

## **Avaliação sobre Protocolos de Encaminhamento em Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões**

**Boaz Costa, Rodrigo Leal, Ivan Nascimento Filho, Patricia Drumond e Pablo Vieira**

Sistemas de Informação  
Universidade Federal do Piauí - UFPI

boazcosta@gmail.com, rodrigo19962010@live.com, ivanfilho21@gmail.com  
, patymedy@hotmail.com e pablolukan@hotmail.com

**Abstract.** *Vehicle Delay Tolerant Networks (VDTNs) are used in environments where usual Vehicular Networks are inefficient, such as remote places that don't have a stable connection. For this to be possible, specific routing protocols must be used. In this paper, there are compared some routing protocols for indicating the best one in this context. The metrics used to measure the performance of these protocols were: Delivery Probability, Network Overhead and Average Latency. By analyzing these performance criteria, the Spray and Wait protocol had the best performance, once it had better results for two out of three metrics. This study also pointed that choosing the Spray and Wait protocol may have a greater influence over the Delivery Probability, the Network Overhead and the Packet Time to Live, which can guide network engineers when building a VDTN.*

**Resumo.** *Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões (VDTNs) são usadas em ambientes nos quais as Redes Veiculares comuns são ineficientes, como locais remotos que não possuem conexão constante. Para que isso seja possível, protocolos de encaminhamento de dados específicos devem ser utilizados. Neste artigo, são comparados os protocolos de encaminhamento: Epidemic, First Contact, Maxprop e Spray and Wait a fim de apontar o melhor protocolo. As métricas usadas para medir o desempenho dos diferentes protocolos foram: Probabilidade de Entrega dos pacotes, Sobrecarga da Rede e Latência Média. Sob análise desses critérios, o protocolo Spray and Wait obteve o melhor desempenho já que teve melhores resultados em duas das três métricas. O estudo também apontou a escolha do Protocolo de encaminhamento como de maior impacto na Probabilidade de Entrega, Sobrecarga da Rede e no número de Tempo de Vida de Pacote na Latência Média da Rede, guiando engenheiros na montagem de VDTNs.*

### **1. Introdução**

O constante aumento dos congestionamentos e acidentes de trânsito nas cidades causam impactos negativos em diversas áreas, como na economia, no meio ambiente, na saúde, dentre outras. A implementação das Redes Veiculares tem auxiliado na redução de acidentes e outros percalços no trânsito, além de promover um controle de tráfego e aumento de segurança nas rodovias [Naz et al. 2011].

Em algumas situações, existem veículos trafegando constantemente, e nem sempre é possível existir (ou estabelecer) conexões contínuas por um grande período de tempo. Nesse contexto, as Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões ou VDTNs ( *Vehicular Delay Tolerant Network*) podem ser usadas para substituir redes em condições adversas [Câmara et al. 2011]. Para funcionamento das VDTNs, são utilizados protocolos de encaminhamento específicos, os quais possuem grande influência sobre a eficiência de uma Rede Veicular [Zeng et al. 2013].

Baseado neste contexto, o presente artigo realiza um estudo sobre a eficiência de protocolos de encaminhamento em redes VDTNs. As principais contribuições são:

- Avaliação de Desempenho de Protocolos em VDTNs;
- Mensuração de Impacto de Fatores sobre a Probabilidade de Entrega de VDTNs;
- Mensuração de Impacto de Fatores sobre a Latência Média de VDTNs;
- Mensuração de Impacto de Fatores sobre a Sobrecarga de Rede de VDTNs.

Os protocolos avaliados foram: *Epidemic*, *First Contact*, *Maxprop* e *Spray and Wait*. O estudo realizado foi formado avaliando a Probabilidade de Entrega, Sobrecarga da Rede e Latência Média. Os cenários de Redes Veiculares usados nos experimentos foram variados conforme a densidade da rede (número de *hosts*), tempo de vida de cada pacote e tempo de simulação. Complementando, esta pesquisa também aponta o impacto desses fatores (descritos no período anterior) na Probabilidade de Entrega, Sobrecarga e Latência a fim de guiar engenheiros na montagem e configuração de VDTNs.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta o referencial teórico utilizado neste trabalho; a seção 3 refere-se ao experimento de simulação utilizado como base para avaliar o desempenho de cada protocolo; a seção 4 apresenta os resultados obtidos; a seção 5 trata dos trabalhos relacionados com esta pesquisa e a seção 6 trata da conclusão e de trabalhos futuros.

