

Redes Móveis Ad Hoc Aplicadas a Cenários Militares

Ivana Cardial de Miranda Pereira, *CASNAV/UFRJ* e Aloysio de Castro P. Pedroza, *UFRJ*

Abstract-- Military applications represent a classical example of mobile ad hoc wireless networks. In this work we evaluate three routing protocols for ad hoc networks (AODV, DSR and DSDV) employing a realistic scenario modeled after a battlefield operation. In these models, we seek to follow closely the specific characteristics of real operations, where groups of nodes move according to pre-determined orders, in a rigid hierarchical structure, and act cooperatively to reach a common objective. A detailed simulation model is used in order to study good ways to establish these networks.

Index Terms-- Military applications; Ad hoc mobile networks; Routing protocols; Mobility models

I. INTRODUÇÃO

Uma rede *ad hoc* é um conjunto de nós móveis sem fio, que são capazes de se comunicar diretamente entre si, formando dinamicamente uma rede temporária, sem o uso de qualquer ponto de acesso centralizado ou estação de suporte à mobilidade. Neste tipo de rede, os nós funcionam como roteadores, sendo capazes de descobrir e manter rotas para outros nós da rede; e como *hosts*, rodando aplicações dos usuários.

Em razão da mobilidade dos nós, as redes *ad hoc* apresentam uma topologia dinâmica, isto é, mudam frequentemente e de forma imprevisível, influenciando fortemente nas características da rede, tornando, assim, o roteamento em redes *ad hoc* um grande desafio.

Neste artigo nós nos concentramos em avaliar como os protocolos de roteamento de redes *ad hoc* se comportam em um contexto mais específico, representado por um cenário realístico, diferenciando-se de comparações anteriores [11,12,13] onde os movimentos dos nós eram puramente aleatórios. Para isto desenvolvemos e simulamos um cenário que retrata uma operação militar típica. Nosso objetivo é buscar as condições que melhor se adéquem a este tipo de cenário ou a outros com características similares. Para isto, foi proposta uma solução para melhorar os resultados obtidos.

Aplicações militares representam um exemplo clássico de utilização de redes *ad hoc*. Estas aplicações se caracterizam pelo fato de seus nós se moverem em grupo [10], com padrões

de tráfego que obedecem a uma cadeia hierárquica rígida e com aleatoriedade de movimentos controlada, obedecendo a um padrão de movimentação pré-determinado, já que os grupos devem buscar, de forma cooperativa, alcançar um determinado objetivo comum.

Os protocolos de roteamento DSDV, AODV e DSR foram selecionados para análise neste trabalho. O AODV e o DSR foram escolhidos pela sua importância e porque eles mostraram os melhores resultados em [11,12,13] e o DSDV é um protocolo pró-ativo e foi incluído para ilustrar a diferença de comportamento entre protocolos por demanda e protocolos pró-ativos.

Este trabalho foi dividido da seguinte forma: na seção II é apresentada uma breve introdução sobre protocolos de roteamento em redes *ad hoc*, onde os protocolos selecionados para análise são descritos de forma sucinta; na seção III apresenta a descrição do cenário desenvolvido para este trabalho; as características da simulação são descritas na seção IV; os resultados são apresentados na seção V; finalmente, a seção VI conclui o trabalho.

II. PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO EM REDES AD HOC

A. Dynamic Source Routing - DSR

O DSR [1] é um protocolo de roteamento reativo que usa roteamento na fonte para entregar pacotes de dados, ou seja, o nó origem determina toda a sequência de nós por onde passará o pacote até chegar ao seu destino e os cabeçalhos dos pacotes de dados carregam esta sequência de nós. Cada nó mantém um *cache*, onde todas as suas rotas conhecidas são armazenadas. O DSR permite que cada nó mantenha múltiplas rotas para o mesmo destino. O DSR consiste de dois mecanismos: descoberta de rotas e manutenção de rotas.

