duas adaptações: do modelo MH e do modelo SRCM. No modelo MH, os veículos podem ficar presos a uma única área da grade definida, prejudicando a cobertura total da área de interesse. A fim de evitar esse problema, propõe-se uma modificação do modelo original, o MH Adaptado (MH-A), no qual cada drone passa a ter memória dos seus últimos k pontos visitados, evitando-os nas próximas tomadas de decisão. O parâmetro k pode ser configurado e neste artigo o modelo é avaliado para $k = 5$. Já o modelo SRCM pode prejudicar o encaminhamento dos dados coletados devido à possibilidade de escolher qualquer raio para seguir o novo trajeto. Essa liberdade pode gerar desvios abruptos, que interrompem bruscamente o enlace com um drone antes vizinho. Assim, este artigo propõe uma adaptação do modelo SRCM, o SRCM-A, a fim de limitar a distância da trajetória atual que um drone pode se mover. A ideia é aumentar a chance de existir drones próximos aos pontos de coleta de dados. Para isso, dado que o drone se encontra na trajetória de raio r_i , há uma limitação de movimento que permite que o drone se mova apenas para as trajetórias adjacentes, de raios r_{i-1} ou r_{i+1} .

Neste artigo, considera-se uma aplicação em que drones coletam dados de dispositivos fixos na superfície terrestre e os encaminham para uma estação de controle fixa, através da FANET. Três tipos de nós compõem essa rede: (i) *Ground Control Station* (GCS), um nó estático que recebe os dados coletados; (ii) *Data Point* (DP), um nó estático que envia periodicamente pacotes de dados para a GCS; e (iii) os drones, nós móveis aéreos que se movem com velocidade constante, coletam informações dos DPs e encaminham para a GCS. O cenário define três tipos de comunicação: drone para drone (D2D), DP para drone (DP2D) e drone para GCS (D2GCS).

As simulações para o cenário definido são realizadas no *Network Simulator 3* (NS3), versão 3.39 [14]. Cada tipo de nó é devidamente configurado de forma a respeitar as limitações de suas características em um cenário real. Utiliza-se o modelo de propagação de Friis [15] para determinar o alcance de transmissão dos drones. Esse modelo é o mais recomendado para ambientes de propagação em espaço livre [10], como é o caso da FANET. A potência recebida (P_r) segundo o modelo de Friis é dada por $P_r = P_t G_t G_r \lambda^2 / (4\pi d)^2 L$, onde, P_t é a potência transmitida, G_t é o ganho de transmissão, G_r é o ganho de recepção, λ é o comprimento de onda do sinal transmitido e d é a distância entre o transmissor e o receptor. Assim, é estabelecida uma distância máxima de comunicação de $d^{(gcs)} = 1000$ metros para a GCS, $d^{(dp)} = 500$ metros para os DPs e $d^{(drone)} = 250$ metros para os drones. O protocolo de roteamento adotado é o AODV [16] por normalmente apresentar desempenho superior a protocolos de estado de enlace em redes dinâmicas [17].

Os nós se movimentam dentro de uma área de 1 km por 1 km. A GCS está localizada no centro da área e os DPs nos vértices da área. São avaliados cinco cenários distintos, que diferem de acordo com os modelos de mobilidade avaliados. Em todos os cenários os drones estão posicionados em uma altura fixa de 50 metros em relação à GCS. Os DPs estão configurados para que procurem drones a cada período dentro da sua área de influência, $d^{(dp)}$, e enviem 200 pacotes para o drone mais próximo. Neste trabalho, um período é igual a 30 segundos. Caso nenhum seja encontrado, esses pacotes entram em uma fila que possui tempo de vida de três períodos, portanto, caso após três períodos esses 200 pacotes não sejam enviados, os DPs irão descartá-los. Se após um período, no instante t_j , o DP buscar por drones em sua área e não encontrar, os pacotes são guardados na fila. Após mais um período, no instante t_{j+1} , caso um drone entre na área, o DP envia todos os pacotes do período atual, e também, os pacotes que estavam em sua fila. Os pacotes são enviados a uma taxa constante através de soquetes UDP com um intervalo de 0,05 segundos. No total, 10 períodos são contabilizados dentro da simulação e, portanto, são enviados 8.000 pacotes para os drones.