## 2. Referencial Teórico

Esta seção é voltada para discussão dos conceitos deste trabalho. A presente seção discute, especificamente, os protocolos de encaminhamento estudados. Considerando definições de Spaho et al. (2016) e Nunes (2013), os protocolos são:

- Protocolo *Epidemic*: este protocolo funciona espalhando seu conteúdo para todos os nós ao redor. Dois nós trocam mensagens para decidir se a mensagem não está armazenada no outro. Após isso é feita uma verificação do espaço de armazenamento disponível no nó e, caso tenha espaço, é enviada a mensagem.
- Protocolo *First Contact*: neste protocolo, os nós enviam as mensagens para o primeiro nó que encontram, o que resulta em uma busca aleatória pelo destino.
- Protocolo de *Maxprop*: este prioriza o planejamento dos pacotes que serão transmitidos a outros nós e os pacotes que serão descartados.
- Protocolo *Spray and Wait*: este protocolo se baseia em disseminar a mensagem e aguardar algum resultado. Quando um nó retransmissor recebe uma cópia da mensagem, ele entra em fase de espera, na qual o retransmissor confirma determinada mensagem até que o seu destino seja encontrado.

### 3. Experimentos

O simulador ONE<sup>1</sup> (*Opportunistic Network Environment*) foi usado para simular o tráfego de uma Rede Veicular na arquitetura *Ad-hoc* na cidade Helsinque na Finlândia. Por padrão, o simulador fornece um tempo de simulação de 12 horas, 40 *hosts* divididos em cinco grupos (três para veículos e dois para pedestres), TTL de 300 minutos, comunicação entre nós do tipo Wi-Fi, velocidade de transmissão de 2 MB por segundo e tamanho do *buffer* de 5 MB.

Foram configurados dois cenários: o primeiro composto de uma rede esparsa (com 40 nós), com Tempo de Vida da Transmissão (Time To Live - TTL) e Tempo de Simulação menores; e o segundo cenário possuindo a rede com maior densidade (composta por 100 nós) e com valores maiores para o TTL e o Tempo de Simulação. A variação dos fatores foi elaborada para permitir a análise de desempenho para cada ajuste da rede, e assim, identificar a configuração com melhor desempenho.

Os fatores utilizados foram: Protocolo, TTL, Quantidade de Hosts e Tempo de Simulação, os níveis utilizados para Protocolo foram: Epidemic, First Contact, Maxprop e Spray and Wait, com níveis de TTL 60 e 120, Quantidade de Hosts com níveis 40 e 100 e Tempo de Simulação com níveis 4 horas e 12 horas.

O número de combinações possíveis pode ser verificado usando o Princípio Fundamental da Contagem da Análise Combinatória. O fator Protocolo tem quatro níveis, o TTL dois níveis, o fator Quantidade de *Hosts* dois níveis, e o Tempo de Simulação possui dois, portanto, o número de possibilidades é  $4 \times 2 \times 2 \times 2$ , o que resulta em 32 combinações. Para cada combinação foram feitas 8 observações no simulador, o que resulta em 256 investigações distintas no experimento. As métricas estudadas e monitoradas durante cada observação foram:

- **Probabilidade de Entrega (PE):** razão do número de mensagens enviadas (*MEV*) pelo número de mensagens criadas (*MC*). A Equação 1 apresenta o cálculo matemático proposto para esta métrica.

$$PE = \frac{MEV}{MC} \quad (1)$$

- **Sobrecarga de Rede (SR):** diferença de mensagens repetidas entregues (*MRE*) pelo número de mensagens entregues ao destino (*D*). A Equação 2 apresenta o cálculo matemático para a Sobrecarga de Rede.