Quando um nó precisa enviar um pacote para outro nó, o nó de origem verifica se possui uma rota para o nó de destino em seu *cache*. Caso a rota não exista, inicia um processo de descoberta de rotas para encontrar dinamicamente uma rota para o destino. O mecanismo de descoberta de rotas do DSR consiste em inundar a rede com pacotes *Route Request* (RREQ). Quando um nó recebe este pacote, verifica no seu *cache* se tem uma rota para o destino requisitado. Se o nó conhecer uma rota, envia para a origem um pacote *Route Reply* (RREP), que contém uma lista com a sequência de todos os nós até o destino. Caso o nó não tenha uma rota para

Ivana Cardial de Miranda faz parte do Grupo de Teleinformática e Automação da COPPE-UFRJ e é analista de sistemas do centro de Análise de Sistemas Navais – Marinha do Brasil (ivana@gtu.ufrj.br)

Aloysio de Castro P. Pedroza é professor da COPPE-UFRJ e faz parte do Grupo de Teleinformática e Automação (alloysio@gtu.ufrj.br)

o destino, encaminha um pacote RREQ por *broadcast* para os seus vizinhos, após ter inserido seu próprio endereço no registro de rotas armazenado no pacote.

No mecanismo de manutenção de rotas, o nó origem detecta se ocorreram alterações na topologia da rede que poderão comprometer o uso das rotas. Desta forma, se um nó percebe algum problema de comunicação com o nó vizinho, envia um pacote *Route Error* (RERR) de volta para o nó de origem.

B. Destination Sequenced Distance Vector

O DSDV [2] é um protocolo de roteamento pró-ativo, baseado em vetor de distâncias, que trabalha requisitando periodicamente de cada um dos nós vizinhos suas tabelas de roteamento com a finalidade de manter suas tabelas atualizadas. Cada nó da rede mantém uma tabela de roteamento que contém o próximo salto e o número de saltos para alcançar o destino. As tabelas mantêm rotas para todos os nós da rede, mesmo que nunca seja necessário enviar pacote para este nó. Cada nó mantém apenas uma rota para cada destino.

A vantagem principal do DSDV sobre os protocolos baseados em vetor de distâncias tradicionais é que eles garantem ausência de *loops*, usando o conceito de número de sequência mantidos em cada destino, para indicar qual a rota mais recente. As rotas mais recentes possuem um número de sequência maior e são as mais favoráveis. Caso os números de sequência sejam iguais, a rota que tiver a menor distância será a mais favorável. Os loops de rotas podem ocorrer quando informações de roteamento incorretas são mantidas na rede após uma troca de topologia. O DSDV inicia um processo de atualização de rota periodicamente ou quando a topologia da rede muda.

C. Ad Hoc On Demand Distance Vector

O AODV [3] é um protocolo reativo, que é uma combinação do DSR e o DSDV.

Assim como o DSR, o AODV é baseado em demanda, ou seja, descobre rotas somente quando necessário e utiliza os mecanismos de descoberta de rotas e manutenção de rotas. Entretanto o AODV utiliza a característica do DSDV de manter tabelas de roteamento tradicionais de uma entrada para cada destino, diferentemente do DSR que permite múltiplas rotas para cada destino. Pode ser considerado como uma versão melhorada do DSDV, já que seu funcionamento baseado em demanda minimiza o número de inundações da rede, exigido para criação de rotas.

O AODV utiliza mensagens *hello* para atestar a conectividade de um nó. Se um nó não recebe mensagens *hello* de um vizinho para qual envia tráfego, é considerado que o nó se moveu e esta conexão é considerada interrompida. Neste caso o nó avisa a todos os nós que dependiam desta conexão, através de uma requisição não solicitada de rotas

contendo uma métrica infinita para aquele destino, que o mesmo não está mais disponível.

III. DESCRIÇÃO DO CENÁRIO

Neste trabalho é apresentado um padrão de comunicação em uma ação de oportunidade, constituída de assalto e tomada de posição inimiga. Este tipo de ação caracteriza-se pela necessidade de um alto nível de coordenação entre os grupos e por não se esperar forte reação por parte do inimigo, devido ao efeito do elemento surpresa.

O cenário proposto (Figura 1) representa um pelotão de infantaria em operação militar composto de 35 participantes, cada qual com seus comunicadores pessoais dotados da capacidade de formação de uma rede *ad hoc*. Este pelotão está dividido em 8 grupos de combate, cada um com 4 elementos; 2 observadores que ocupam uma posição avançada em relação aos outros grupos, e que têm como missão mantê-los informados da situação e das posições ocupadas pela força inimiga, quando houver; e uma central de comando, operando no interior de um veículo (carro de combate, caminhão, etc).