Os drones também possuem um período estabelecido para enviar os pacotes recebidos dos DPs, que é 20 segundos após serem obtidos. Caso o drone esteja dentro da área de cobertura da GCS, encaminhará os pacotes para a GCS. Caso contrário, o drone transmissor enviará os pacotes para um drone vizinho em direção à GCS conforme a tabela de roteamento. Caso o drone vizinho esteja fora do alcance estabelecido pela GCS,

TABELA I: Parâmetros utilizados na execução das simulações.

Área de Simulação	1000m x 1000m	Período de Envio Drones	20s
Nº de GCS	1	Velocidade Drones	5m/s
Nº de DPs	4	Altura Drones	50m
Nº de Drones	10 - 25	Intervalo de Envio de PKTs	0,05s
Alcance da GCS	1000m	Modelo de Propagação	Friis
Alcance dos DPs	500m	Protocolo de Rede	802.11b
Alcance dos Drones	250m	Protocolo de Roteamento	AODV
Período de Envio DPs	30s	Tempo de Simulação	370s

haverá comunicação D2D até que o pacote seja recebido por um drone que esteja no alcance da GCS e o envio seja feito por uma comunicação D2GCS.

A quantidade de DPs e de GCS é fixa em todos os cenários. Já a quantidade de drones varia entre 10 e 25, com um incremento de 5. Para cada quantidade de drones são realizadas 25 simulações para que se possa analisar as médias dos resultados com seus respectivos intervalos de confiança de 95%. As simulações são executadas em uma máquina com processador AMD Ryzen 5 2700 com 8 núcleos de CPU que operam em 3.2GHz, 16 GB de memória RAM e sistema operacional Ubuntu 20.04 LTS. Os parâmetros da simulação estão resumidos na Tabela I.

V. RESULTADOS

São avaliadas as seguintes medidas de desempenho: sobrecarga de controle (*overhead*), atraso fim-a-fim (*end-to-end* (E2E) *delay*), *jitter*, taxa de entrega de pacotes e quantidade absoluta de pacotes recebidos.

Existem duas categorias de pacotes presentes no cenário, os pacotes de dados e os pacotes de controle. Os pacotes de dados são representados pelos pacotes UDP. Já os pacotes de controle são compostos pelos pacotes ICMP, AODV, ARP e 802.11. Os pacotes ICMP são usados para diagnosticar problemas de comunicação. Os pacotes AODV representam mensagens de controle do protocolo de roteamento. Essas mensagens incluem solicitações de rota (*Route Request* – RREQ), erros de rota (*Route Error* – RERR) e respostas de rota (*Route Reply* – RREP). Os pacotes ARP são usados para mapeamento de endereços IP em endereços MAC. Por fim, os pacotes marcados como 802.11 são referentes ao padrão de comunicação utilizado nas camadas de enlace e física, que neste artigo é o IEEE 802.11b.

A Figura 1 mostra a média para cada tipo de pacote capturado em cada nó da rede, dados ou controle, em função do modelo de mobilidade utilizado, para todas as variações de quantidade de drones simulados. A proporção de pacotes de controle é sempre maior que a de pacotes de dados, independente do cenário, sendo que as quantidades de pacotes AODV e IEEE 802.11 são as mais representativas. A sobrecarga de controle para os modelos planejados, SRCM e SRCM-A, é significativamente maior do que para o movimento aleatório,

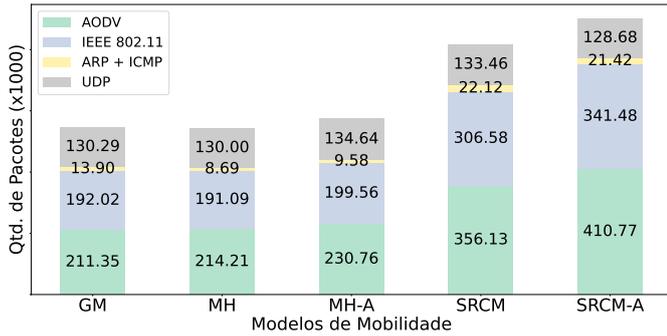


Fig. 1: Média de pacotes de dados e de controle capturados em função do modelo de mobilidade.

