

# Incentivando o Compartilhamento de Conteúdo via Comunicação Dispositivo-a-Dispositivo \*

Vinícius F. S. Mota<sup>1,2</sup>, Daniel F. Macedo<sup>2</sup>, José Marcos Silva Nogueira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Computação e Sistemas – Universidade Federal de Ouro Preto  
João Monlevade – Brasil

<sup>2</sup> Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Brasil

{v fsmota, damacedo, jmarcos}@dcc.ufmg.br

**Abstract.** *Entertainment content consumption through mobile devices has been exceeding the consumption through traditional networks. One approach to mitigate data traffic in mobile networks is pushing the content to the edges of the network. In this work, end-user devices are potential network content caching, sharing content via device-to-device (D2D) communication, which we call the D2D caching. However, users may deny have their devices used as caching. Aiming to tackle this issue, we propose a framework to choose which are the devices that use D2D communication, taking into account incentive mechanisms for users accept their devices act as a cache. In addition, we analyze the conditions where D2D caching are feasible in relation to the hit rate and the time required to find a content. From 2 up to 25% of content was obtained through D2D caching with incentives.*

**Resumo.** *O consumo de conteúdo de entretenimento via dispositivos móveis está superando o consumo via redes tradicionais. Uma abordagem para atenuar o tráfego de dados nas redes móveis é levar o conteúdo da nuvem para as bordas da rede. Neste trabalho, os dispositivos dos usuários são considerados potenciais armazenadores de conteúdo (caching) da rede, permitindo que outros dispositivos obtenham conteúdo via comunicação dispositivo-a-dispositivo (D2D), o que chamamos de D2D caching. No entanto, os usuários podem negar ter seus dispositivos utilizados como cache. Visando sanar este problema, propomos um arcabouço que leva em consideração mecanismos de incentivo para que os usuários aceitem que seus dispositivos atuem como cache. Além disto, analisamos as condições nas quais o D2D caching é viável em relação a taxa de acerto (hit rate) e o tempo necessário para encontrar um conteúdo. Mostramos que entre 2 e 25% de conteúdo pode ser obtido via D2D caching com incentivos.*

## 1. Introdução

O tráfego de dados na infraestrutura dos provedores de Internet móvel vem crescendo exponencialmente devido à popularização de dispositivos móveis e ao aumento do

---

\*Os autores gostariam de agradecer à CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro parcial a este trabalho.

tráfego de conteúdos multimídia. O bom desempenho das redes sem fio em ambientes conurbados é essencial para que se possa oferecer os novos serviços, trazidos pela computação urbana, com a qualidade exigida pelos usuários da rede. Entre as diversas abordagens para atenuar o tráfego de dados está a comunicação Dispositivo-a-Dispositivo (D2D).

O padrão 3GPP *Device-to-Device Proximity Service* (D2D ProSe) define como comunicação D2D a comunicação *ad hoc* entre dispositivos próximos, como *smartphones*, *tablets* e *notebooks*, com mínima ou nenhuma intervenção da estação-base [Asadi et al. 2014]. O D2D ProSe utiliza o *Long Term Evolution-Advanced* (LTE-A), popularmente conhecido como 4G, como tecnologia de rádio para comunicação *ad hoc* (comunicação *inband*). No entanto, o termo comunicação D2D também é usado para se referir à comunicação *ad hoc* que explora o espectro não licenciado, como WiFi ou Bluetooth (comunicação *outband*).

Em ambos os casos, dois aspectos importantes caracterizam a comunicação D2D: *i*) a utilização de dispositivos com alta capacidade de processamento, embora com energia e largura de banda limitada; e *ii*) padrão de mobilidade humana.

A comunicação D2D pode aumentar a eficiência dos *Internet Service Providers* (ISPs) ao fazer com que os dispositivos móveis atuem como retransmissores de sinais da rede, retransmissores de conteúdo ou possibilitar o compartilhamento de conteúdo [Mota et al. 2016]. Este trabalho considera dispositivos móveis como *caching* para compartilhamento de conteúdo da rede, o que chamamos de D2D *caching*. O principal objetivo é possibilitar o encontro de conteúdo em dispositivos próximos, evitando a utilização da rede celular. Deste modo, beneficiando os usuários pela redução do consumo da franquia de dados, assim como a diminuição do tráfego de dados das operadoras. No entanto, usuários podem querer não compartilhar conteúdo para evitar consumo de recursos, como bateria ou plano de dados.

