

Planejando a Infraestrutura de Comunicação para a Distribuição de Mídias em Tempo Real para Veículos

Leonardo A. A. Pereira¹, João F. M. Sarubbi²,
Cristiano G. Pitangui¹, Cristiano M. Silva¹

¹Universidade Federal de São João Del-Rei – Minas Gerais – Brasil

²Centro Federal de Educação Tecnológica – Minas Gerais – Brasil

leonardoapereira@gmail.com, joao@decom.cefetmg.br

{pitangui.cristiano, cristiano}@ufsj.edu.br

Abstract. *In this work we propose Sigma-Deployment as solution for communication in vehicular networks that relies on V2I communication. The solution uses the "inter-contact" time between vehicles and infrastructure and the speeds of consumption and transfer of data to allocate communication units over the road mesh. These parameters ensure that a certain fraction of vehicles maintain frequent contact with the network and that these vehicles always have data to consume. The Sigma-Deployment is compared with the Densest Locations strategy and it shows improvements.*

Resumo. *Este trabalho propõe a Deposição-Sigma como solução para comunicação em redes veiculares que utilizem de comunicação V2I. A solução utiliza o tempo entre contatos de veículos com a infraestrutura e as velocidades de transferência e consumo de dados para alocar RSUs ao longo da malha rodoviária. Estes parâmetros asseguram que certa fração de veículos mantêm contato frequente com a rede e que estes veículos possuam sempre dados para consumir. A Deposição-Sigma é comparada com a estratégia Densest Locations e os resultados demonstram melhorias.*

1. Introdução

Nos Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT), veículos, pedestres, ciclistas, usuários do transporte públicos, semáforos, e sensores de via são integrados em uma única rede, e tais elementos atuam como sensores da mobilidade urbana coletando grandes quantidades de dados que são processados e devolvidos aos motoristas na forma de recomendações de tráfego [Silva et al. 2015a]. Nestes sistemas, a comunicação é questão central, entretanto, a grande mobilidade dos veículos impõe grandes desafios.

Estratégias semelhantes as utilizadas em redes celulares não demonstram ser adequadas ao contexto de redes veiculares, pois demandam cobertura ao longo de toda a viagem, enquanto veículos podem atravessar áreas de cobertura localizadas ao longo da malha viária. Semelhantemente, estratégias baseadas na latência e largura de banda tornam-se dependentes da localização e oscilam de acordo com a posição do nó (veículo) a ser avaliado. Através da disponibilização de uma infraestrutura de comunicação, aqui chamada de RSU¹, pode-se criar uma rede veicular que permite a coleta e disseminação de dados de tráfego.

¹Refere-se ao termo "Unidade de beira de estrada", do inglês "Roadside Unit"

Neste trabalho é apresentada uma solução para alocação de RSUs em redes veiculares que utilizem comunicação V2I², e que necessitem de regularidade no tempo entre contatos (tempo que um veículo passa sem se conectar à uma RSU) dos veículos com a infraestrutura. Esta estratégia também garante que para a fração de veículos que manter a regularidade citada, haverá dados disponíveis para consumo durante toda suas trajetórias.

Este trabalho propõe a métrica *Deposição-Sigma* (σ) para caracterizar o desempenho de uma dada distribuição de RSUs. Uma dada distribuição $\sigma[\rho|\tau|v_c|v_d]$ garante que ρ por cento dos veículos passam por RSUs em intervalos de tempo não maiores que τ segundos, e que estes veículos mantêm sua carga de dados acima de zero, sendo esta controlada pelas velocidades de download v_d e consumo v_c .

O presente trabalho apresenta a métrica *Deposição-Sigma* em conjunto com a estratégia de deposição *Sigma- ϕ* para realizar a deposição das RSUs baseada no tempo entre contatos dos veículos com a infraestrutura e na oscilação da quantidade de dados obtido da rede. *Sigma- ϕ* demonstra-se eficiente em oferecer regularidade de contatos e transferência de informações dentro de uma rede veicular, garantindo o tempo entre contatos para determinada fração de veículos de forma que esses veículos consigam receber dados ao longo de todo o seu trajeto. *Sigma- ϕ* oferece ao administrador da rede a capacidade de monitorar-la com alto nível de assertividade e, por meio da propagação da informação, permite a detecção de incidentes e pronta resposta em recomendações de tráfego.

Compara-se a estratégia proposta com a deposição intuitiva de implantar as RSUs nos locais de maior concentração de veículos (DL ou *Densest Locations*). Os resultados experimentais demonstram que *Sigma- ϕ* reduz o número de RSUs necessárias para obter a mesma cobertura proporcionada pela *Densest Locations (DL)* (15,49% a 41,58%), sem gerar grande impacto no desempenho da rede, ou mesmo zero em alguns casos.

Este trabalho diferencia-se de outros por considerar a influência das velocidades de download e consumo de dados na alocação das RSUs, garantindo que uma determinada fração de veículos mantenha sua carga de dados acima de zero durante toda a trajetória, e por garantir a regularidade de contatos e transferência dentro da rede veicular em questão.