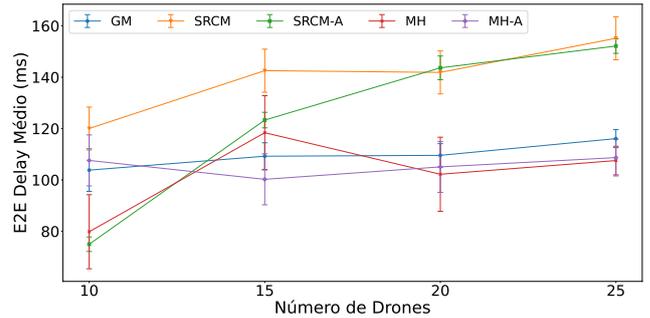
representado pelos modelos MH e MH-A, e do que o movimento dependente do tempo, GM. Já a quantidade de pacotes de dados permanece estável ao comparar os cinco padrões de movimentação. Isso acontece porque, com a mobilidade planejada, os drones estão mais próximos entre si, evitando casos onde os nós aéreos isolam-se e ficam incomunicáveis, gerando uma menor quantidade de pacotes de controle.

Na Figura 2a, observa-se o atraso fim-a-fim médio em função da quantidade de drones, considerando diferentes padrões de mobilidade. Os cenários regidos pelo modelo MH apresentam o menor atraso, com médias de 101 ms para MH e 105 ms para MH-A. O modelo de Gauss-Markov tem uma média de 109 ms. Os modelos de mobilidade planejada mostram os maiores atrasos médios, com 123 ms para SRCM-A e 139 ms para SRCM. Assim, os modelos aleatórios e dependentes do tempo destacam-se nessa medida em relação aos planejados.

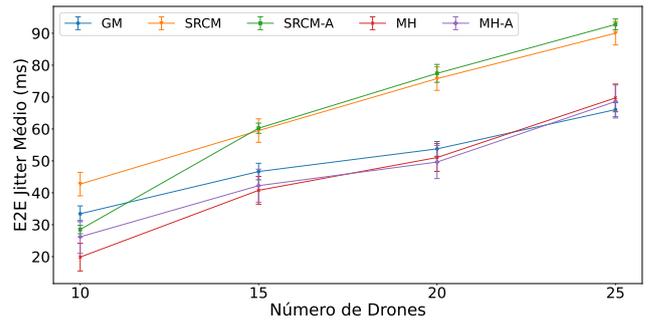
A movimentação SRCM-A apresenta um valor menor para o cenário de 10 drones, mas conforme a densidade da rede aumenta a média do atraso aumenta, alcançando 152 ms para o cenário de 25 drones. Esse aumento pode estar diretamente relacionado com o aumento na quantidade de pacotes de controle na rede, mantendo os nós ocupados com outros tipos de tráfegos e aumentando a latência para que o pacote seja processado e encaminhado ao destino. Outro possível fator que impacta é a competição pelo meio de transmissão.

A Figura 2b apresenta o resultado obtido para o *jitter* para todos os modelos de mobilidade em função da quantidade de drones. O *jitter* possui um comportamento de crescimento quase linear conforme aumenta-se a densidade da rede. Isso pode ser explicado devido aos nós possuírem tabelas de roteamento maiores. A quantidade de tráfego de controle é maior, e isso pode causar a variação de atraso na entrega dos pacotes. Outra possível explicação, é o fato de uma maior densidade de rede dificultar o acesso ao meio, fazendo com que mais pacotes colidam e tenham a necessidade de ser retransmitidos na camada de enlace. O *jitter* apresenta valor menor para o modelo MH quando o número de drones é 10 e valor máximo para o padrão SRCM-A com 25 drones, com valor de aproximadamente 92 ms.

A Figura 3 apresenta a taxa de recebimento de pacotes na estação rádio-base para cada um dos modelos de mobilidade em função do número de drones. A mobilidade planejada



(a) Atraso fim-a-fim médio.



(b) Jitter médio.

Fig. 2: Atraso e *jitter* em função da quantidade de drones.

