

## Proposta de modelo de veículos elétricos para análise de consumo energético em redes veiculares

Divino Alves Ferreira Júnior<sup>1</sup>, Leonardo Moraes Fleury<sup>1</sup>  
Vinicius Cunha M Borges<sup>1</sup>, Antônio Oliveira-Jr<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)  
Goiânia – GO – Brazil

{profdivinojr, fleuryleomoraes}@gmail.com, {vinicius, antonio}@inf.ufg.br

**Abstract.** *Electric vehicles are rising in popularity because of the politicians, automakers, and citizens's interests. The same event happens with the number of mobile networks (mobile or wi-fi). With the growing of users each day, many researchers are concerned that the infrastructure can become insufficient, leading them to believe in opportunistic networks protocols as a solution. About the growing of electric cars, these protocols can impact in their autonomy. With that in mind, we propose a model of electric vehicles to analyze the effect of these protocols on the autonomy of the vehicle.*

**Resumo.** *Veículos elétricos estão se popularizando a cada dia, com interesses vindos dos Estados, das montadoras e dos cidadãos, assim como a comunicação por redes sem fio, seja ela móvel ou Wi-Fi. Com o crescente número de usuários, muitos pesquisadores se preocupam com o fato de que a infraestrutura tradicional possa se tornar insuficiente; logo apostam em redes oportunistas como uma solução. Quanto ao crescimento de carros elétricos, surge a preocupação do impacto que estes protocolos oportunistas podem causar em sua autonomia. Neste trabalho propomos um modelo de abstração e consumo de veículos elétricos para podermos analisar o efeito dos protocolos na autonomia do veículo.*

### 1. Introdução

As montadoras de veículos tm investido muito em produção de veículos elétricos. Algumas montadoras, como a Sueca Volvo anunciaram que em 2020 produzirão somente carros elétricos ou híbridos e não mais produzirão carros a combustão. Os carros elétricos apontam uma tecnologia promissora para o futuro. No escopo desta tecnologia não podemos considerar apenas os carros de passeios; há de considerar que os veículos de transporte de passageiros e de cargas seguem a mesma tendência [Verge 2017].

No início de 2018, a frota mundial chegou a 3,2 milhões de veículos elétricos – o que representa um aumento de 55% em relação ao mesmo período do ano anterior, de acordo com o Centro de Pesquisa em Energia Solar e Hidrogênio de *Baden-Württemberg* (ZSW), na Alemanha. Conforme o estudo, 1,2 milhões de carros elétricos já circulam pelas ruas chinesas. Somente em 2017, 579 mil unidades foram acrescentadas à frota do país [Globo 2018].

A cidade chinesa de *Shenzhen* migrou 100% de sua frota de ônibus do transporte público para veículos elétricos. São mais de 16 mil ônibus para atender uma população de 12 milhões de habitantes [Engenharia E 2018].

A grande motivação para a produção de carros elétricos está ligada às questões ambientais e isso é uma tendência mundial. Considerando a perspectiva futura sobre os carros elétricos, a evolução tecnológica no contexto dos componentes e acessórios eletrônicos para veículos, aliado ao conceito de cidades inteligentes que buscam a melhoria da qualidade de vida e segurança, as redes oportunistas VANETs se tornam um objeto de estudo à procura de soluções que viabilizem uma maior utilização e uma melhor eficiência.

O aumento na demanda de redes sem fio nos últimos anos cria um cenário de preocupação nas operadoras se considerarmos a infraestrutura das redes hoje. Esta preocupação levou pesquisadores a estudarem sobre tecnologia para redes oportunistas, em busca de soluções para: os gargalos nas infraestruturas de redes, a comunicação em locais onde a infraestrutura não alcança e a comunicação em locais de desastres onde a infraestrutura tenha sido danificada. Nas redes oportunistas, a informação é passada através de nós intermediários até que chegue ao destino, estratégia denominada *store-carry-and-forward* [Trifunovic et al. 2017]. Uma vantagem deste modelo é que a rede é baseada na necessidade, aproveitando uma oportunidade de modo que comunicação ocorra sem que seja preciso ter conhecimento prévio da topologia [Pond et al. 2013].

Dentro do contexto de redes oportunistas emprega-se a comunicação entre dispositivos móveis, como *Tablets e Smartphones* e veículos. O foco deste trabalho são as redes veiculares (VANET), um subtipo de MANET (*Mobile Ad hoc Network*). Nas MANET, os nós são móveis e a topologia é dinâmica. Já as VANET utilizam veículos como nós da rede. Esta última se destaca drasticamente em relação às MANET, principalmente, devido a alta velocidade e a restrição de mobilidade dos automóveis [Yousefi et al. 2006].