Devido a mobilidade, faz-se necessário compreender se a duração de encontros entre dispositivos é suficiente para transmitir um conteúdo. Além disso, escolher os dispositivos que atuarão como *caching* e motivar os proprietários destes dispositivos a permitirem que sejam acessados por terceiros são dois grandes desafios para o sucesso de D2D *caching*.

Neste trabalho, discutimos os custos e benefícios da utilização de D2D *caching* para os participantes da rede D2D e propomos um arcabouço que une algoritmo de escolha de dispositivos com mecanismos de incentivo para distribuição de conteúdo móvel. Os mecanismos de incentivo, baseados em reputação, utilizam mínima ou nenhuma intervenção na infraestrutura dos ISPs. Além disso, comparamos a duração de encontros de dispositivos móveis com o tamanho médio de arquivos de vídeo utilizando bases de dados reais.

O restante deste trabalho está organizado como se segue: Na Seção 2, discutimos as contribuições deste trabalho em relação aos trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta o modelo de rede e cooperação. O arcabouço proposto é descrito na Seção 4. Uma análise do arcabouço, assim como sua eficiência, é apresentada na Seção 5. Por fim, concluímos e apresentamos os trabalhos futuros na Seção 6.

## 2. Trabalhos Relacionados

Com o aumento da capacidade de armazenamento e comunicação dos dispositivos, surge a possibilidade de se obter conteúdo a partir de dispositivos na vizinhança, em vez de requisitá-lo na nuvem. [Valerio et al. 2015] mostram que requisições de vídeos seguem uma distribuição de probabilidade Zipf, e que, os conteúdos armazenados nos *caches* dos dispositivos podem responder a até 21% das requisições de outros usuários. Já [Spyropoulos and Sermpezis 2016] criam uma matriz de conteúdos relacionados e caso o conteúdo requisitado não seja encontrado, o dispositivo pode responder com um conteúdo relacionado, o que chamaram de *soft-cache-hit*, assumindo que um conteúdo relacionado satisfaça o usuário. Estes trabalhos assumem que todos os dispositivos na rede estão dispostos a aceitarem requisições de conteúdos de outros dispositivos.

Uma outra abordagem é a rede escolher um dispositivo para receber um conteúdo e, após recebê-lo, disseminá-lo para outros dispositivos. Neste caso, a questão é como escolher os dispositivos que receberão o conteúdo. Existem diversos algoritmos para a escolha dos dispositivos com maior potencial para disseminar conteúdo [Asadi et al. 2014]. Em [Barbera et al. 2011], é proposto VIP, um protocolo no qual os nós retransmissores são escolhidos baseando-se em métricas sociais, como centralidade, *betweenness* e *Page Rank*. Um arcabouço com várias estratégias para decidir *quando e para quem* um conteúdo deve ser enviado, batizado de *Push-and-Track*, foi proposto em [Whitbeck et al. 2012]. Já o protocolo *MobiCache*, escolhe os nós retransmissores de acordo com uma área de interesse [Zhang et al. 2015]. O VIP sugere que os ISPs são responsáveis por oferecerem brindes aos colaboradores da rede. Já o *MobiCache* propõe uma pequena recompensa por byte transmitido. Como desvantagem, mecanismos baseados em recompensa exigem um coordenador central para validar o pagamento. Por fim, o *OppLite* é um arcabouço que utiliza um conjunto de propriedades das redes e dos dispositivos para decidir quais dispositivos devem ser retransmissores [Mota et al. 2014].

Neste trabalho, apresentamos uma extensão do *OppLite*, que considera mecanismos de incentivo baseado em reputação como entrada para o algoritmo de decisão, aumentando assim o engajamento do usuário para colaborar com a rede D2D. Utilizamos mecanismos de incentivo baseado em reputação para evitar que nós sejam egoístas e apenas obtenham conteúdos de terceiros.

## 3. D2D Caching: Modelo de rede e cooperação

Definimos *D2D Caching* como a busca por conteúdo primeiramente em dispositivos móveis na vizinhança. A busca tem um tempo limite que representa um atraso máximo tolerado. Após este atraso, o dispositivo somente requisita o conteúdo para a infraestrutura caso não encontre o conteúdo na vizinhança. A seguir apresentamos um modelo de representação da rede e discutimos as motivações dos usuários para cooperarem.