Os grupos ocupam posições estratégicas para que possam alcançar, de forma cooperativa, um determinado ponto objetivo neste cenário, com a finalidade de cumprir uma determinada tarefa. O padrão de tráfego empregado neste cenário consiste no envio de ordens e missões pela central de comando, seguido da mensagem de reconhecimento do grupo de combate que recebe a missão. Outro tipo usual de comunicação é o envio de informações por parte dos grupos de combate à central de comando, trazendo informes acerca do campo de batalha.

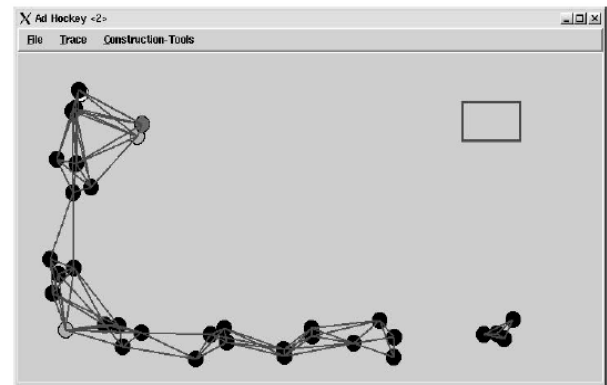


Figura 1 – Cenário Militar

As características deste cenário incluem diversos particionamentos na rede causados pelo próprio comportamento da movimentação em grupo dos nós móveis, acarretando, a cada momento, diferentes situações de conectividade dos nós. A escolha de todos os parâmetros de mobilidade e tráfego para este cenário teve como objetivo uma maior aproximação da aplicação real.

IV. MODELO DE SIMULAÇÃO

Para as simulações foi utilizado o simulador de rede *{ns-2}* [4].

Este simulador foi desenvolvido pela Universidade da Califórnia em Berkeley e pelo projeto VINT. Posteriormente, *Monarch Research Group* [5] da CMU (*Carnegie Mellon University*) desenvolveu extensões para fornecer suporte a simulações para redes sem-fio completas que modela o padrão IEEE 802.11 na camada física, camada de enlace e camada MAC usando o modo DCF (*Distributed Coordination Function*).

Antes de transmitir pacotes de dados *unicast*, O DCF do 802.11 reserva o meio através de pacotes de controle *Request-to-Send* (RTS) e *Clear-to-Send* (CTS) para reduzir a probabilidade de colisões decorrentes do problema de "terminais escondidos". A transmissão dos pacotes de dados é seguida de uma confirmação (ACK) enviada pelo receptor para o emissor.

Para especificação deste cenário foi usado o gerador de cenários de mobilidade ScenGen [6], que gera uma saída configurada para o uso do simulador de rede *ns-2*.

Para a área de simulação utilizou-se um campo retangular de 2000x1000m com a seguinte distribuição dos nós: 8 grupos formados por 4 nós cada grupo, 1 grupo formado por 2 nós e um nó montado em um veículo. Cada nó tem um raio de alcance de 250 metros. O tempo de simulação foi de 500 segundos, que é o tempo em média que os grupos levariam para alcançar o ponto-objetivo.

As métricas utilizadas para comparar o desempenho dos protocolos foram:

- Fração de entrega de pacotes - razão entre o número de pacotes entregues para o destino e o número de pacotes gerados pela aplicação na fonte;
- Atraso de pacotes de dados - inclui todos os possíveis atrasos causados pela latência da descoberta de rotas, propagação, atrasos devido a retransmissões do MAC e tempos de transferência;
- Número de pacotes de roteamento - foram medidos o número de pacotes de roteamento.
- Número de pacotes entregues - foram medidos o número de pacotes de dados entregues para o destino.

A. Modelo de Mobilidade

Os modelos de mobilidade buscam representar o comportamento da movimentação dos dispositivos móveis em uma rede *ad hoc* e podem ser classificados de duas formas: os modelos de mobilidade individual (entidade), que servem para representar o comportamento de movimentação dos nós móveis de forma independente do restante dos nós móveis da rede; e os modelos de mobilidade em grupo, que representam o movimento de um grupo de nós móveis cujos movimentos de cada nó é dependente do movimento dos outros nós.