Por uma década os pesquisadores têm procurado meios para impulsionar a implantação global das Redes Oportunistas [Trifunovic et al. 2017]. Estas redes podem auxiliar a comunicação no descarregamento da rede de celular, a comunicação em áreas desafiadoras (área onde a infraestrutura está parcial ou totalmente destruída), a circunscisão de censura e as aplicações baseadas em proximidade. As redes veiculares vêm fortalecer os Sistemas de Transporte Inteligente – ITS (*Intelligent Transport System*), impactando diretamente no aumento da segurança veicular e na eficiência do tráfego. Logo, essas redes contribuem para o conceito de cidades inteligentes. Ao unirmos os dois conceitos, percebe-se que as redes oportunistas veiculares podem favorecer a implementação dos ITS e podem ainda ser uma solução para os problemas de infraestrutura de redes ao considerarmos as limitações já apresentadas.

As redes oportunistas ainda não foram amplamente implementadas e alguns fatores contribuem para isto, tais como o desinteresse comercial das operadoras de redes, visto que elas não teriam o controle sobre a infraestrutura e a preocupação com o consumo de bateria nos dispositivos conectados à rede. Em 10 anos de estudos, muitos aspectos foram analisados, mas há assuntos que ainda precisam ser explorados [Trifunovic et al. 2017].

A tecnologia das redes oportunistas aplicadas às redes veiculares vêm contribuir diretamente para com o conceito de cidades inteligentes, na perspectiva de não utilizar a infraestrutura de redes de telefonia. Há que se levar em consideração que os veículos possuem bateria e que estas são geradas/recarregadas enquanto os carros estão em funcionamento. Nos veículos com motores a combustão, o consumo de energia pela rede veicular

não interfere na autonomia. Já nos veículos elétricos, embora tenha uma recarga constante de bateria, o consumo desta energia pelas redes veiculares representa uma redução da autonomia do veículo, o que desperta então, uma necessidade de avaliação do consumo desta energia, na busca de uma melhor eficiência energética.

Os sistemas inteligentes de transportes contribuem diretamente para com o conceito de cidades inteligentes, pois melhoram a qualidade do transporte e a segurança das vias. Porém estes sistemas ainda atuam utilizando a infraestrutura de redes das companhias de telefonia.

O estudo sobre a eficiência energética em redes oportunistas veiculares se torna interessante, principalmente, quando identificamos que as montadoras e os governantes estão atuando diretamente para a redução da frota de veículos a combustão e migrando a produção de veículos totalmente ou parcialmente elétricos.

Os dados apontam um futuro para os carros elétricos, e neste contexto qualquer consumo de energia por circuitos eletrônicos nos carros implica em redução de autonomia. Considerando que as redes VANET vêm ao encontro desta evolução ao proporcionar maior segurança e maior mobilidade, entre outros benefícios, precisamos atentar também para o consumo energético. Destaca-se ainda que as trocas de informações que utilizam a infraestrutura de redes *Wi-Fi*, *bluetooth* ou outra tecnologia têm sido extremamente demandadas. Desta forma, ao pensar em uma alternativa de tráfego de dados, temos as redes oportunistas.

Este trabalho cria um modelo abstrato de veículos elétricos e analisa o consumo energético dos protocolos de encaminhamento *Epidemic*, *Spray and Wait*, *Dlife* e *Prophet* em VANETs. Estes protocolos possuem diferentes características como: 1. *Epidemic* é um protocolo de encaminhamento que dissemina mensagens aos nós vizinhos. Este ciclo é repetido até que a mensagem chegue ao destino [Mota et al. 2014]. 2. *Spray and Wait* propaga L cópias da mensagem, onde L indica as cópias máximas permitidas da mensagem [Khan and Rahim 2018]. 3. *Dlife* é um protocolo de roteamento com consciência social que considera o dinamismo do comportamento do usuário com base em sua vida diária [Khan and Rahim 2018]. 4. *PRoPHET* é um protocolo ciente do contexto. Este protocolo usa uma métrica probabilística chamada previsibilidade de entrega [Mota et al. 2014].

Ao considerar o cenário de redes veiculares oportunistas e a previsão de aumento da produção de veículos elétricos pela indústria automobilística é que este estudo analisa o consumo de energia em protocolos de encaminhamento. O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de abstração de veículos elétricos e demonstrar, dentre os protocolos citados acima, qual dos quatro apresentam maior eficiência energética. Ao final da pesquisa comprova-se qual o protocolo que garante maior autonomia para os veículos elétricos. Isto porque quanto menor o consumo de energia dos carros elétricos, maior sua autonomia.