### 3.1. Modelo de Rede

A comunicação entre dispositivos de usuários pode ser modelada como um *grafo temporal*, definido como  $\mathcal{G}_\delta(V, A)$ , sendo  $V$  o conjunto de vértices representando os

nós da rede e  $A$ , o conjunto de arestas representando os enlaces entre os nós da rede [Whitbeck et al. 2012]. Devido à mobilidade, as arestas (enlaces) são adicionadas ou removidas ao grafo  $\mathcal{G}_\delta$  do instante  $t$  até o tempo  $t + \delta$ . Existe uma jornada  $\mathcal{J}$  de  $u$  para  $v$  se forem adicionadas arestas ao grafo  $\mathcal{G}_\delta$ , de tal forma que, o tempo total  $t'$  para  $u$  alcançar  $v$  satisfaça à equação  $t' \leq t + \delta$ . A proposta de algoritmos em grafos temporais utiliza modelos estatísticos e de inferência para prever se ocorrerá uma jornada, considerado um intervalo entre  $t$  e  $t + \delta$ .

Somado aos desafios intrínsecos da análise em grafos temporais, é considerado também o desejo do usuário em ter seu dispositivo utilizado como vértice do grafo temporal. Portanto, o conceito de grafo temporal acima é estendido para considerar o comportamento dos usuários.

Cada vértice  $v \in V$  possui uma variável contínua  $\mathcal{R} = [0, 1]$  representando o comportamento de  $v$  ao participar da rede. Um nó altruísta,  $\mathcal{R} = 1$ , cede seus recursos e participa em qualquer situação. Enquanto um nó egoísta,  $\mathcal{R} = 0$ , só colabora em função de alguma vantagem recebida.

Logo, Definindo D2D *Caching* formalmente:

Seja um vértice  $v \in V$  que deseja obter um conteúdo  $k \in K$  no instante  $t$  e tolera um atraso máximo  $\delta$ , onde  $K$  representa o conjunto de conteúdos disponíveis. Cada vértice pode armazenar um conjunto de conteúdos  $v_j = \{k \subseteq K\}$  e  $N_v[t, \delta]$  representa o conjunto de vértices vizinhos de  $v$  do instante  $t$  a  $t + \delta$ . Um *cache hit* ocorre se  $k \subset v'_j \mid v'_j \in N_v[t, \delta]$ , ou seja, o conteúdo  $k$  pode ser encontrado em algum vizinho até um limite de tempo. Até o momento, esta definição é similar à definição de *caching* cooperativo utilizada em [Sermpezis and Spyropoulos 2016].

Neste trabalho, é considerada uma métrica de cooperação  $\mathcal{R}$  para cada vértice, que define o quanto um vértice deseja colaborar e quer compartilhar conteúdo com outros vértices. Portanto, o *cache hit* ocorre somente se  $k \subset (v'_j \in N_v[t, \delta]) \mid \mathcal{R}'_{v'_j} > 0$ .

### 3.2. Modelo de cooperação

Do ponto de vista dos provedores, *D2D caching* pode reduzir o tráfego de dados de suas infraestruturas, poupando consumo de dados tanto dos clientes quanto dos ISPs. Adicionalmente, os ISPs podem estender sua cobertura, permitindo que dispositivos sem acesso direto à Internet possam obter dados através de dispositivos com melhor acesso à Internet, evitando a obrigatoriedade de um provedor local.

Em relação aos usuários, consideramos quatro grupos: i) *Padrão*, usuários que utilizam somente a infraestrutura; ii) *D2D Caching*, usuários dispostos a fornecerem conteúdo no *cache* de seus dispositivos para outros; iii) *D2D Oportunista*, os usuários que buscam conteúdo no *cache* dos dispositivos *D2D Caching*; e iv) *Cooperativo*, usuários que atuam tanto como *D2D Caching* quanto como *D2D Oportunista*. A Tabela 1 apresenta os benefícios e custos para cada grupo.