O desempenho de um protocolo em redes *ad hoc* pode variar significativamente de acordo com a utilização de diferentes modelos de mobilidade [7]. Portanto, é extremamente importante a escolha adequada de um modelo de mobilidade que represente realisticamente o comportamento dos nós móveis no cenário utilizado. Existem diversos modelos de mobilidade que foram propostos para avaliar o desempenho dos algoritmos de roteamento em redes

ad hoc. Os modelos de mobilidade individual são os mais utilizados na literatura, devido às suas características de modelagem mais simples e fácil implementação. Porém, estes modelos restringem-se a comportamentos de movimentação específicos, que, muitas vezes, se afastam demais da realidade [8].

Com a proposta de avaliar o impacto da mobilidade no funcionamento dos protocolos de roteamento para redes *ad hoc*, foi desenvolvido neste trabalho um padrão de movimentação que busca se aproximar das características de um possível cenário militar real. Por meio desse padrão evitou-se mudanças bruscas de direção, permitindo-se que os movimentos sejam feitos na mesma direção, com velocidades distribuídas uniformemente entre uma velocidade mínima e uma velocidade máxima e com intervalos de pausa no movimento também distribuídos uniformemente entre um tempo de pausa mínimo e um tempo de pausa máximo. Desta forma, tenta-se retratar com uma maior aproximação o movimento real dos usuários no cenário proposto.

Para atender às restrições de mobilidade do cenário foi desenvolvido um novo modelo de mobilidade para ser incluído no *ScenGen*, denominado *Mixed Waypoint*. Neste modelo, o nó parte de um ponto de origem pré-especificado, e se move para um ponto de destino, selecionado aleatoriamente no interior de uma sub-área escolhida dentro da área de simulação. Dessa forma, todos os grupos partirão na mesma direção, mas alcançarão pontos distintos, restritos ao limite de uma pequena área. Foram considerados dois tipos de movimento para este cenário: o movimento individual dos membros de cada grupo relativo ao centro do grupo e o movimento do grupo como um todo, aplicando-se o modelo de movimentação ao centro do grupo. Foram utilizados como base os modelos *Random Waypoint* [7], e *Mixed Waypoint*, respectivamente, para modelar os dois movimentos citados acima.

O modelo *Random Waypoint* divide o percurso de um nó móvel (NM) em períodos de movimentação e estabelece uma pausa. Inicialmente, o nó móvel fica parado por determinado intervalo de tempo e, então, move-se para uma posição escolhida aleatoriamente com uma velocidade que segue uma distribuição uniforme entre a velocidade mínima e a velocidade máxima. O modelo *Mixed Waypoint* é uma adaptação do modelo *Reference Point Group Mobility* (RPGM) [9], que representa o movimento aleatório de um grupo de NM, bem como o movimento dos próprios NM dentro do grupo. O movimento dos grupos é baseado no trajeto de um ponto de referência lógico (centro) do grupo. Este ponto de referência é utilizado para se calcular o movimento aleatório de cada NM. Neste trabalho, todos os NM de um grupo possuem apenas um ponto de referência, de maneira a se preservar a integridade do movimento em grupo na direção geral do objetivo militar conjunto.

Os NM que formam os grupos e os que representam os esclarecedores movem-se com uma velocidade que segue uma distribuição uniforme entre o intervalo de 0 a 2m/s e um tempo de pausa distribuído uniformemente entre o intervalo

de 0 a 5 segundos. O nó que está montado no veículo move-se com velocidade média de 3m/s. Os grupos se movimentam com velocidade média de 2m/s em direção a um determinado ponto (objetivo militar).

B. Modelo de Tráfego

Para esta simulação, o tráfego foi gerado por 10 fontes *Constant Bit Rate* (CBR) - posicionadas na central de comando. Além disso, cada um dos 8 grupos móveis e os esclarecedores possuem uma fonte adicional. O tamanho dos pacotes é de 512 *bytes*, a taxa de envio de pacotes de 4 pacotes/segundo e os enlaces operam à taxa nominal de 11Mb/s.

Para obter uma comparação justa entre os protocolos, optou-se por utilizar fontes CBR, ao invés de TCP, já que o TCP possui um mecanismo de controle de congestionamento, o que acarretaria em condições de desigualdade para avaliação desses protocolos.

O modelo de tráfego foi implementado de forma a selecionar aleatoriamente um nó-líder entre os participantes de cada grupo, representando o comandante do grupo de combate. Cada um destes nós-líderes será o responsável pela comunicação de seu grupo com a central de comando. Todas as conexões iniciam em tempos uniformemente distribuídos entre 0 e 180 segundos.

V. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

O resumo dos resultados obtido nas simulações para cada protocolo no cenário proposto são apresentados na Tabela 1 (valores médios).

MÉTRICAS	DSDV	AODV	DSR
Taxa Média de Entrega	86,05%	96,35%	96,60%
Atraso Médio (seg)	0,0308	0,0379	0,0567
Pacotes de Roteamento	2595	3207	1811
Pacotes Entregues	30566	34223	34355

Tabela 1: Resultados com o cenário proposto

Observamos que os protocolos reativos AODV e DSR apresentaram taxa de entrega de pacotes similares e entregaram em média 10% mais pacotes que o protocolo pró-ativo DSDV. O motivo principal dos descartes ocorridos no DSR e no AODV foi a falta de rotas para alguns destinos, ocasionados por particionamentos na rede.

O DSDV descartou 44% dos pacotes de dados enviados por "quebra de enlace", enquanto o AODV descartou 5%. O DSR não descartou por "quebra de enlace", já que utiliza a política de "salvamento" de pacotes, que significa que um nó, ao encontrar o próximo salto da sua rota inalcançável, pode buscar em seu *cache* uma rota alternativa para este destino. O DSDV descartou 50% dos pacotes na fila de roteamento, pois sua implementação restringe a 5 pacotes aguardando na fila de roteamento por uma rota para um destino. O DSDV por apresentar operação pró-ativa descarta o pacote quando não possui em sua tabela rota para o destino desejado, enquanto que o DSR e o AODV tentam buscar estas rotas inundando a

rede com pacotes de questionamentos (RREQ).

A partir de 190 segundos de simulação, as rotas utilizadas pelos protocolos por demanda já foram estabelecidas e se apresentam estabilizadas, já que os nós estão se aproximando, e com isto a taxa de entrega tende a atingir 100%, sendo que o DSDV não consegue atingir este valor (Figura 2).

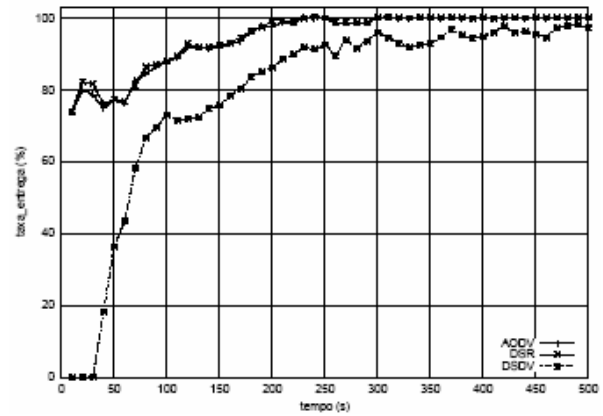


Figura 2 – Taxa de Entrega de Pacotes

O DSDV e o AODV apresentaram o melhor desempenho em relação à métrica de atraso (Figura 3), já que o DSR, como tem múltiplas rotas para o mesmo destino, pode enviar pacotes por rotas antigas armazenadas no seu *cache*, que não são mais válidas.