O restante deste trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma: A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A seção 3 introduz a *Deposição-Sigma*. A seção 4 introduz o algoritmo utilizado na estratégia *Sigma- ϕ* . A seção 5 apresenta a estratégia *DL* usada na comparação de resultados. A seção 6 apresenta os resultados obtidos através de experimentos. A seção 7 conclui o trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

A literatura apresenta estudos analíticos sobre garantias mínimas de qualidade da rede veicular. Tipicamente, esses trabalhos apresentam limites máximos para a transmissão de dados. Como exemplo, [Zheng et al. 2010] apresenta a avaliação de uma estratégia de implantação de infraestrutura através do conceito de oportunidade de contato. Já o trabalho [Lee and Kim 2010] propõe uma heurística para a implantação de infraestrutura que busca ampliar a conectividade dos veículos e reduzir o intervalo sem conexões. Por sua vez, [Nekoui et al. 2008] propõe a implantação de infraestrutura com base na definição de capacidade de transporte.

²Comunicação Veículo-Infraestrutura

Em termos de estratégias geométricas, [Cheng et al. 2013] propõem uma heurística para solucionar o problema da máxima cobertura, enquanto que [Patil and Gokhale 2013] empregam diagramas de Voronoi. Já em termos de modelos de otimização, [Aslam et al. 2012] usam Programação Inteira Binária para o problema de alocação de infraestrutura. A partir da eliminação de vias secundárias, as vias principais são modeladas como uma grade (*grid*). [Wu et al. 2012] consideram um cenário de autoestrada com múltiplas pistas, e abordam também a comunicação de múltiplos saltos.

[Trullols et al. 2010] e [Cataldi and Harri 2011] propõem a modelagem de alocação de RSUs como um problema de máxima cobertura, assumindo-se a premissa de conhecimento prévio das trajetórias dos veículos. Já Silva et al. [Silva et al. 2015b] propõem a modelagem via problema da máxima cobertura probabilística (PMCP).

Diferentemente das abordagens anteriores, a estratégia proposta neste trabalho considera o tempo entre contatos e o controle da carga de dados do veículos para identificar os melhores locais para implantação das RSUs, permitindo o amplo sensoriamento do tráfego, bem como a elaboração de estratégias sofisticadas para entrega de conteúdos em redes veiculares.

3. Apresentação da Deposição-Sigma

A *Deposição-Sigma* (σ) é uma métrica utilizada para caracterizar o desempenho de uma distribuição de RSUs ao longo de uma malha rodoviária. Estas RSUs fazem parte da rede veicular local e utilizam protocolo de comunicação V2I.

A alocação de RSUs é modelada de acordo com o tempo entre contatos e as velocidades de download e consumo de dados. Esta deposição tem como objetivo oferecer regularidade de contatos e a disseminação de informações para uma determinada fração de veículos de modo que, através desta disseminação é possível a detecção de incidentes de trânsito e a pronta resposta em recomendações de tráfego. Deste modo, a *Deposição-Sigma* faz com o que o administrador da rede torne-se capaz de monitorar o fluxo do tráfego com alto nível de assertividade.

O tempo entre contatos τ regula a velocidade com que os dados são disseminados. Uma redução no valor de τ acarreta na redução de RSUs utilizadas, porém diminui a precisão de controle da rede, visto que as informações irão levar mais tempo para atingir os usuários. As velocidades de download v_d (velocidade cujo os dados são baixados) e consumo v_c (velocidade no qual os dados se esgotam, por exemplo, o tempo necessário para executar um vídeo baixado) de dados controlam a carga³ total do veículo Q . Se um veículo possuir carga positiva significa que, mesmo fora da cobertura de uma RSU, ele possui informações sobre a rede recebidas de RSUs anteriores.

A diferença entre a velocidade de download e a de consumo é chamada de velocidade de recarga. Para que se tenha uma configuração válida, é necessário que a velocidade de download seja sempre maior que a de consumo, caso contrário a velocidade de recarga será menor ou igual a zero. Deste modo, quando um veículo está dentro da área de cobertura de uma RSU, este está ganhando mais carga do que consome pois $v_d > v_c$, ou seja, está recarregando. Quando está fora da área de cobertura, o mesmo somente perde carga. Em redes com valores de download e consumo próximos mais RSUs são

³Quantidade de dados disponível.

necessárias, pois a velocidade de recarga será lenta. Parte da caracterização proposta pela métrica *Deposição-Sigma* é expressa pelo gráfico Sigma a seguir. O eixo Y expressa o desempenho máximo⁴ da rede para os valores de τ correspondentes no eixo x.

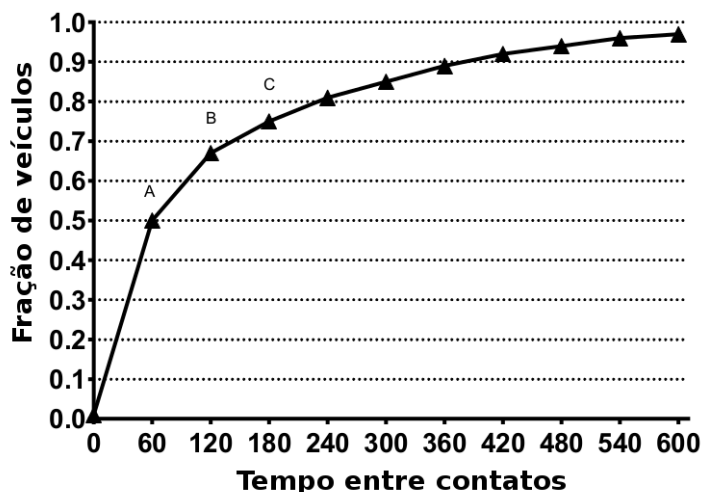


Figura 1. Relação entre tempo entre contatos e a porcentagem de veículos cobertos.