$$SR = \frac{MRE - D}{D} \quad (2)$$

- **Latência Média (LM):** tempo decorrido desde a criação das mensagens (*TMC*) no nó de origem até sua entrega ao nó destino (*TED*). A Equação 3 apresenta o cálculo matemático discutido, onde (*NR*) é o número de mensagens recebidas.

$$LM = \sum_{i=1}^n \frac{TMC - TED}{NR} \quad (3)$$

<sup>1</sup><https://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/>

Para cada uma dessas métricas foi feita uma Análise de Sensibilidade usando o método estatístico *Design of Experiments* (DoE). DoE é um estudo estatístico sobre o impacto de níveis de fatores (variáveis independentes ou parâmetros) sobre um resultado (variável dependente), orientado assim um processo de otimização [Minitab 2017a]. Os resultados do experimento configurado são apresentados na Seção 4.

## 4. Resultados

Os experimentos DoE foram realizados a partir dos dados gerados pelas 256 observações feitas no simulador ONE. Os ensaios foram aleatorizados para aumento do rigor desta pesquisa. A organização dos fatores e níveis pode ser conferida na Seção 3. Para expressar a conclusão dos experimentos, utilizou-se o gráfico de Efeitos Principais que pode ser visualizado nas Figuras 1, 2 e 3 das subseções seguintes. O gráfico apresenta o resumo do estudo que permitiu concluir os fatores e elementos que impactam em métricas como Probabilidade de Entrega, Latência e Sobrecarga da Rede.

Os gráficos são usados para demonstrar, detalhadamente, como um ou mais fatores influenciam nos valores das métricas em estudo. Essa influência é percebida pelas inclinações (coloridas em azul nos gráficos das Figuras 1, 2 e 3) entre as variáveis independentes estudadas que representam a ordem de esforço. Quanto mais inclinada for a linha, maior é o impacto sobre a variável dependente [Minitab 2017b]. Com as conclusões tiradas desses gráficos foi possível construir um *Ranking* mostrando a colocação de cada protocolo em relação à sua eficiência. A Seção 4.4 apresenta o *ranking* de protocolos de encaminhamento estudados.

### 4.1. DoE para Probabilidade de Entrega

Percebe-se pelo gráfico da Figura 1 que a maior inclinação é na escolha do Protocolo em execução, em detalhe no *Maxprop*. Pode-se observar uma diferença expressiva durante alternância de protocolos principalmente entre *First Contact* e *Maxprop*. A diferença de impacto na Probabilidade de Entrega é proveniente das diferentes técnicas utilizadas por cada protocolo na comunicação. Assim, a escolha do Protocolo tem maior impacto na Probabilidade de Perda de tráfego em Redes Veiculares do que os outros fatores (TTL, Número de Hosts e Tempo). O Protocolo Maxprop obteve melhor resultado já que prioriza o planejamento de envio de pacotes, e com isso, reduz o número e chance de perdas de pacotes durante encaminhamento.

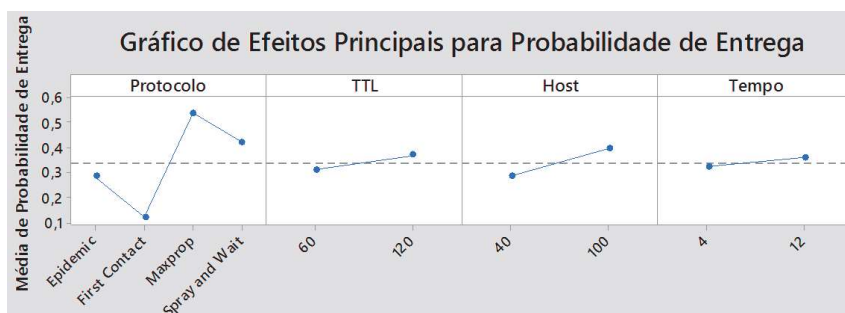


Figura 1. Gráfico de Efeitos Principais para Probabilidade de Entrega.