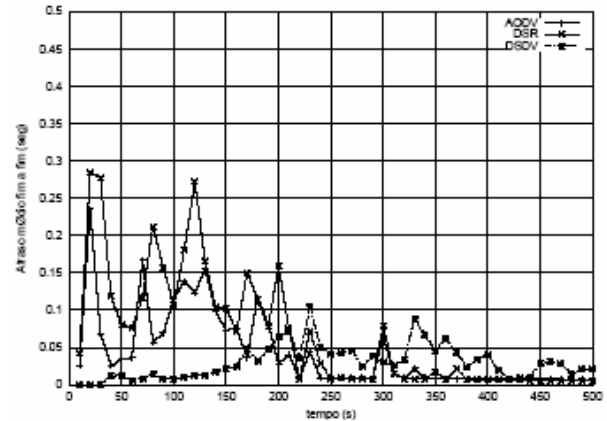


Figura 3 - Média de Atraso dos Pacotes

O AODV gerou mais pacotes de roteamento do que o DSR (Figura 4), embora os dois operem por demanda. Analisando-se os resultados, verifica-se que o AODV inicia em média 126 descobertas de rota em 500 segundos de simulação, o que resultou na transmissão de 2951 pacotes de *Route Request*. O DSR limita a propagação de pacotes *Route Request* na rede por meio de sua política de aprendizado de rotas, que inclui escuta promíscua, armazenamento de rotas dos pacotes que são encaminhados pelo nó e o procedimento de questionar primeiramente os nós vizinhos para obter uma rota desejada. Por outro lado o DSR gera mais pacotes de erro (RERR) do que o AODV, causados pela utilização de rotas do seu *cache* que não são mais válidas. Embora o DSDV exija trocas periódicas de tabelas de roteamento, com a finalidade de manter suas tabelas atualizadas, esse protocolo gerou número de pacotes, roteamento inferiores ao AODV, já que não utiliza pacotes de requisição de rotas, que são específicos dos protocolos que operam por demanda.

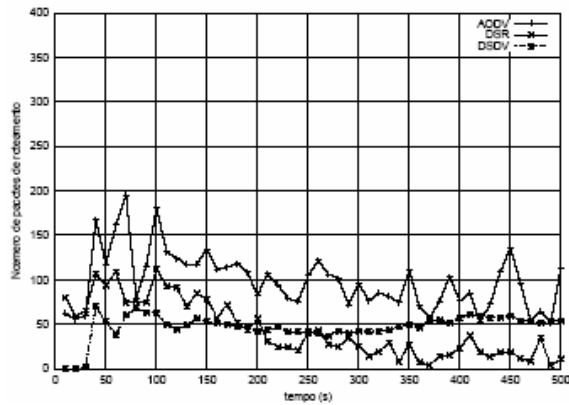


Figura 4 - Número de Pacotes de Roteamento

Observou-se que grande parte dos descartes que ocorrem nesta rede é motivado por particionamentos ocasionais da rede, já que a movimentação em grupo restringe os movimentos dos nós, facilitando assim este tipo de ocorrência. Na tentativa de solucionar este problema, repetimos a simulação anterior variando o alcance dos transmissores, e com isto, obtivemos um resultado mais adequado à eficácia exigida para este tipo de aplicação. Foram realizadas simulações usando o alcance dos transmissores de 250, 300, 350, 400, 450 e 500 metros e os resultados estão apresentados nos gráficos Figuras 5, 6 e 7. O resumo dos resultados obtidos nas simulações, para cada protocolo é apresentado nas Tabelas 2, 3 e 4.

As curvas da figura 5 apresentam um comportamento previsível, pois podemos verificar que a taxa de entrega de pacotes cresce com o aumento do alcance dos transmissores, sendo que os protocolos por demanda (AODV e DSR) estabilizam seus valores com alcance de 300 metros. Com o DSDV a taxa sofre um aumento significativo no intervalo de 250 a 350 metros, porém atinge valores inferiores aos dos outros protocolos. Há uma clara diminuição no número de pacotes de dados perdidos com o aumento do alcance.

No gráfico da figura 6 percebemos no intervalo de 250 a 300 metros, que o DSR apresenta um atraso bem maior que o AODV para entregar a mesma quantidade de pacotes de dados. Estas diferenças de atrasos vão diminuindo, e a partir de 400 metros o DSR começa a apresentar um atraso menor que o AODV.

Os gráficos da figura 6 e 7 apresentam um conjunto de observações muito interessantes. O AODV apresenta atraso dos pacotes maiores e aumento da quantidade de pacotes de roteamento que trafega na rede com alcance a partir de 450 metros. Podemos observar que o número de saltos das rotas diminui sensivelmente com o aumento do alcance dos nós. Com um alcance de 250 metros o tamanho médio das rotas é de 3 saltos. Ao se aumentar o alcance dos nós, este número diminui gradualmente em média até 1 salto. Observa-se que com a mobilidade, esses nós saem facilmente da área de alcance, invalidando estas rotas, obrigando o AODV a iniciar novas descoberta de rotas. Este problema também afeta o DSDV que apresenta maiores atrasos neste intervalo. O DSR contorna este problema utilizando suas rotas alternativas. O número de pacotes de roteamento gerados pelos protocolos de

demanda diminui consideravelmente com o aumento do alcance dos transmissores até o alcance de 400 metros como mostra Figura 7, sendo que o DSDV sofre leves alterações com a variação do alcance, já que suas tabelas de roteamento atualizam-se periodicamente.