A figura 1 apresenta a análise de desempenho para a deposição $\sigma[50|60|1.00|2.00]$. O ponto A indica que 50% dos veículos realizam contatos em intervalos menores ou iguais a 60 segundos. Já o ponto B indica que 68% dos veículos realizam contatos em intervalos menores ou iguais a 120 segundos. Por fim, o ponto C indica que 76% dos veículos realizam contatos em intervalos menores ou iguais a 180 segundos.

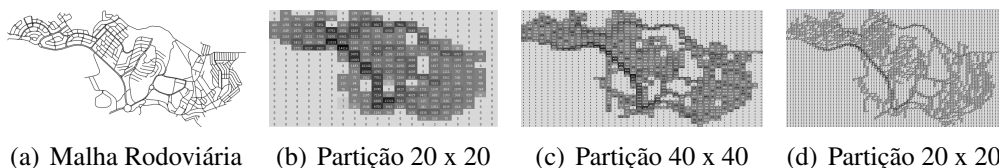


Figura 2. Exemplos de particionamentos da malha rodoviária

A fim de generalizar as diferentes formas e topografias das malhas rodoviárias, propõe-se o particionamento da área em um conjunto de $\psi \times \psi$ células de mesmo tamanho. Caso o projeto necessite de maior/menor precisão, aumenta-se/diminui-se o valor de ψ , o que diminui/aumenta o tamanho de cada célula. Ao se realizar este particionamento, não se objetiva representar raios de cobertura, mas sim dividir a malha viária em células de mesmo tamanho, assume-se então que uma RSU é capaz de cobrir a área de uma célula urbana independente de fatores externos tais como relevo, construções bloqueando sinais, etc. Por fim, a partição diminui a quantidade de locais a serem avaliados, e consequentemente reduz o esforço computacional. As Figuras 2(a) - 2(d) representam exemplos de possíveis particionamentos.

⁴Porcentagem máxima de veículos que pode ser coberta de acordo com os parâmetros iniciais.

4. Heurística Sigma

Nesta seção apresenta-se a estratégia *Sigma- ϕ* utilizada pela *Deposição Sigma* para alocar as RSUs. Em *Sigma- ϕ* , um veículo v é considerado coberto quando:

- O tempo entre contatos de v não ultrapassou o valor τ ;
- A carga Q de v manteve-se acima de zero durante toda a trajetória do veículo.

A heurística recebe como parâmetros:

- A malha rodoviária (M);
- A porcentagem de veículos à ser coberta (ρ);
- O tempo limite entre contatos (τ);
- A velocidade de consumo de dados (v_c);
- A velocidade de download de dados (v_d);
- O fluxo de veículos (V).

Sigma- ϕ é composta por três etapas, listadas abaixo e detalhadas logo em seguida.

- 1 - **Deposição inicial:** etapa responsável por alocar as unidades de comunicações em suas posições iniciais, utilizando os pontos com maior tempo de permanência de veículos, até satisfazer os parâmetros iniciais;
- 2 - **Busca local:** as RSUs alocadas em 1 são movidas em sua vizinhança buscando-se maximizar o total de veículos cobertos. Ao final, o número de RSUs não é alterado, no entanto, a quantidade de veículos cobertos pode ser maior que o valor inicial de ρ estabelecido;
- 3 - **Remoção de unidades extras:** tendo que o passo 2 obteve sucesso em aumentar a quantidade de veículos cobertos, este passo remove as RSUs em excesso, selecionando as que geram menor impacto no total de veículos cobertos, até que se atinja o objetivo de ρ por cento dos veículos.

4.1. Deposição Inicial

Esta etapa realiza a deposição inicial de antenas, gerando o conjunto solução inicial Υ . Este conjunto, mesmo sendo uma solução válida para o problema, ainda não estará otimizado e ainda será processado nas etapas Busca Local e Remoção de Unidades Extras.

O algoritmo 1 demonstra esta etapa. Recebe-se como entrada, a malha rodoviária já particionada (M), o fluxo de veículos (V), o tempo limite entre contatos (τ), a fração de veículos a ser coberta (ρ) e as velocidades de download (v_d) e de consumo (v_c). Ao final, é obtido o conjunto Υ indicando as RSUs alocadas e suas posições.

A estratégia *Sigma- ϕ* começa selecionando o primeiro veículo V_i . Supõe-se que este veículo tem carga inicial igual a $v_c \times \tau$ e seu tempo inicial entre contatos igual a zero, deste modo o veículo é capaz de percorrer τ segundos sem a necessidade de encontrar uma RSU. A cada célula que este veículo percorre, o mesmo permanece t segundos na mesma, caso esta célula não possua uma RSU, subtrai-se de sua carga $v_c \times t$, adiciona-se ao tempo entre contatos t , e esta célula é guardada em um conjunto temporário ζ . Caso esta célula possua uma RSU, adiciona-se à carga do veículo $(v_d - v_c) \times t$, o tempo entre contatos é zerado, e o conjunto ζ é limpo.