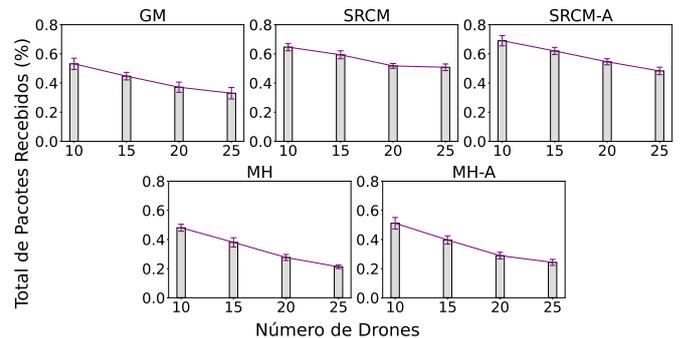


Fig. 3: Análise de perda de pacotes na estação rádio-base em função da quantidade de drones.

se destaca nesse aspecto, tanto para o SRCM, quanto para sua adaptação SRCM-A. A maior taxa de recebimento ocorre quando são simulados dez drones sob o modelo SRCM-A, chegando a 69,01%, enquanto o modelo SRCM alcança uma taxa de 64,62%, o MH-A 51,11%, o MH 48,05% e, por fim, o GM 53,16%. O modelo adaptativo, para o melhor caso, melhorou cerca de 4% para o SRCM, enquanto para o MH há uma melhora de 3%.

O recebimento de pacotes pela GCS pode ser afetado por dois fatores principais. Primeiro, a alta sobrecarga de controle pode tornar os nós indisponíveis para trafegar pacotes de dados, resultando no descarte de pacotes pelos drones que não possuem armazenamento ou enfileiramento. Segundo, o isolamento dos nós durante as simulações, em relação a sua posição, especialmente em modelos aleatórios e dependentes do tempo, pode impedir que os pacotes sejam encaminhados até seu destino final. Para confirmar essa segunda hipótese,

seria necessário analisar a cobertura da FANET e a posição dos nós ao longo do tempo, o que não está no escopo deste artigo. Um fator que reforça a primeira hipótese apresentada é que, em todos os tipos de modelo de mobilidade, o cenário com 10 drones possui a melhor taxa de recebimento de pacotes na estação rádio-base, uma vez que conforme aumenta a densidade de rede, maior o nível de *overhead* para o cenário projetado. Nota-se, portanto, que a sobrecarga de pacotes de controle afeta negativamente a taxa de entrega de pacotes.

A Figura 4 mostra a taxa de pacotes recebidos pela GCS no cenário do modelo de mobilidade SRCM-A, que apresenta o melhor resultado de entrega de pacotes de acordo com a Figura 3. A quantidade de pacotes enviados pelos DPs possui uma média de 7.950, sendo bem próximo dos 8.000 esperados no cenário. A média está abaixo de 8.000 porque podem existir pacotes na fila, aguardando a aproximação dos drones, ou que foram descartados após três períodos de tentativa de envio, conforme especificado na Seção IV. A quantidade de pacotes que os drones enviam para a GCS, recebidos pelos DPs, é em média de 6.880,30. Essa diferença já representa uma queda de 13,46% dos pacotes que chegaram a ser enviados pelos DPs através do fluxo DP2D. Para a última etapa de comunicação, D2GCS, a média de pacotes recebidos cai para 4.677,35, expondo o maior gargalo de comunicação de toda a aplicação. Essa queda é representada percentualmente por 32,02%, quando é observada apenas a quantidade de pacotes que os drones enviaram para a GCS, e 41,16% quando comparado com o total de pacotes enviados pelo fluxo DP2D.

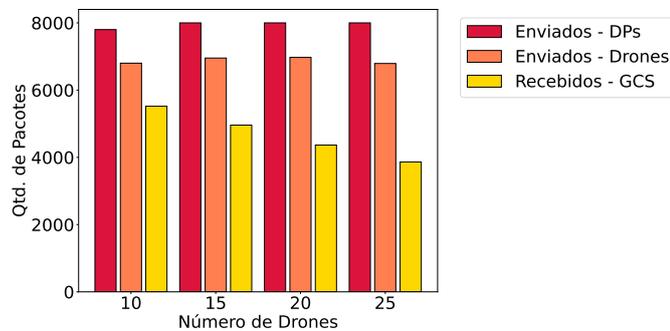


Fig. 4: Análise de perda de pacote por tipo de nó para o modelo SRCM-A.

Apesar de todos os modelos de mobilidade apresentarem uma queda de recebimento de pacotes na estação rádio-base significativa, o modelo planejado se destaca por apresentar uma maior confiabilidade na entrega dos dados que precisam ser coletados nos DPs.