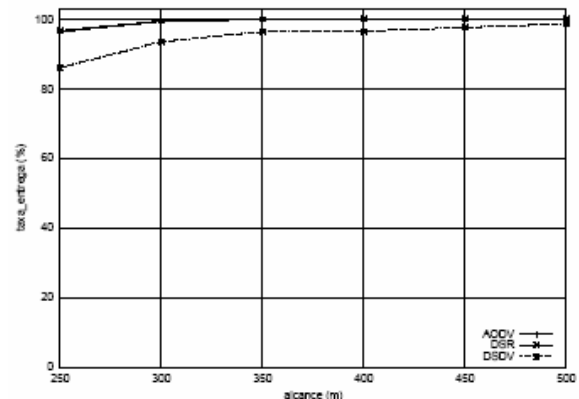


Figura 5 - Taxa de Entrega dos Pacotes

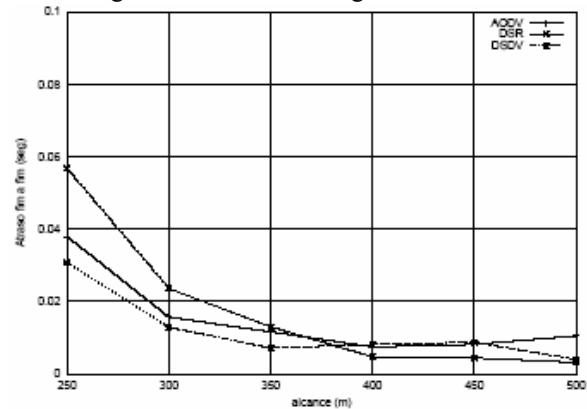


Figura 6 - Média de Atraso dos Pacotes

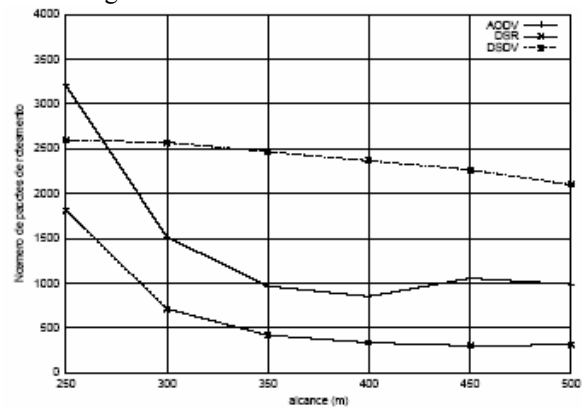


Figura 7 - Número de Pacotes de Roteamento

MÉTRICAS	300 m	350 m	400 m	450 m	500 m
Taxa Média de Entrega	99,36%	99,88%	99,94%	99,95%	99,88%
Atraso Médio (seg)	0,0157	0,0116	0,0075	0,0081	0,0105
Pacotes de Roteamento	1515	963	850	1051	986

Tabela 2: Resultados variando o alcance para o AODV

MÉTRICAS	300 m	350 m	400 m	450 m	500 m
Taxa Média de Entrega	99,47%	99,94%	99,99%	99,99%	99,99%
Atraso Médio (seg)	0,0236	0,0130	0,0047	0,0044	0,0031
Pacotes de Roteamento	710	416	332	297	310

Tabela 3: Resultados variando o alcance para o DSR

MÉTRICAS	300 m	350 m	400 m	450 m	500 m
Taxa Média de Entrega	93,50%	96,41%	96,53%	97,58%	98,62%
Atraso Médio (seg)	0,0129	0,0072	0,0081	0,0087	0,0040
Pacotes de Roteamento	2570	2465	2365	2265	2097

Tabela 4: Resultados variando o alcance para o DSDV

VI. CONCLUSÕES

Para avaliar o desempenho dos protocolos de roteamento AODV, DSR e DSDV sob condições que não sejam puramente aleatórias, foi projetado e simulado um cenário que tenta retratar uma situação real de uma operação militar em um campo de batalha. Para isto, foi feito um levantamento de todas as características deste cenário, em manuais e com militares capacitados, de forma que sua apresentação fosse a mais fiel possível. O desenvolvimento deste cenário consistiu em selecionar entre os modelos de mobilidade implementados na ferramenta utilizada (*ScenGen*), os que melhores representassem os movimentos reais dos nós, resultando na necessidade de implementar um novo modelo, o *Mixed Waypoint*, para alcançar este objetivo com maior precisão.