Enquanto ser *D2D Oportunista* tem como benefício a economia do consumo da franquia de dados, atuar como *D2D Caching* ou *D2D cooperativo* aumenta o consumo da franquia de dados além do consumo extra para transmitir para outros dispositivos. Portanto, devem ser ofertados incentivos para que usuários migrem do

grupo *padrão* para o grupo *D2D cooperativo*.

| Grupo           | Benefícios  | Custos   |
|-----------------|---|--|
| Padrão          | Informação em tempo real  | Consumo de energia 3G/4G<br>Consumo da franquia                            |
| D2D Caching     | Informação em tempo real  | Consumo de energia 3G/4G<br>Consumo de energia WiFi<br>Consumo da franquia |
| D2D Oportunista | Consumo da franquia<br>Economia de energia<br>Largura de banda <sup>1</sup> | Consumo de energia WiFi<br>Aumentar atraso                                 |
| D2D Cooperativo | Consumo da franquia<br>Informação em tempo real<br>Largura de banda         | Consumo de energia WiFi<br>Aumentar atraso<br>Consumo de energia 3G/4G     |

**Tabela 1. Custo-Benefício para cada grupo de participante da rede.**

#### 4. Arcabouço para D2D Caching com Incentivos

O arcabouço proposto é composto por dois módulos: Algoritmo de definição do modo de comunicação e mecanismos de incentivo. O modo de comunicação define para os usuários quando é mais vantajoso utilizar a infraestrutura ou a comunicação D2D. Os mecanismos de incentivo oferecem técnicas para engajar a participação dos usuários. Desta forma, os mecanismos atuam como um parâmetro de entrada para o algoritmo de seleção do modo de comunicação. A Seção 4.1 demonstra como o algoritmo quantifica as propriedades da rede, enquanto a Seção 4.2 apresenta como agrupar os mecanismos de incentivo com algoritmo de modo de comunicação. Para avaliar e comparar nossa proposta, implementamos uma solução de *benchmark*, baseado no conjunto dominante, que é apresentada na Seção 4.3.

##### 4.1. Definindo o modo de Comunicação

A utilização de algoritmos baseados em decisão multicritérios para escolher o modo de comunicação de um dispositivo é adequada por considerar o desejo do usuário em permitir que seu dispositivo seja selecionado. Além disto, algoritmos de decisão baseados somente em conhecimento local evitam modificações na infraestrutura do ISP. Por este motivo, utilizamos como base o arcabouço *OppLite* [Mota et al. 2014].

O *OppLite* é um algoritmo de tomada de decisão multicritérios, baseado na teoria da utilidade, que permite aos dispositivos alternarem entre a infraestrutura e D2D com base em decisões locais [Mota et al. 2014]. Para isto, ele reúne um conjunto de propriedades, que podem ser obtidas localmente pelo dispositivo, e as mapeiam em uma função de utilidade para definir o modo de comunicação.

Cada propriedade é definida por uma tripla  $x_i = \{c_i, \alpha_i, w_i\} \in X$ , sendo  $c_i$  e  $\alpha_i$  o centro e o *steepness* para quantificar o valor de utilidade de um critério, Equação 1, e  $w_i$  é o peso do critério  $x_i$ , tal que  $\{w_i \in [0, 1], \sum_{\forall w_i \in X} w_i = 1\}$ , na

<sup>1</sup>Nos casos em que os dispositivos estão conectados em redes de baixa largura de banda.

função de agregação das propriedades (Equação 2). As propriedades consideradas são o número de vizinhos, a carga de bateria remanescente e a qualidade do sinal de celular.

$$u(x) = \frac{1}{1 + e^{\alpha(c_i - x)}} \quad (1)$$

$$U(x_1 \dots x_n) = \prod_{i=1}^n [u(x_i)]^{w_i} \quad (2)$$

Originalmente, o Opplite muda um dispositivo para o modo retransmissor quando a avaliação global é maior que um limite definido pelo usuário ( $\Gamma_{relay}$ ), ou para o modo oportunista se essa avaliação for maior que o limiar oportunista ( $\Gamma_{opp}$ ).

Nesta extensão, o mecanismo de incentivo define o limiar que a Equação 2 deve ultrapassar para um dispositivo oferecer seus recursos. Portanto, a saída do mecanismo, que chamaremos de  $\Gamma_{cache} \in [0, 1]$ , funciona como o limite mínimo do benefício oferecido por um mecanismo de incentivo para um dispositivo se tornar *D2D caching*. Ou seja, um dispositivo atua como *D2D caching* se  $U(X) > \Gamma_{cache}$ , sendo  $U(\cdot)$  o resultado da Equação 2,  $X$  o conjunto de critérios com valores e pesos das propriedades específicos para um dispositivo se tornar *caching*.