Caso o tempo entre contatos ultrapasse o valor de τ , ou a carga atinja valores menores ou iguais a zero, todas as células em ζ passam a ser consideradas candidatas

Algoritmo 1 Deposição Inicial

Entrada: $M, V, \tau, \rho, v_c, v_d$;

Saída: Υ

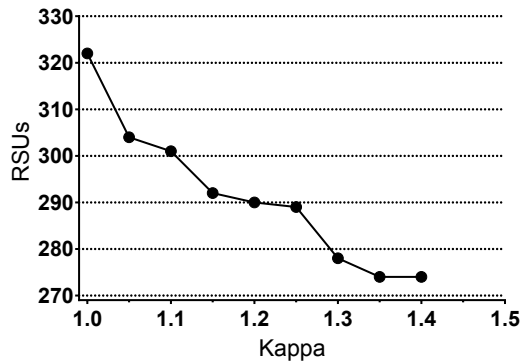
```
1:  $\Upsilon \leftarrow \emptyset$ ; ▷ O conjunto soluções é iniciado vazio.
2: VeículosCobertos  $\leftarrow 0$ ; ▷ Inicia a variável quantidade de veículos cobertos.
3: repeat
4:   Para Todo(a) Veículo dentro do conjunto V Faça
5:      $T \leftarrow 0$ ; ▷ Zere o tempo sem RSU.
6:      $Q \leftarrow v_c \times \tau$ ; ▷ Defina a carga inicial.
7:      $\zeta \leftarrow \emptyset$ ; ▷ Esvazie o vetor temporário de RSUs.
8:     Para Todo(a) Célula C trafegada pelo veículo Faça
9:       Se Célula possui RSU Então
10:         $Q \leftarrow Q + (v_d - v_c) \times \tau$ ; ▷ Atualize a carga do veículo.
11:         $T \leftarrow 0$ ; ▷ Zere o tempo sem RSU.
12:         $\zeta \leftarrow \emptyset$ ; ▷ Esvazie o vetor temporário de RSUs.
13:        Senão
14:           $Q \leftarrow Q - v_c \times \tau$ ; ▷ Remova carga do veículo.
15:           $T \leftarrow T + \text{TempoNaCelula}()$ ; ▷ Incremente o tempo sem RSU.
16:           $\zeta \leftarrow C$ ; ▷ Guarde a célula no vetor temporário de RSUs.
17:        Fim Se
18:        Se  $T > \tau$  ou  $Q \leq 0$  Então
19:          Para Todo(a) Célula no vetor temporário de RSUs Faça
20:            Incremente a pontuação da célula de acordo com o tempo;
21:          Fim Para
22:           $\zeta \leftarrow \emptyset$ ; ▷ Esvazie o vetor temporário de RSUs.
23:        Fim Se
24:      Fim Para
25:    Fim Para
26:    Selecione a célula com maior pontuação;
27:    BuscaLocal(); ▷ Realize a busca local nesta célula
28:     $\Upsilon \leftarrow \text{MelhorCélula}$ ; ▷ A melhor posição é adicionada ao conjunto solução.
29:    LimpaPontuações(); ▷ Limpa a pontuação de todas as células.
30:    VeículosCobertos  $\leftarrow \text{ComputaVeículosCobertos}(M, v_c, v_d, \rho, \tau)$ ; ▷ Atualiza a quantidade de veículos cobertos.
31:  until (VeículosCobertos  $< \rho$ ); ▷ Enquanto o parâmetro  $\rho$  não for atingido.
32:   $\Phi \leftarrow \text{ComputaTotalRSUs}(\Upsilon) \times \kappa$ ;
33:  Enquanto ( $\text{ComputaTotalRSUs}(\Upsilon) < \Phi$ ) Faça ▷ Enquanto o total de RSUs  $\Phi$  não for atingido.
34:    Repita de 4 a 29; ▷ Repete o loop anterior, sem a necessidade de calcular os veículos cobertos.
35:  Fim Enquanto
36:  Retorne  $\Upsilon$ 
```

a receberem RSUs. Para isto, todas tem sua pontuação incrementada de acordo com o tempo que o veículo passou naquela célula. Em seguida, o vetor ζ é novamente zerado.

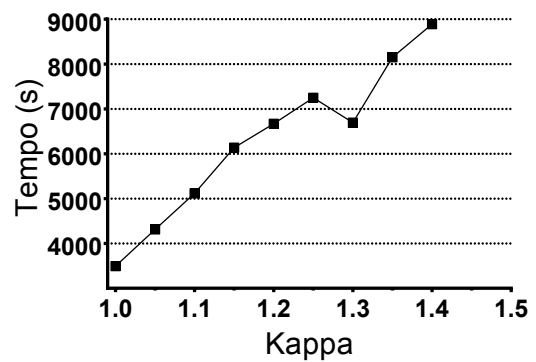
Após repetir o procedimento para todos os veículos, a célula com maior pontuação é selecionada e, todas as posições as seu redor (com distância máxima de 1 quadrante) são avaliadas de modo que a posição que obter o maior número de veículos cobertos quando adicionado uma RSU na mesma é adicionada ao conjunto solução Υ . Em seguida, a pontuação de todas as células é zerada. Este procedimento é realizado até que o total de veículos cobertos atinja o valor de ρ .