VI. CONCLUSÃO

Este artigo avaliou o impacto da mobilidade dos drones no desempenho de uma FANET e propôs modificações em modelos já existentes. Foram avaliados modelos de mobilidade aleatória, dependente do tempo e planejados, considerando uma aplicação em que os drones coletam dados de um ponto de dados fixo e entregam esses dados em uma estação de controle fixa. As medidas de desempenho verificadas foram a sobrecarga de controle, atraso médio fim-a-fim, *jitter* e taxa

de entrega de pacotes. A melhor taxa de entrega de pacotes foi obtida para o modelo SRCM-A. Contudo, esse modelo apresentou os piores resultados para o atraso, o *jitter* e a sobrecarga de controle. Isso pode ser justificado ao verificar que o tráfego na rede que segue o modelo de mobilidade planejada é maior comparado aos outros, o que pode levar a uma maior sobrecarga dos drones e, conseqüentemente, aumentar o atraso e o *jitter*. Ademais, uma maior quantidade de dados trafegando pode gerar uma maior sobrecarga de controle para que as rotas possam ser encontradas e os pacotes possam ser encaminhados salto a salto. Como trabalhos futuros, vislumbra-se analisar os principais pontos de gargalo para entrega de pacotes na FANET, e avaliar outros tipos de aplicações.

REFERÊNCIAS

- [1] Khan, Muhammad Asghar, et al. "Drones for good in smart cities: A review." Proc. Int. Conf. Elect., Electron., Comput., Commun., Mech. Comput.(EECCMC). 2018.
- [2] Alsamhi, Saeed H., et al. "Survey on collaborative smart drones and internet of things for improving smartness of smart cities." IEEE Access 7 (2019): 128125-128152.
- [3] Hassanalian, Mostafa, and Abdessattar Abdelkefi. "Classifications, applications, and design challenges of drones: A review." Progress in Aerospace sciences 91 (2017): 99-131.
- [4] Tosun, Mustafa, et al. "On connectivity-aware distributed mobility models for area coverage in drone networks." Trends in Data Engineering Methods for Intelligent Systems: Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering (ICAAME 2020). Springer International Publishing, 2021.
- [5] Passos, Diego, et al. "DroNit Project: Improving Drone Usage for Civil Defense Applications." International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering, and Knowledge Management. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022.
- [6] Carneiro, Gustavo. "NS-3: Network simulator 3." UTM lab meeting April. Vol. 20. No. 1. 2010.
- [7] Wheeb, Ali H., et al. "Topology-based routing protocols and mobility models for flying ad hoc networks: A contemporary review and future research directions." Drones 6.1 (2021): 9.
- [8] Huang, Jiayi, et al. "Drone mobile networks: Performance analysis under 3d tractable mobility models." IEEE Access 9 (2021): 90555-90567.
- [9] Kumar, Kirshna, et al. "Drone assisted flying ad hoc networks: Mobility and service oriented modeling using neuro-fuzzy." Ad Hoc Networks 106 (2020): 102242.
- [10] Srivastava, Ashish, and Jay Prakash. "Future FANET with application and enabling techniques: Anatomization and sustainability issues." Computer science review 39 (2021): 100359.
- [11] F. Betti Sorbelli, C. M. Pinotti and G. Rigoni, "On the Evaluation of a Drone-Based Delivery System on a Mixed Euclidean-Manhattan Grid," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 24, no. 1, pp. 1276-1287, Jan. 2023, doi: 10.1109/TITS.2022.3189948.
- [12] Ariyakhajorn, Jinthana, Pattana Wannawilai, and Chanboon Sathitwiriawong. "A comparative study of random waypoint and gauss-markov mobility models in the performance evaluation of manet." 2006 International Symposium on Communications and Information Technologies. IEEE, 2006.
- [13] Chriki, Amira, et al. "FANET: Communication, mobility models and security issues." Computer Networks 163 (2019): 106877.
- [14] Riley, George F., and Thomas R. Henderson. "The ns-3 network simulator." Modeling and tools for network simulation. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. 15-34.
- [15] Friis, Harald T. "A note on a simple transmission formula." Proceedings of the IRE 34.5 (1946): 254-256.
- [16] Chakeres, Ian D., and Elizabeth M. Belding-Royer. "AODV routing protocol implementation design." 24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2004. Proceedings.. IEEE, 2004.
- [17] Ahmed, Salma Badawi Mohammed, et al. "Performance Evaluation of FANET Routing Protocols in Disaster Scenarios." 2021 IEEE Symposium On Future Telecommunication Technologies (SOFTT). IEEE, 2021.