A avaliação do consumo energético nos protocolos de roteamento é feito a partir de simulações usando o ambiente de simulação *ONE*. O cenário é implementado considerando a cidade *Helsinki*. O objetivo é implementar testes no ambiente para cada protocolo e coletar as informações dos testes a partir de relatórios do simulador. Após a coleta de dados, os mesmos são tabulados para uma análise do consumo energético e para a

geração dos gráficos. A análise dos dados resulta na identificação do protocolo com maior eficiência energética dentre os quatro protocolos analisados. Serão analisados também os dados referentes à taxa de entrega e latência de cada protocolo.

Este artigo está organizado da seguinte forma: após a introdução, a seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A seção 3 aborda os protocolos de encaminhamento apresentando suas características. A seção 4 apresenta uma avaliação do ambiente de simulação, tais como as características do cenário de simulação, a configuração dos nós, o modelo proposto dos veículos elétricos, entre outras. Os resultados são apresentados e discutidos na seção 5. Por fim, na seção 6 concluímos o estudo.

## 2. Trabalhos relacionados

O consumo energético em redes *Ad Hoc* e Redes Oportunistas vêm sendo um tema bastante explorado nos últimos anos, o que resultou no desenvolvimento de vários protocolos que prometem reduzir o consumo de energia dos nós das redes. Muitos autores afirmam que VANETs não possuem limitações energéticas [Mota et al. 2014], o que é verdade em carros movidos a combustão. Porém, não podemos dizer o mesmo para veículos elétricos. Várias técnicas foram analisadas e pesquisadas para que se criassem algoritmos cada vez mais eficientes.

Encontramos na literatura alguns exemplos de discussões e algumas propostas de solução para o problema energético em nós de redes oportunistas [Mota et al. 2014, Landsiedel et al. 2012, Baji Baba and Rao 2016]. Em sua maioria, o foco das pesquisas são sensores ou dispositivos móveis, que possuem baixa capacidade energética e pouca ou nenhuma mobilidade. Eles exploram o fato de que, nesses cenários, a criação de uma conexão fim a fim entre dois dispositivos pode ser inviável, ou até mesmo impossível, para desenvolver algoritmos de roteamento oportunista.

[Mota et al. 2014] faz uma comparação entre vários protocolos em diferentes cenários e oferece uma boa compreensão sobre os mesmos. Embora não possua os mais recentes, serve como base para iniciarmos nossos estudos. [Landsiedel et al. 2012] introduz o conceito de ciclo de serviço, usando oportunisticamente os nós que estão acordados para fazer a transmissão dos pacotes. E [Baji Baba and Rao 2016] propõe um algoritmo que gerencia um escalonamento de nós, permitindo que todos durmam alternadamente por um tempo, sem que a rede seja prejudicada, assim economizando energia.

Devido à alta dinamicidade e previsibilidade das redes VANET, algoritmos de clusterização têm se tornado uma boa alternativa para aprimorar a conexão entre veículos. [Toutouh et al. 2013] explora uma metodologia que utiliza algoritmo evolucionário para buscar um OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol*) de melhor eficiência energética. Nesta análise experimental, foi demonstrado uma redução considerável no consumo energético da rede, sem perda notável na qualidade do serviço. Já [Bali et al. 2017] desenvolveu um algoritmo de predição de variação média de veículos para superar o problema da curta duração do *cluster*, mostrando que o esquema proposto é eficiente em manter alta vazão, alta probabilidade de transmissão e menor atraso fim a fim.

A partir dos estudos acima, percebe-se que há uma grande preocupação com o consumo energético em redes oportunistas e em redes veiculares. Porém, ainda existem muitos casos em aberto. Um deles, e talvez o mais eminente, é o caso de veículos

elétricos, cujo consumo da bateria possui efeito direto na autonomia do carro. Diante do exposto, decide-se então, realizar uma simulação de alguns protocolos, a fim de obter dados a respeito do impacto dos mesmos no gasto da bateria dos automóveis. O simulador *The One* apresenta as características necessárias para realizar tal feito, sendo assim escolhido para esta pesquisa.

### 3. Protocolos analisados

Dentre os protocolos disponibilizados no simulador ONE, quatro foram escolhidos para serem analisados em redes oportunistas VANET: *Epidemic*, *Spray and Wait*, *dLife* e *Prophet*. Cada protocolo estudado possui características de roteamento distintas, como se segue.

*Epidemic* é um protocolo de encaminhamento que dissemina mensagens muito parecido com a disseminação de uma doença. Um nó que recebe uma mensagem encaminha para todos os seus vizinhos, que repetem esse processo. Este ciclo é repetido até que a mensagem chegue ao seu destino ou até que um número máximo de saltos seja atingido. O objetivo do *Epidemic* é maximizar a entrega de dados e minimizar o atraso [Mota et al. 2014].