Adicionalmente, neste trabalho um dispositivo pode atuar como *caching* e ser oportunista simultaneamente, o que chamamos de *D2D Cooperativo*. O processo de tomada de decisão define um grupo, entre os descritos na Tabela 1, de cada dispositivo: modo *Padrão*, os dispositivos solicitam e recebem conteúdos diretamente do ISP; modo de *D2D-Caching*, é similar ao modo *Padrão*, porém, atende a solicitações de conteúdo de outros dispositivos; No modo *D2D Oportunista*, os dispositivos se comunicam preferencialmente com dispositivos no modo *D2D Caching*; e no modo *D2D Cooperativo*, os dispositivos atuam como *D2D Caching* mas requisitam conteúdos de outros dispositivos (*D2D Oportunista*).

A Tabela 1 mostra que ser *D2D oportunista* traz benefícios diretos. Cada vez que um nó obtém um conteúdo  $k$ , a partir do *cache* de outro nó, ele economiza o tamanho do conteúdo ( $|k|$  MB) de seu limite de dados mensal e energia. Portanto, uma recompensa para um nó oportunista é a quantidade de tráfego de dados que foi economizada, ou seja,  $\sum_{i=1}^K |k_i|$ .

É importante ressaltar que um nó oportunista precisa encontrar um *D2D Caching* com o conteúdo procurado, o que ocasiona em um eventual atraso  $t$ . Portanto, há um *tradeoff* entre a economia da transferência de dados e expectativa de atraso. Como a recompensa para um nó *D2D Oportunista* é implícito, o usuário define o limiar  $\Gamma_{opp}$  e seu dispositivo muda para este grupo se

$$U(X') \geq \Gamma_{opp} \in [0, 1]$$

#### 4.2. D2D caching com mecanismos de incentivo baseado em reputação

Assumindo que os usuários são racionais, se um comportamento não cooperativo provocar degradação na qualidade da rede para um usuário, então este usuário tende a colaborar para melhorar a própria qualidade de serviço. Portanto, *reciprocidade*

é a principal força motriz para alcançar a disposição do usuário para habilitar seu dispositivo como um D2D *Caching*.

Utilizamos como base do algoritmo de reputação, o algoritmo MINEIRO (*Message-based INcentive mechanism for End-user Improvement of Routing Opportunities*) [Mota et al. 2015]. O MINEIRO foi proposto para encorajar nós a encaminharem mensagens em redes oportunísticas, construindo um ranking de reputação baseado na fonte de mensagens recebidas pelos nós intermediários. O algoritmo original funciona da maneira a seguir:

Todos os nós recebem uma reputação inicial. Se um nó  $u$  encaminha uma mensagem para  $v$  e a origem da mensagem é diferente de  $u$ , o nó  $v$  aumenta a reputação  $R$  de  $u$  em  $R_u = R_u + \delta_{incremento}$ . Caso a origem da mensagem seja o próprio  $u$ , o nó  $v$  decrementa a reputação de  $u$  em  $R_u = R_u - \delta_{delta}$ . Um nó encaminha todas as mensagens provenientes de nós com reputação maior do que zero. Desta forma, o MINEIRO fornece um modelo de benefício baseado na reciprocidade. Como consequência, se os nós desejam aumentar suas chances de ter suas mensagens entregues ao destino, então eles devem encaminhar mensagens de outros nós.

Para adaptá-lo ao arcabouço de D2D *Caching* proposto, o algoritmo aumenta a reputação de dispositivos que promovem *Caching Cooperativo*, auxiliando outros dispositivos obterem conteúdo oportunisticamente. A reputação entre os pares de nós funciona da seguinte maneira:

Seja o encontro de dois nós  $v$  e  $u$  pela primeira vez, ambos dão uma reputação positiva  $R = 1$ , ou seja, ambos confiam que outro é altruísta. Se  $v$  solicita um conteúdo para  $u$ , o valor de  $R_v$  será utilizado para definir o limiar de cooperação:

$$\Gamma_{cache} = 1 - R_v \in [0, 1]$$

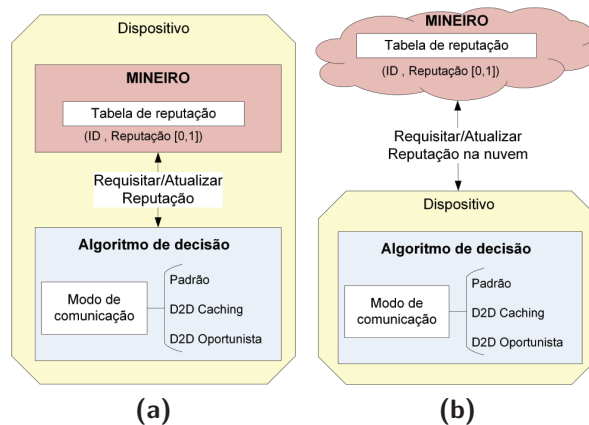
A equação acima faz com que quanto maior a reputação de um nó  $v$ , mais fácil será para  $v$  obter conteúdo via D2D. Um nó  $u$  transmite o conteúdo para um nó  $v$  somente se sua função de agregação for maior que o limiar de cooperação de  $u$ :