## 4.2. DoE para Latência Média

O gráfico da Figura 2 indica que o Fator TTL (Tempo de Vida de Pacote) possui maior esforço de inclinação, em detalhe no momento de alteração do nível 60 para 100. Com isso, observa-se que o TTL possui maior influência (dentre os fatores) na variável Latência Média. O nível 60 de TTL representa uma reduzida Latência Média percebida nas observações. Quanto menor o TTL, menor o tempo que o nó (veículo ou pedestre) espera pelo pacote, e menor o tempo de Latência na rede (são grandezas diretamente proporcionais), o que justifica a queda da Latência Média no decorrer da redução do nível de TTL. O protocolo também exerce uma influência sobre esta variável, com destaque para o protocolo *Spray and Wait* que apresentou configuração com menor Latência Média.

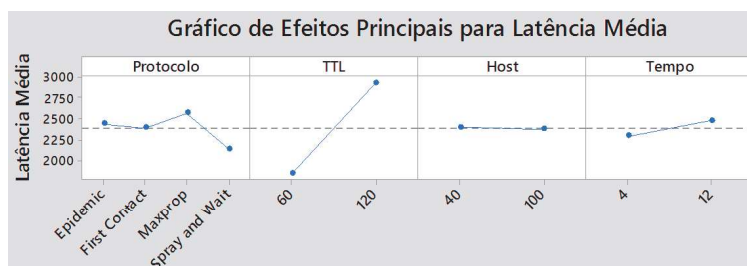


Figura 2. Gráfico de Efeitos Principais para Latência Média.

## 4.3. DoE para Sobrecarga da Rede

A ordem de esforço das inclinações (coloridas em azul) no gráfico da Figura 3 demonstra que o Protocolo selecionado apresenta maior impacto sobre a variável dependente Sobrecarga da Rede motivada por diferentes características de funcionamento de cada protocolo, o que o torna com maior relevância durante escolha desse critério. O nível de Protocolo que apresenta menor Sobrecarga da Rede é o *Spray and Wait*. Vale ressaltar que o número de *hosts* também exerce uma expressiva influência na Sobrecarga, dado que o acréscimo de nós numa rede tende a sobrecarregar os recursos e serviços, o que se percebe reduzido quando se tem 40 nós na rede (são grandezas diretamente proporcionais).

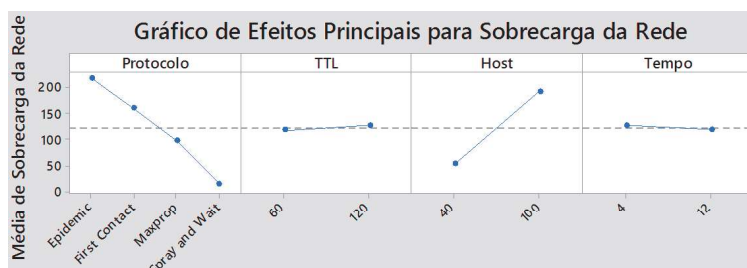


Figura 3. Gráfico de Efeitos Principais para Sobrecarga da Rede.

## 4.4. Ranking

A presente subseção é voltada para a apresentação de um *ranking* dos protocolos de encaminhamento estudados. O *ranking* é organizado com base nos resultados obtidos pelas Análises de Sensibilidade (da Seção 4.1, 4.2 e 4.3) e os desempenhos de cada protocolo. A seguir será apresentado o esquema de pontuação do *ranking* na Tabela 1.

Por exemplo, quando um protocolo recebe o primeiro lugar em um critério, ganha 5 pontos e caso receba último lugar, ele recebe 0,5 e assim acontece para segundo lugar e o terceiro lugar (com acréscimo de 2.5 e 1.0, respectivamente). Após a identificação da colocação a pontuação é somada, o que implicará no resultado final que está apresentado na Tabela 2. A estrutura de pontuação feita pode ser adequada para a montagem de uma VDTN específica. Entretanto, com os resultados deste artigo, um engenheiro pode com seus critérios elaborar os pesos para cada classificação, e assim, usar os resultados do artigo para encontrar o melhor protocolo para seu serviço.