*Spray and Wait* propaga L cópias da mensagem, onde L indica as cópias máximas permitidas da mensagem e esse parâmetro é selecionado com base na densidade da rede e no tempo médio desejado. *Spray* e *Wait* é composto por duas fases: Fase 1) L cópias da mensagem são encaminhadas para os primeiros L nós encontrados. Esta fase é chamada de fase “*Spray*”. Fase 2) no caso, o destino não pode ser identificado na fase “*Spray*”, todos os nós (individuais de nós L) que receberam uma versão da mensagem esperam para encontrar o nó de destino e entregar diretamente a mensagem. Isto é conhecido como “*Aguarde*” [Khan and Rahim 2018].

*dLife* é um protocolo de roteamento com consciência social que considera o dinamismo do comportamento do usuário com base em sua vida diária. Ele tira proveito de estruturas sociais que evoluem no tempo em um ambiente oportunista. No protocolo *dLife*, o nó de origem entrega uma cópia da mensagem para o nó encontrado, pois tem uma relação maior com o destino do que com a origem [Khan and Rahim 2018].

*PROPHET* é um protocolo ciente do contexto. Este protocolo usa uma métrica probabilística chamada previsibilidade de entrega, que indica a probabilidade de um nó ser capaz de entregar uma mensagem para um determinado destino. Ele leva em conta o histórico de contatos anteriores. Além disso, assume que o movimento do nó não é aleatório e que é possível identificar padrões de mobilidade. Assim, se um nó visitou frequentemente uma parte da rede, existe uma grande probabilidade de que esse mesmo local seja visitado no futuro [Mota et al. 2014].

Alguns testes relativos ao desempenho dos protocolos foram apresentados por [Khan and Rahim 2018]. Este trabalho analisou três métricas destes protocolos: a taxa de entrega, a latência média e o custo de transmissão.

Em relação à taxa de entrega, considerando o aumento da densidade dos nós, observa-se que o protocolo baseado em redes sociais (*dLife*) é o com maior taxa de entrega, enquanto o *Epidemic* é o de menor taxa de entrega. Com relação ao tempo de vida, o *dLife* diminui um pouco a taxa de entrega, mas ainda mantém com maior taxa de entrega

e o *Epidemic* é o protocolo de menor taxa de entrega [Khan and Rahim 2018].

A latência média é verificada através do tempo gasto desde a geração no nó de origem até a recepção bem-sucedida no nó de destino. Com o aumento da densidade dos nós ou com o aumento do tempo de vida da mensagem (TTL) fica evidente que o protocolo *dLife* apresenta maior latência, e que o protocolo *Spray and Wait* (SNW) apresenta menor latência. Portanto, o SNW é o de melhor desempenho em ambos os casos, considerando a latência média [Khan and Rahim 2018].

O custo de transmissão é verificado considerando a retransmissão de pacotes não essenciais na rede com objetivo da entrega de um único pacote. O protocolo *Epidemic* é o de maior custo de transmissão, pois a sua característica de inundação da rede fez com que a curva do custo de transmissão tivesse um aumento constante com a variação da densidade dos nós ou mesmo do TTL. O menor custo de transmissão ficou para o protocolo SNW por ter a característica de uma réplica mínima de mensagens, tanto com o aumento da densidade dos nós como com o aumento do tempo de vida [Khan and Rahim 2018].

## 4. Avaliação

Nesta seção é apresentada e discutida as capacidades do simulador e os modelos de simulação, bem como as métricas usadas para comparar os protocolos de roteamento.

### 4.1. Ambiente de Simulação

O *ONE* foi projetado especificamente para avaliação de protocolos de roteamento e para a aplicação de redes oportunistas. Ele permite que os usuários criem cenários baseados em diferentes modelos de movimentos sintéticos e de rastreamentos reais e oferece uma estrutura para implementar o roteamento de protocolos e aplicativos.

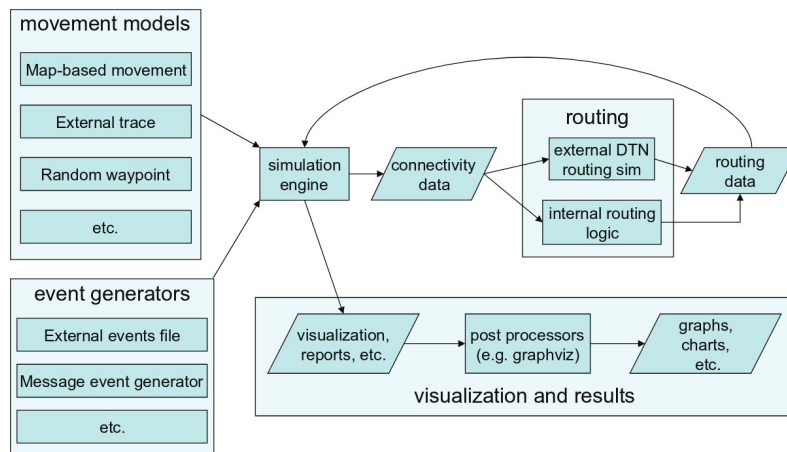
As principais funções do *ONE* são a modelagem da movimentação dos nós, o contato entre nós, o roteamento e a manipulação de mensagens. A coleta e a análise de resultados são feitos a partir visualizações, relatórios e ferramentas de pós-processamentos. Uma visão geral do funcionamento do *ONE* pode ser vista na Figura 1 [Keränen et al. 2009].