O DSR foi o que apresentou o melhor desempenho nas diversas simulações realizadas. Como neste cenário os nós dentro de um grupo estão próximos uns dos outros, as rotas são facilmente restabelecidas em caso de quebra de enlace, já que, em geral, qualquer nó dentro de um grupo pode servir para encaminhar pacotes. Portanto, protocolos que operam por demanda e tenham a característica de múltiplas rotas, como o DSR, são indicados para este tipo de cenário, embora tenha o custo de um atraso suavemente maior. Embora o DSDV apresente o menor atraso médio de pacotes, e o atraso é uma métrica importante quando se trata de redes militares, seu uso não é indicado para este tipo de rede. As características pró-ativas do DSDV, o torna inflexível na busca de novas rotas quando ocorre queda de enlace, ocorrência extremamente comum quando falamos em mobilidade em grupo, comprometendo assim a entrega dos pacotes.

De acordo com os resultados obtidos, concluímos que com o alcance de 300 metros conseguimos uma melhora significativa nas métricas, atenuando o problema de diversos particionamentos na rede e quebras de enlace, causados pelo próprio comportamento da movimentação em grupo dos nós móveis.

Alcances maiores que este não são aconselháveis, por não acarretar em aumentos significativos nos resultados, que justifique a possibilidade de comprometer a segurança da operação.

VII. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao Capitão-de-Mar-e-Guerra Rogério Guerra da Silveira, e ao Capitão David Fernandes C. Moura pelas valiosas contribuições dadas neste artigo.

VIII. REFERENCES

- [1] David B. Johnson, D. A. M. (2002). The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks, Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-06.txt.
- [2] Charles E. Perkins, Pravin Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers"
- [3] Perkins, C. E., Belding-Royer, E. M., and Das, S. R. (2002). Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-12.txt>.
- [4] Fall, K. and Varadhan, K. (2002). ns Notes and Documentation. UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC (the VINT Project). <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>.
- [5] Monarch Project (2000). The Rice Monarch Project – Wireless and Mobility Extensions to ns-2. <http://www.monarch.cs.rice.edu/cmu-ns.html>.
- [6] Quiming, L. (2002). The Scenario Generator: a tool to generate MANET mobility scenarios for NS-2, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC (The VINT Project). <http://www.comp.nus.edu.sg/liqm/scengen>.
- [7] T. Camp, J. Boleng, V. Davies. "A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research". Departamento de Matemática e Ciência da Computação, Colorado School of Mines, Golden, CO, EUA, April 12, 2002
- [8] Campos, C. V. and Moraes, L. F. M. (2003). Modelos Markovianos de Mobilidade Individual para Redes Móveis Ad Hoc. In SBRC Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores.
- [9] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C. Chiang. "A group mobility model for ad hoc wireless networks" Proceedings of the ACM International Workshop on Modeling and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM), Agosto 1999.
- [10] Cisco Systems, Inc. "Mobile Ad hoc Networks for the Military" White paper, 2003
- [11] Per Johansson, Tony Larsson, Nicklas Hedman, Bartosz Mielczarek, Mikael Degermark "Scenario-based Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks "
- [12] Samir R. Das, Charles E. Perkins, Elizabeth M. Royer, "Performance Comparison of Two On-demand Routing Protocols for Ad Hoc Networks "
- [13] Broch, J., Maltz, D. A., Johnson, D.B., Hu, Y.C., and Jetcheva, J. (1998) "A Performance Comparison of Multi-hop Wireless for Ad Hoc Network Routing Protocols". In in Proceedings of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pages 85-97



Ivana Cardial de Miranda Pereira, graduada em Engenharia de Telecomunicações na UFF e mestre em Engenharia Elétrica na COPPE / UFRJ. Atualmente trabalha no Centro de Análises de Sistemas Navais em gerência de projetos de desenvolvimento de sistemas.



Aloysio de Castro P. Pedroza, graduado em Engenharia Eletrônica na UFRJ, fez mestrado em Engenharia Elétrica na COPPE e doutor na Université de Toulouse III, na França. Atualmente é professor adjunto da COPPE/UFRJ e faz parte do Grupo de Teleinformática e Automação.