Em seguida, são alocadas κ por cento antenas a mais, com objetivo de aumentar o tamanho do conjunto solução Υ . Esta expansão acarreta na otimização da etapa 2 (Busca Local) e, conseqüentemente, apresenta melhores resultados finais. Entretanto, quanto maior o valor de κ maior o tempo necessário para a conclusão do algoritmo.

A figura 3(a) demonstra a relação entre κ e o número final de RSUs, e a figura 3(b) entre κ e o tempo gasto em segundos. Para os valores de $\kappa = 1.35$ e 1.4 o número final de RSUs permaneceu o mesmo, entretanto o tempo aumentou de aproximadamente 750 segundos. Considera-se então 1.35 como o valor limite, ou seja, acima deste ponto, a diferença no número de RSUs será desprezível comparada a diferença no tempo gasto.



(a)



(b)

Figura 3. Comparação dos valores de κ em relação ao número de RSUs e ao tempo gasto.

4.2. Busca Local

Após a etapa 1, tem-se o conjunto solução Υ , este conjunto é composto pelas unidades de comunicações e suas posições na malha rodoviária. Esta etapa tem por objetivo otimizar as posições de todas as RSUs pertencentes a Υ . Para isso é utilizada a estratégia conhecida como subida de encosta (*Hill Climbing*).

Algoritmo 2 Busca Local

Entrada: $\Upsilon, M, V, \tau, \rho, v_c, v_d$;

Saída: Υ

```

1: repeat
2:   HouveMudança = 0;
3:   Para Todo(a)  $RSU_i$  no conjunto  $\Upsilon$  Faça
4:     coberturaOriginal = ComputaVeículosCobertos( $\Upsilon, M, v_c, v_d, \rho, \tau$ );
5:     PosiçãoOriginal =  $RSU_i.pos$ ;
6:     Para Todo(a) (Posições na Vizinhança) Faça
7:       Mova a  $RSU_i$  para a nova posição;
8:        $TVL[NovaPosição]$  = ComputaVeículosCobertos( $\Upsilon, M, v_c, v_d, \rho, \tau$ );
9:     Fim Para
10:    MelhorResultado =  $TVL.MaiorValor()$ ;
11:    MelhorPosição =  $TVL.PosiçãoDeMaiorValor()$ ;
12:    Se (MelhorResultado > coberturaOriginal) Então
13:       $RSU_i.pos$  = MelhorPosição;
14:      HouveMudança = 1;
15:    Senão
16:       $RSU_i.pos$  = PosiçãoOriginal;
17:    Fim Se
18:  Fim Para
19: until (HouveMudança == 1);

```

O algoritmo seleciona a primeira antena (RSU_i) do conjunto Υ e a move em sua vizinhança. Em cada nova posição o total de veículos cobertos é recalculado e seu resultado guardado no vetor temporário TVL . Ao se mover para todas as posições possíveis em sua vizinhança, o maior valor de TVL é comparado com a quantidade inicial de veículos cobertos, caso seja maior, a RSU é movida para a posição que gerou este novo valor, caso seja menor ou igual, a RSU permanece na sua posição original. Este processo é repetido com todas as antenas do conjunto Υ .

Entretanto, como o algoritmo verifica as $RSUs$ de maneira ordenada, quando se modifica a posição da RSU RSU_i , para todas as unidades anteriores a i podem surgir novas

posições com melhores resultados. Logo, a etapa de Busca Local é realizada enquanto houver trocas dentro do conjunto Υ .

O algoritmo 2 formaliza esta etapa. Recebe-se como entrada, a malha rodoviária já particionada (M), o fluxo de veículos (V), o tempo limite entre contatos (τ), a fração de veículos a ser coberta (ρ) e as velocidades de download (v_d) e de consumo (v_c). Ao final, é obtido o conjunto Υ otimizado.

4.3. Remoção de Unidades Extras

A otimização gerada pela etapa 2 acarreta no aumento da quantidade de veículos cobertos da etapa 1. A etapa 3 tem como proposta a remoção de RSUs em excesso, diminuindo o total de veículos cobertos, porém sem atingir valores abaixo de ρ . Basicamente, para cada RSU, é calculado o impacto gerado no total de veículos cobertos ao se remover a unidade e, então, remove-se a unidade que gera o menor impacto. Este processo é repetido enquanto o total de veículos cobertos for maior que ρ .

Algoritmo 3 Remoção de Unidades Extras

Entrada: $\Upsilon, M, V, \tau, \rho, v_c, v_d$;

Saída: Υ

```

1: Enquanto VeículosCobertos <  $\rho$  Faça VeículosCobertos = ComutaVeículosCobertos( $\Upsilon, M, v_c, v_d, \rho, \tau$ );
2:   Para Todo(a) ( $RSU_i \in \Upsilon$ ) Faça
3:      $\Upsilon' \leftarrow \Upsilon - RSU_i$ ;
4:     Impacto[ $i$ ] = VeículosCobertos - ComutaVeículosCobertos( $\Upsilon', M, v_c, v_d, \rho, \tau$ );
5:   Fim Para VeículosCobertos = Impacto.MaiorResultado();
6:   Se VeículosCobertos >  $\rho$  Então
7:      $\Upsilon \leftarrow \Upsilon'$ ;
8:   Senão
9:     Fim();
10:  Fim Se
11: Fim Enquanto
12: Retorne  $\Upsilon$ ;
```

O algoritmo 3 formaliza esta etapa. Recebe-se como entrada, a malha rodoviária já particionada (M), o fluxo de veículos (V), o tempo limite entre contatos (τ), a fração de veículos a ser coberta (ρ) e as velocidades de download (v_d) e de consumo (v_c). Ao final, é obtido o conjunto Υ final.