O *ONE* nos permite especificar uma semente (seed) para a geração de valores aleatórios utilizados durante a simulação. Isto facilita a comparação de resultados pois garante que as mensagens enviadas, caminhos percorridos, etc. sejam os mesmos em diferentes execuções, possibilitando que isolemos as variáveis que desejamos comparar.

### 4.2. Modelo proposto para veículos elétricos

Nesta seção descreve-se o modelo proposto para simulação de veículos elétricos dentro do simulador *ONE* e como utilizá-lo. O objetivo deste modelo é permitir a análise do impacto energético dos protocolos em redes veiculares nos quais os carros movidos a bateria façam parte.

Este simulador já possui módulo de bateria e consumo de energia para os protocolos. Assim, foi necessário apenas uma adaptação para que o automóvel consumisse energia a medida em que andasse. Da mesma forma, o módulo de movimentação nos permite calcular de maneira suficientemente a precisa distância percorrida durante a movimentação, já que este utiliza de um vetor com pontos no mapa para descrever o



**Figura 1. Visão geral do ambiente de simulação ONE**

caminho escolhido, sendo necessário apenas somar a distância entre cada ponto do vetor a fim de obter o total percorrido. A equação pode ser vista em (1).

$$D = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(V_i x - V_{i+1} x)^2 + (V_i y - V_{i+1} y)^2} \quad (1)$$

Para se calcular o total gasto por um veículo elétrico durante um percurso precisamos entender sobre o funcionamento deste. Estes automóveis possuem uma bateria que alimenta um motor elétrico responsável pela movimentação do mesmo. [Miller 1993] descreve detalhadamente o funcionamento de um motor elétrico, que, de maneira simplificada, converte a energia elétrica em um campo magnético que faz um eixo girar e, assim, o faz movimentar.

Com estas informações, foi possível abstrair o funcionamento de um veículo elétrico para o simulador *ONE*. Notamos que as informações necessárias para o funcionamento do módulo seriam a capacidade da bateria e o consumo por quilômetro. Como já existe um módulo de bateria no simulador, implementamos apenas o consumo do automóvel.

Para calcular a energia consumida pelo veículo é necessário que sejam fornecido os valores das configurações citadas acima, sendo que para o valor de consumo deve-se utilizar a mesma unidade usada para definir a capacidade da bateria. A equação utilizada pode ser vista na Equação 2, onde  $G$  é o valor gasto de energia,  $C$  é o consumo fornecido nas configurações e  $D$  a distância percorrida, obtido a partir da Equação (1).

$$G = C * D \quad (2)$$

### 4.3. Cenário

Neste trabalho usou a modelagem da cidade de *Helsinki*, disponibilizado pelo *ONE*, para simular um ambiente urbano. Este cenário foi escolhido por ser uma representação realista de uma cidade, com diversas ruas e avenidas, e, portanto, serviu para todos os propósitos desta pesquisa.

A avaliação foi realizada em dois cenários distintos, variando a densidade dos nós. Em ambos os casos, os nós se movem nas ruas da cidade percorrendo o caminho mais curto entre a posição atual e outro ponto escolhido aleatoriamente. Estes cenários foram escolhidos com o propósito de se obter uma visão geral do comportamento dos protocolos em diferentes situações.

**Cenário 1 – Baixa densidade:** este cenário visa analisar o consumo dos protocolos em localidades de baixo tráfego, como bairros residenciais distantes dos grandes centros urbanos e fora do horário de *rush*. Neste caso temos poucos encontros e os mesmos são de curta duração, dificultando o envio de mensagens.

**Cenário 2 – Alta densidade:** neste caso, o objetivo do cenário é analisar o consumo energético nos grandes centros das cidades, especialmente durante o horário de *rush*, onde o número de veículos é alto e velocidade de tráfego é baixa, implicando um grande número de conexões possíveis que podem durar por bastante tempo.