Classificação	Pontos
1º	5,0
2º	2,5
3º	1,0
4º	0,5

**Tabela 1. Pontuação por critério.**

Posição	Protocolo	Probabilidade de Entrega	Sobrecarga de Rede	Latência Média	Pontuação
1º	<i>Spray And Wait</i>	0,6181	8,0011	1641,9172	10,0
2º	<i>Maxprop</i>	0,7734	40,9028	1900,1374	8,5
3º	<i>First Contact</i>	0,1643	61,1375	1469,9553	6,5
4º	<i>Epidemic</i>	0,3587	65,1828	1916,037	2,0

**Tabela 2. Ranking geral analisando cenários densos e esparsos.**

De acordo com a Tabela 2, em cenários densos e esparsos, os protocolos *Epidemic* e *First Contact* obtiveram os piores desempenhos, baixas probabilidades de entrega de pacotes e altas sobrecargas de rede. Quanto a Latência Média, o *First Contact* mostrou a menor taxa e o *Epidemic* obteve a maior Latência Média, classificando-se como o pior protocolo neste critério. Os melhores desempenhos foram obtidos pelos protocolos *Spray And Wait* e *Maxprop* com altas probabilidades de entrega de pacotes.

No critério Probabilidade de Entrega, o protocolo *Maxprop* conseguiu entregar 77,34% dos pacotes, tendo o melhor desempenho. Os protocolos *Spray And Wait* e *Maxprop* possuem menores impactos na Sobrecarga da Rede, e tempos de Latência intermediários. Considerando a pontuação estabelecida na Tabela 1, o protocolo *Spray and Wait* tem melhor desempenho com suas pontuações.

## 5. Trabalhos Relacionados

Os critérios de comparação são comentados. A seguir a Tabela 3 sintetiza as contribuições do trabalhos relacionados com este artigo. As referências são ordenadas por ano e categorizadas por três critérios: Protocolos, DoE e Métricas (critérios de avaliação).

- **Protocolos:** Soares et al. (2013) acompanharam e analisaram o desempenho dos protocolos: *First Contact*, *Direct Delivery*, *Epidemic*, *Spray and Wait*, *PRoPHET*, *GeOpps* e *GeoSpray*. Hossen e Rahim (2015) consideraram os protocolos: *Epidemic*, *PRoPHET* e *Spray and Wait (Binary Version)* durante seu trabalho. Spaho et al. (2016) avaliaram os protocolos: *Epidemic*, *Spray and Wait* e *Maxprop*. os autores Oliveira e Silva (2016) qualificaram o desempenho dos protocolos: *First Contact*, *Direct Delivery*, *Spray and Wait*, *Epidemic* e *Maxprop*.
- **Métricas de Desempenho:** Soares et al. (2013) investigaram seis métricas de protocolos de VDTNs. Já Hossen e Rahim (2015) utilizaram quatro métricas. Spaho et al. (2016) investigaram os impactos da densidade da rede e TTL de pacotes sobre quatro métricas. Oliveira e Silva (2016) utilizaram três parâmetros para medir o desempenho de seus protocolos em estudo.
- **DoE:** o *Design of Experiments* é uma ferramenta otimizada para análise estatística que permite estudo de interação entre causa e efeito e reduz o erro experimental. Os trabalhos relacionados encontrados não fizeram uso desta abordagem e simplesmente fizeram comparações com fatores de forma individual e não agrupada.

<b>Autores</b>	<b>Protocolos</b>	<b>DoE</b>	<b>Métricas de Desempenho</b>
[Soares et al. 2013]	<i>First Contact, Direct Delivery, Epidemic, Spray and Wait, PRoPHET, GeOpps e GeoSpray</i>	Não	Transmissões Iniciadas, Pacotes Descartados, Probabilidade de Entrega, Latência Média, Saltos e Sobrecarga dos Recursos
[Hossen e Rahim 2015]	<i>Epidemic, PRoPHET, Spray and Wait</i>	Não	Probabilidade de Entrega, Latência Média, Sobrecarga e Número de Nós Móveis
[Spaho et al. 2016]	<i>Epidemic, Spray and Wait e Maxprop</i>	Não	Probabilidade de Entrega, Sobrecarga da Rede, Latência Média e Número Médio de Saltos
[Oliveira e Silva 2016]	<i>First Contact, Direct Delivery, Spray and Wait, Epidemic e Maxprop</i>	Não	Atraso Médio, Taxa de Entrega e Sobrecarga da Rede
Nosso Trabalho	<i>Epidemic, First Contact, Maxprop e Spray and Wait</i>	Sim	Probabilidade de Entrega, Sobrecarga da Rede e Latência Média