5. Estratégia DL

Com o objetivo de comparar o desempenho da estratégia Sigma- ϕ , utiliza-se a estratégia DL, que consiste em alocar as RSUs nos pontos de maior densidade de tráfego e que ainda não possuem RSU. O algoritmo a seguir formaliza a estratégia DL, que recebe como parâmetros a malha rodoviária (M), o conjunto de veículos (V), o tempo máximo "entre-contatos" (τ) e as velocidades de download (v_d) e de consumo (v_c).

Algoritmo 4 Estratégia DL

Entrada: $M, V, \tau, \rho, v_c, v_d$;

Saída: Υ

```

1: Enquanto (VeículosCobertos <  $\rho$ ) Faça
2:   Adicione uma RSU na célula de maior densidade de tráfego;
3: Fim Enquanto
4: Retorne  $\Upsilon$ ;
```

6. Resultados Experimentais

Esta seção apresenta a comparação dos resultados obtidos em *Sigma* e DL. Como fluxo de veículos é utilizado o rastro (*trace*) realístico de mobilidade da cidade de Colônia (Alemanha). O fluxo conta com 7.200 segundos de tráfego e 75.515 veículos. Particionou-se a cidade de Colônia em uma grade de 100x100 células, a fim de se obter células que podem ser cobertas por apenas uma RSU. Através desta partição obteve-se células de 270m x 260m, um raio típico de cobertura para a comunicação veicular, conforme [Teixeira et al. 2014]. Os experimentos são realizados utilizando o simulador SUMO⁵.

Para todos os casos de teste foi utilizado $\kappa = 1.35$. Além deste ponto a melhora é insignificante comparado ao tempo de execução do algoritmo. Para comparar o desempenho das duas estratégias, dois resultados requerem maior atenção: a) investimentos necessários para se montar a rede; b) cobertura e QoS oferecida pela rede.

Os **investimentos** podem ser estimados através do número de RSUs utilizadas pela rede. Um alto número de RSUs pode indicar uma rede inviável financeiramente. Já a **cobertura** pode ser analisada através da própria Deposição Sigma que apresenta os níveis de desempenho da rede para diversos cenários.

6.1. Análise de Investimentos

A análise de investimentos compara o número de RSUs utilizadas por cada estratégia.

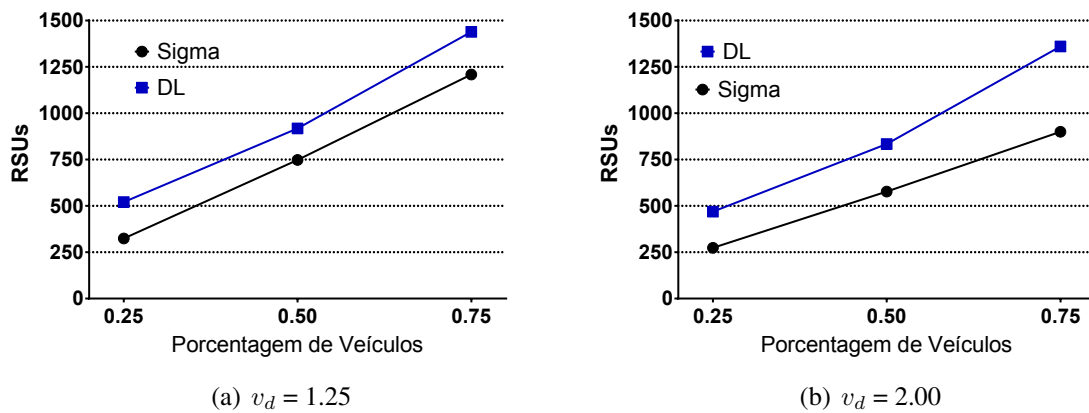


Figura 4. Caso 1 - Comparação do número de RSUs utilizado em Sigma- ϕ e DL. O eixo x representa a fração de veículos ρ e o eixo y a quantidade de RSUs utilizada.

As figuras 4(a) e 4(b) representam a análise de investimentos entre Sigma- ϕ e DL para o caso em que τ é 60 segundos, a fração de veículos ρ assume os valores de 25%, 50% e 75%, a velocidade de download (v_d) assume 1.25 e 2.00, e a velocidade de consumo (v_c) é fixa em 1. No melhor caso, $\rho = 25\%$, $v_d = 2.00$, Sigma- ϕ gasta 274 RSUs, enquanto DL requer 469, ou seja, uma redução superior à 41% no total de RSUs.

As figuras 5(a) e 5(b) representam a análise de investimentos entre Sigma- ϕ e DL para o caso em que τ é 90 segundos, a fração de veículos ρ assume os valores de 25%, 50% e 75%, a velocidade de download (v_d) assume 1.25 e 2.00, e a velocidade de

⁵Simulator Sumo: <http://sumo-sim.org>.