Os parâmetros da simulação deste estudo podem ser vistas na Tabela 1, na qual foram detalhados os valores do tamanho da área e duração da simulação. Nesta tabela também especificamos as configurações da interface de rede utilizada pelos nós e os parâmetros para geração de mensagens pelo simulador.

Parâmetro	Valor
Dimensão do cenário	4500 x 3400 m
Tempo de simulação	86400 s
Velocidade de Transmissão	1 Mb
Alcance da Transmissão	50 m
Tempo de scan	32 s
Tamanho do Buffer	32 MB
Intervalo de geração de mensagens	25 a 35 s
Tamanho da mensagem	500 KB a 1 MB

**Tabela 1. Configurações do cenário de simulação**

Na tabela 2, temos as informações referentes às configurações dos nós que fazem parte da rede. Temos 4 grupos com características distintas comunicando entre si, pedestres, veículos elétricos, veículos à combustão e bonde.

Como características dos veículos elétricos temos os dados referente a capacidade da bateria e à autonomia do veículo, que foram obtido no site da Tesla, baseando no *Model S 75D*. Temos também o consumo de energia da placa de rede durante o *scan* da rede e a transmissão de mensagens, de acordo com os trabalhos de [Silva et al. 2012]. Consideramos a bateria com capacidade de 75 kWh e o veículo consumindo 188 W/kM [Tesla 2018], enquanto a placa de rede consome 0.93 mW durante o *scan* e 0.08 mW para responder e transmitir uma mensagem [Silva et al. 2012].

Temos ainda informações sobre o número de nós, sendo total de 192 nós para o cenário denso e 80 nós para o cenário esparsos. Cada nó possui um *buffer* que armazena 32MB. O cenário é a cidade de *Helsinki* e o movimento dos nós dos pedestres, dos



veículos elétricos e dos veículos à combustão são aleatórios no mapa. Já os nós dos bondes se movimentam obedecendo a uma rota definida.

Utilizando o modelo de veículo elétrico descrito, focamos as análises deste estudo no consumo energético dos protocolos de roteamento. Porém não descartamos outras métricas, como o atraso e a probabilidade de chegada da mensagem, que são muito importantes no contexto de redes oportunistas.

	Pedestre	Veículo Elétrico	Veículo à combustão	Bondes
Nº de nós (denso)	40	60	80	16
Nº de nós (esparso)	14	20	30	16
Velocidade (km/h)	2 a 5.5	10 a 50	10 a 50	5 a 37
Movimento	Aleatório	Menor caminho	Menor caminho	Ruas definidas

**Tabela 2. Configurações dos nós**

## 5. Resultados obtidos

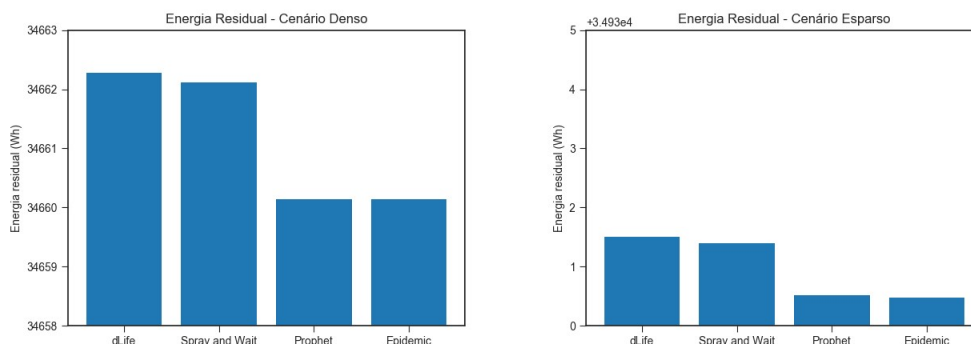
As simulações foram executadas por um tempo equivalente a 24 horas. Os resultados foram coletados e são analisados nesta seção. Na Tabela 3, podemos ver um resumo do tráfego de mensagens pelos nós. A simulação considerou 20 veículos elétricos no cenário esparso (total 80 nós) e 60 veículos elétricos no cenário denso (total 196 nós).

O protocolo de encaminhamento *dLife* é o que resulta em maior energia residual, seguido pelo *Spray And Wait* (SnW). Neste caso, o veículo elétrico teria uma autonomia maior usando protocolo de encaminhamento *dLife* para a comunicação oportunista proposta. O protocolo *dLife* possui uma característica de encaminhamento com base no dinamismo do comportamento do usuário. O *Spray and Wait* encaminha mensagens considerando um limite máximo de mensagens a ser enviadas, calculado conforme a densidade da rede. Estas características permitem a redução do consumo de energia favorecendo a autonomia do veículo. O protocolo *Epidemic* é o de maior gasto energético. Isto se dá pela característica de disseminação, onde um nó recebe uma mensagem e encaminha para todos os vizinhos. Esta característica de encaminhamento leva ao consumo maior de energia do protocolo, reduzindo a energia que o veículo poderia utilizar para seu deslocamento. Considerando o número de mensagens entregues deparamos com a figura 3.