**Tabela 3. Relação entre os Trabalhos Científicos.**

O presente artigo se diferencia por buscar identificar a influência de alguns fatores (e suas variações) na Probabilidade de Entrega, Sobrecarga da Rede e Latência Média. Com isso, pretende-se fornecer informações e técnicas estruturadas e comprovadas aos profissionais para montagem de VDTNs. As Métricas de Desempenho (Probabilidade de Entrega, Sobrecarga da Rede e Latência Média) que foram definidas e utilizadas neste trabalho foram aplicadas por Soares et al. (2013), Hossen e Rahim (2015) e Spaho et al. (2016). O restante dos trabalhos não satisfazem todas as métricas discutidas.

Os protocolos aqui estudados também foram tratados no trabalho de Oliveira e Silva (2016). Os outros artigos relacionados não trataram de todos esses protocolos. Os protocolos escolhidos para avaliação passaram por avaliações científicas, com bons desempenhos em critérios, porém, nenhum passou por investigação DoE e *ranking* estruturado como nesta proposta (considerando os trabalhos relacionados descritos).

## 6. Conclusão e Trabalhos Futuros

O protocolo *Spray and Wait* obteve melhor desempenho por apresentar menor Latência e Sobrecarga da Rede, e uma intermediária Probabilidade de Entrega. O estudo também apontou que engenheiros de VDTNs devem considerar, principalmente, o Protocolo escolhido no ganho de Probabilidade de Entrega e Sobrecarga da Rede, e número de TTL na Latência Média. Futuramente, planeja-se uma aplicação veicular tolerante a atraso e desconexões usando o protocolo *Spray and Wait* para obter melhor desempenho. Além disso, pretende-se integrar outros protocolos como *Direct Delivery* e PROPHET nas próximas avaliações, e passar o estudo de um cenário simulado para um ambiente real.

## Referências

- Câmara, D., Frangiadakis, N., Filali, F., e Bonnet, C. (2011). Vehicular delay tolerant networks. *Handbook of research on mobility and computing: evolving technologies and ubiquitous impacts*, pages 356–367.
- Hossen, M. S. e Rahim, M. S. (2015). On the performance of delay-tolerant routing protocols in intermittently connected mobile networks. *Rajshahi University Journal of Science and Engineering*, 43:29–38.
- Minitab (2017a). Designing an experiment. Disponível em: [support.minitab.com/en-us/minitab/17/getting-started/designing-an-experiment](http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/getting-started/designing-an-experiment). Acesso em: 14/06/2017.
- Minitab (2017b). O que é um gráfico de efeitos principais? Disponível em: [support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-a-main-effects-plot/](http://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-a-main-effects-plot/). Acesso em: 17/06/2017.
- Naz, F., Chowdhury, T. A., Sabah, S. H., e Ferdous, H. S. (2011). A study on the challenges and importance of vehicular network in the context of bangladesh. In *Research and Development (SCOReD), 2011 IEEE Student Conference on*, pages 265–270. IEEE.
- Oliveira, M. e Silva, É. R. (2016). Impacto dos modelos de mobilidade no desempenho de redes tolerantes a atrasos e desconexões. In *Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica*. CEEL.
- Soares, V. N., Dias, J. A., Isento, J. N., e Rodrigues, J. J. (2013). Protocolos de encaminhamento para redes veiculares com ligações intermitentes. In *CRC 2012: 12ª Conferência sobre Redes de Computadores*, pages 77–84.
- Spaho, E., Barolli, L., Kolici, V., e Lala, A. (2016). Performance comparison of different routing protocols in sparse and dense vdtNs. In *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2016 IEEE 30th International Conference on*, pages 698–703. IEEE.
- Zeng, Y., Xiang, K., Li, D., e Vasilakos, A. V. (2013). Directional routing and scheduling for green vehicular delay tolerant networks. *Wireless networks*, 19(2):161–173.