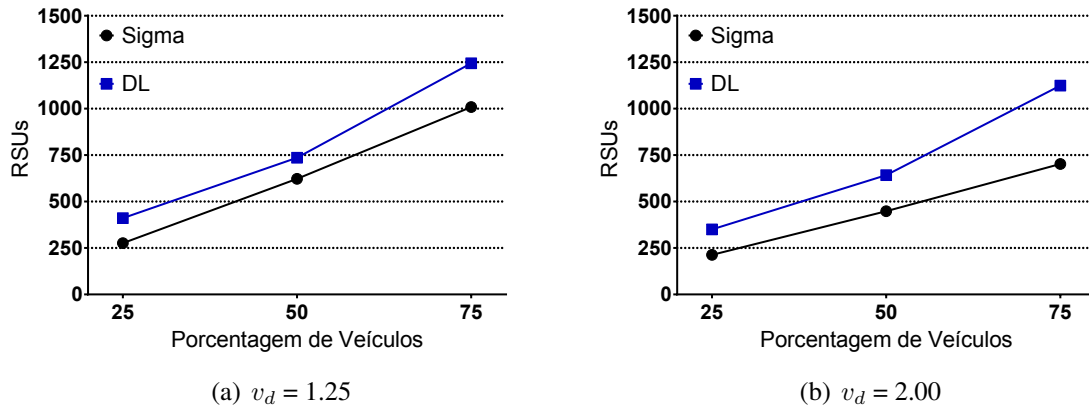


Figura 5. Caso 2 - Comparação do número de RSUs utilizado em Sigma- ϕ e DL. O eixo x representa a fração de veículos ρ e o eixo y a quantidade de RSUs utilizada.

consumo (v_c) é fixa em um. No melhor caso, $\rho = 25\%$, $v_d = 2.00$, Sigma- ϕ gasta 213 RSUs, enquanto DL requer 350, ou seja, uma redução de 39% no total de RSUs.

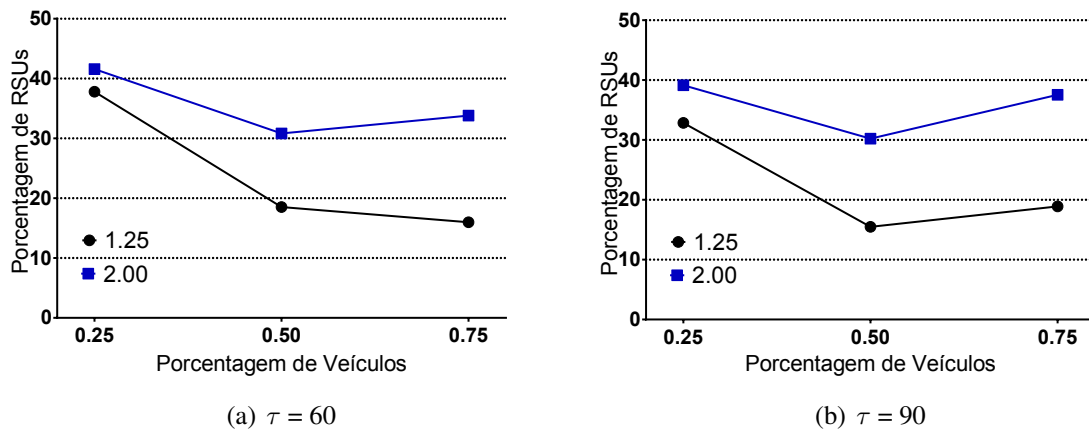


Figura 6. Porcentagem de RSUs que Sigma- ϕ gasta a menos que DL.

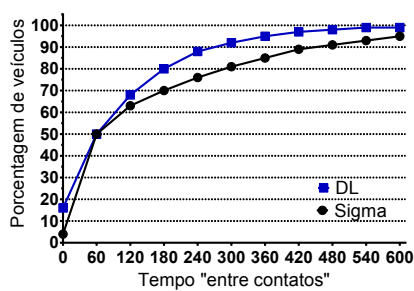
As figuras 6(a) e 6(b) resumem os resultados dos casos anteriores, indicando a porcentagem de RSUs que Sigma- ϕ gasta a menos que DL. Nos casos avaliados, Sigma- ϕ requer de -15% a -41% RSUs que DL. Nos casos citados acima, observa-se que Sigma foi capaz de obter a mesma cobertura que DL para os parâmetros desejados, porém reduzindo a quantidade de RSUs necessárias, o que acarreta na redução dos investimentos.

6.2. Cobertura

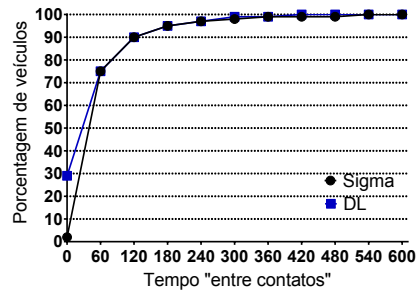
Parte da análise do desempenho da rede consiste em analisar a qualidade da cobertura oferecida pela mesma. A avaliação desta cobertura é apresentada nos gráficos Sigma- ϕ /DL a seguir. Estes apresentam a distribuição de veículos de acordo com o tempo entre contatos para uma determinada deposição Sigma- ϕ ou DL. O eixo x representa τ enquanto y indica o correspondente valor de ρ . Observa-se que pelo fato de DL utilizar mais RSUs que Sigma- ϕ , ela consegue cobrir mais veículos *Entre 15% e 0%* para valores de τ diferentes daquele passado como parâmetro. Entretanto, no último caso, a diferença cai menos de 5% quando o tempo entre contatos é maior que o τ desejado.