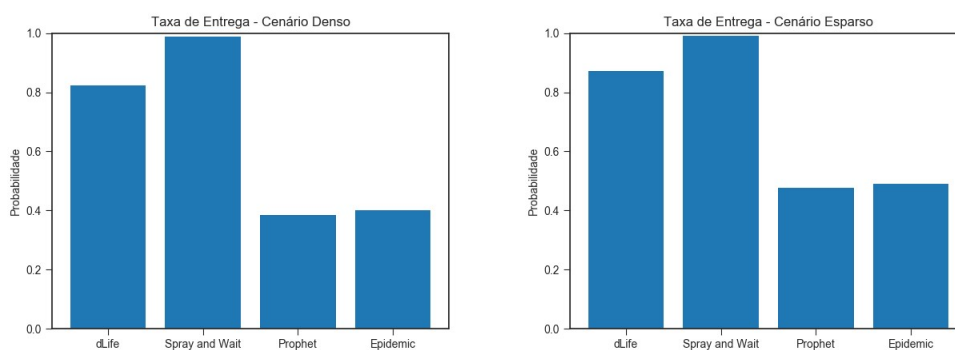
	Spray and Wait	dLife	Epidemic	Prophet
Mensagens criadas	2939	2939	2939	2939
Mensagens entregues	2909	2565	1439	1399
Probabilidade de entrega	0.99	0.87	0.49	0.48
Atraso médio	919.987	4579.889	1206.295	1336.715
Mediana do atraso	726.840	3317.700	955.480	1049.120

**Tabela 3. Resultado das simulações**

O *Spray and Wait* é o que tem maior taxa de entrega de mensagens, entregando 99% das mensagens durante as 24 horas, enquanto o *dLife* entrega 12% a menos, com uma taxa de entrega de 87% das mensagens. Os protocolos *Epidemic* e *Prophet* possuem taxa



**Figura 2. Energia residual de cada protocolo em cada cenário ao final da simulação**



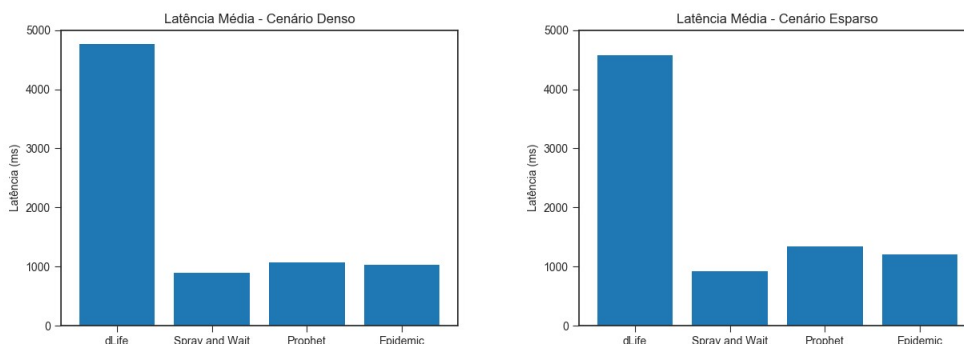
**Figura 3. Taxa de entrega**

de entrega de 49% e 48% respectivamente, uma diferença de apenas 1 ponto percentual, e consumo de energia elevado. Considerando que o movimento do veículo é similar em cada protocolo simulado, o baixo índice de entrega se justifica pelas características do próprio protocolo. O *Epidemic* dissemina as mensagens a todos os nós; isto leva ao *buffer overflow*, não permitindo uma taxa de entrega maior no prazo de 24 horas. Já o *Prophet* analisa primeiro o comportamento do nó e considera a probabilidade de fazer o mesmo caminho novamente e, assim, entregar a mensagem.

A latência média dos protocolos mostra uma diferença muito grande para o protocolo *dLife* e os demais protocolos. O *Spray and Wait* apresenta menor taxa de latência, seguido pelo *Epidemic* e depois pelo *Prophet*. O *dLife* apresenta uma latência quase 5 vezes superior à latência do *Spray and Wait*. Esta latência justifica a taxa de entrega menor do *dLife* em relação ao *Spray and Wait*.

A latência do protocolo *dLife* é alta em função de sua característica de consciência social, e sua taxa de entrega é menor que o *Spray And Wait*, mas ele ainda tem uma taxa de entrega de 87%. Ao analisarmos os gastos de energia nos protocolos temos os resultados apresentados na Figura 2.

Considerando os dados apresentados, a escolha pelo protocolo de menor consumo energético não prejudicaria a entrega de mensagem se levarmos em conta o benefício direto em relação à economia de energia, para fins de movimentação de veículo elétrico.



**Figura 4. Latência Média**

## 6. Conclusão

Neste trabalho propusemos um modelo de veículos elétricos para simulação e análise de consumo energético em simuladores. Esta abstração propõe que automóveis elétricos podem ser modelados a partir da capacidade de sua bateria e de seu gasto por quilômetro. Seu consumo pode ser calculado multiplicando-se a distancia percorrida pelo gasto. A autonomia destes veículos será maior se os mesmos tiverem seus componentes eletrônicos consumindo a menor energia possível.

Com este simples modelo, analisamos os protocolos almeçados nesta pesquisa, *dLife*, *Epidemic*, *Prophet* e *Spray and Wait*, em dois cenários distintos, variando a densidade dos nós.

Nos cenários analisados, concluímos que a autonomia do veículo seria maior se utilizássemos o protocolo de encaminhamento *dLife*. O protocolo *Spray and Wait* viria como segunda opção do ponto de vista de consumo energético, embora possua uma taxa de entrega e uma latência média superior aos demais protocolos. Se o veículo elétrico trabalhasse com os protocolos *Epidemic* e *Prophet* a autonomia do veículo reduziria, visto que o consumo energéticos destes protocolos é maior, a taxa de entrega destes protocolos é baixa, o que tornaria mais negativo o uso destes protocolos na rede veicular.

Para trabalhos futuros, pretendemos melhorar o modelo de bateria utilizado e analisar outros protocolos e diferentes cenários, a fim de obter uma melhor perspectiva dos mesmos em veículos elétricos. Os cenários ainda podem ser variados conforme a velocidade de veículos; pode-se ainda aumentar a densidade e considerar apenas veículos elétricos na comunicação.

## Referências

- Baji Baba, S. and Rao, K. M. (2016). Improving the network life time of a wireless sensor network using the integration of progressive sleep scheduling algorithm with opportunistic routing protocol. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(17).
- Bali, R. S., Kumar, N., and Rodrigues, J. J. (2017). An efficient energy-aware predictive clustering approach for vehicular ad hoc networks. *International Journal of Communication Systems*, 30(2).

- Engenharia E (2018). Shenzhen anuncia sua nova frota de mais de 16.000 ônibus elétricos. online.
- Globo (2018). Frota mundial de carros eletrificados cresce 55% em um ano. online.
- Keränen, A., Ott, J., and Kärkkäinen, T. (2009). The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. In *SIMUTools '09: Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*, New York, NY, USA. ICST.
- Khan, M. K. M. and Rahim, M. S. (2018). Performance analysis of social-aware routing protocols in delay tolerant networks. *International Conference on Computer, Communication, Chemical, Materials and Electronic Engineering*.
- Landsiedel, O., Ghadimi, E., Duquenooy, S., and Johansson, M. (2012). Low power, low delay: opportunistic routing meets duty cycling. In *Proceedings of the 11th international conference on Information Processing in Sensor Networks*, pages 185–196. ACM.
- Miller, T. (1993). *Switched Reluctance Motors and Their Control (Monographs in Electrical and Electronic Engineering)*. Clarendon Press.
- Mota, V. F., Cunha, F. D., Macedo, D. F., Nogueira, J. M., and Loureiro, A. A. (2014). Protocols, mobility models and tools in opportunistic networks: A survey. *Computer Communications*, 48:5–19.
- Pond, B. L., Júnior, A. C. O., and Moreira, W. (2013). Aspectos sociais como suporte ao roteamento em redes oportunistas. pages 1–6.
- Silva, D. R., Costa, A., and Macedo, J. (2012). Energy impact analysis on dtn routing protocols. *ExtremeCom 2012*, pages 1–6.
- Tesla (2018). Model s — tesla. online.
- Toutouh, J., Nesmachnow, S., and Alba, E. (2013). Fast energy-aware olsr routing in vanets by means of a parallel evolutionary algorithm. *Cluster computing*, 16(3):435–450.
- Trifunovic, S., Kouyoumdjieva, S. T., Distl, B., Pajevic, L., Karlsson, G., and Plattner, B. (2017). A decade of research in opportunistic networks: Challenges, relevance, and future directions. *IEEE Communications Magazine*, 55(1):168–173.
- Verge, T. (2017). Volvo to end gas-only cars by 2019. online.
- Yousefi, S., Mousavi, M. S., and Fathy, M. (2006). Vehicular ad hoc networks (vanets): challenges and perspectives. In *ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6th International Conference on*, pages 761–766. IEEE.