A figura 7(a) se refere às deposições *Sigma* e DL com parâmetros $\tau = 60$, $v_c = 1$, $v_d = 1.25$ e $\rho = 50$. O ponto $(x=60, y=5)$ é comum às duas curvas, pois é o ponto central das deposições. A figura 7(b) refere-se às deposições *Sigma* e DL com parâmetros $\tau = 60$, $v_c = 1$, $v_d = 2.00$ e $\rho = 75$. Novamente, o ponto $(x=60, y=75)$ é comum a ambas as curvas.

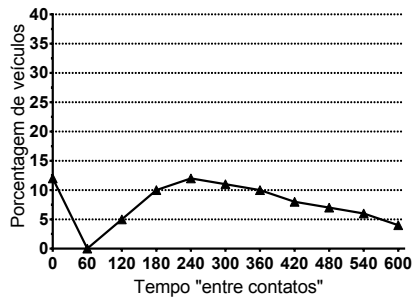
As figuras 7(c) e 7(d) realçam as variações em termos da fração de veículos entre *Sigma* e DL para as deposições propostas nas figuras 7(a) e 7(b) respectivamente. Nota-se no segundo caso que esta variação para valores de τ acima de 60 é praticamente nula.



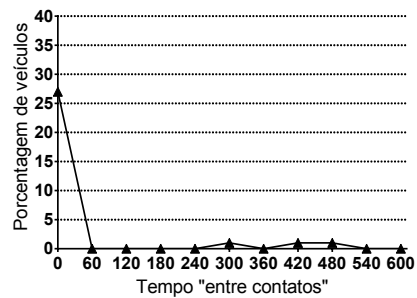
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7. Comparação da qualidade de rede entre Sigma- ϕ e DL. As figuras (a) e (c) representam o desempenho das duas redes. As figuras (b) e (d) representam a diferença de desempenho (DL - Sigma) entre redes.

7. Conclusão

O presente trabalho apresentou a métrica *Deposição-Sigma* em conjunto com a estratégia de deposição *Sigma- ϕ* para realizar a deposição das RSUs baseada no tempo entre contatos dos veículos com a infraestrutura e na oscilação da quantidade de dados obtido da rede. Levando-se em consideração os resultados apresentados na seção anterior concluiu-se que *Sigma- ϕ* é mais eficiente que a estratégia *Densest Locations*, visto que *Sigma- ϕ* utiliza uma quantidade menor ou igual de recursos financeiros, com pequeno impacto na qualidade da rede.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado por recursos do CNPq, CAPES e FAPEMIG.

Referências

- Aslam, B., Amjad, F., and Zou, C. (2012). Optimal roadside units placement in urban areas for vehicular networks. In *Computers and Communications (ISCC), 2012 IEEE Symposium on*, pages 000423–000429. IEEE.
- Cataldi, P. and Harri, J. (2011). User/operator utility-based infrastructure deployment strategies for vehicular networks. In *Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2011 IEEE*, pages 1–5.
- Cheng, H., Fei, X., Boukerche, A., Mammeri, A., and Almulla, M. (2013). A geometry-based coverage strategy over urban vanets. In *Proceedings of the 10th ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, & Ubiquitous Networks, PE-WASUN '13*, pages 121–128, New York, NY, USA. ACM.
- Lee, J. and Kim, C. (2010). A roadside unit placement scheme for vehicular telematics networks. In Kim, T.-h. and Adeli, H., editors, *Advances in Computer Science and Information Technology*, volume 6059 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 196–202. Springer Berlin Heidelberg.
- Nekoui, M., Eslami, A., and Pishro-Nik, H. (2008). The capacity of vehicular ad hoc networks with infrastructure. In *Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks and Workshops, 2008. WiOPT 2008. 6th International Symposium on*, pages 267–272.
- Patil, P. and Gokhale, A. (2013). Voronoi-based placement of road-side units to improve dynamic resource management in vehicular ad hoc networks. In *Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2013 International Conference on*, pages 389–396.
- Silva, C. M., Andre L. L. Aquino, and Wagner Meira Jr (2015a). Deployment of roadside units based on partial mobility information. *Computer Communications*, 60(0):28 – 39.
- Silva, C. M., Wagner Meira Jr, and Joao F. M. Sarubbi (2015b). Non-Intrusive Planning of Roadside Infrastructure for Vehicular Networks Without Tracking Individual Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, -(–):–.
- Teixeira, F., Silva, V., Leoni, J., Macedo, D., and Nogueira, J. M. S. (2014). ”vehicular networks using the ieee 802.11p standard: An experimental analysis”. *Vehicular Communications*, 1(2):91 – 96.
- Trullols, O., Fiore, M., Casetti, C., Chiasserini, C., and Ordinas, J. B. (2010). Planning roadside infrastructure for information dissemination in intelligent transportation systems. *Computer Communications*, 33(4):432 – 442.
- Wu, T.-J., Liao, W., and Chang, C.-J. (2012). A cost-effective strategy for roadside unit placement in vehicular networks. *Communications, IEEE Transactions on*, 60(8):2295–2303.
- Zheng, Z., Lu, Z., Sinha, P., and Kumar, S. (2010). Maximizing the contact opportunity for vehicular internet access. In *INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE*, pages 1–9.