$$U(X) \geq \Gamma_{cache}$$

O nó  $v$  aumenta a reputação de um nó  $u$  toda vez que receber conteúdo de  $u$  em  $R_u = \max(R_u + \delta_{incremento}, 1)$ . Como o nó  $u$  contribuiu com  $v$ ,  $u$  diminui a reputação de  $v$  em  $R_v = \min(R_u - \delta_{decremento}, 0)$ .

A Figura 1 ilustra duas abordagens de integração entre a versão estendida do OppLite com o MINEIRO: distribuída e centralizada.

Na **solução distribuída**, mostrada na Fig. 1a, o algoritmo de reputação é executado em conjunto com o algoritmo de decisão no dispositivo do usuário para fornecer informações sobre o comportamento passado dos dispositivos encontrados. Em um primeiro encontro entre um par de nós, ambos os nós dão uma reputação inicial para cada. Cada nó conhece apenas a reputação de outros nós que interagiram com ele no passado. Esta abordagem não requer nenhuma intervenção na infraestrutura dos ISPs.



**Figura 1. Algoritmo de reputação descentralizado e centralizado. a) Todos algoritmos embutidos no dispositivo; b) Tabela de reputação na nuvem.**

As desvantagens desta solução totalmente distribuída são sua escalabilidade e segurança. Em redes móveis, novos nós podem aparecer na rede a qualquer momento, e isso pode tornar inviável o acompanhamento de todos os nós encontrados. Além disso, é um desafio garantir que não ocorra trapaça para que nós obtenham altos valores de reputação.

Na **solução centralizada**, mostrada na Fig. 1b, a tabela de reputação é mantida nos servidores dos ISPs, que tem uma visão global da rede. Todos os dispositivos recebem uma reputação inicial. Assim, os dispositivos podem estar no modo oportunista em um dia e no modo de retransmissão em outro dia, e sua reputação será atualizada nos servidores. Um dispositivo informa ao servidor a identificação do dispositivo oportunista que enviou o conteúdo. Por sua vez, este valida a informação quando estiver conectado ao ISP.

Um problema nesta abordagem centralizada é o fato de que todos os dispositivos precisam ter acesso à nuvem para consultarem a reputação dos nós que estão requisitando conteúdo. Por consequência, aumentando o número de mensagens de controle na rede. Devido a este fator e somando que o objetivo deste trabalho é prover uma solução para *D2D caching* puramente distribuída, apenas o arcabouço utilizando a solução distribuída será avaliada na próxima seção.

#### 4.3. Benchmark: Um solução centralizada baseada no conjunto dominante

Para comparar a eficiência da nossa proposta, implementamos um algoritmo de seleção de nós baseado no conjunto dominante de um grafo. Esta solução exige conhecimento completo da topologia da rede. Neste caso, o ISP poderia executar o algoritmo periodicamente e forçar com que os nós escolhidos colaborem.

O conjunto dominante de um grafo  $G = (V, E)$  consiste no subconjunto  $S \in V$ , no qual os vértices que não pertencem a  $S$  têm uma aresta em pelo menos um vértice em  $S$ . Os nós do conjunto dominante estão no modo *D2D Colaborativo* e, os demais nós estão no modo *D2D oportunista*. O conjunto dominante do grafo é calculado a cada 60 segundos.



## 5. Avaliação

### 5.1. Duração de encontros versus tamanho do arquivo

A duração de encontro entre um par de nós requisitante-fornecedor de conteúdo deve ser suficientemente grande para permitir a transferência de um determinado conteúdo. Formalmente, seja  $x$  a duração de um contato,  $t$  o tamanho do vídeo e  $L$  a largura de banda. A probabilidade de transmitir um conteúdo será:

$$P(\text{transmissão}) = P(x) \geq \frac{t}{L}$$

Para analisar esta relação, comparamos o tamanho médio dos arquivos de vídeo do YouTube<sup>2</sup> com a duração de contatos reais. Para comparar o tamanho médio de arquivos de vídeo, utilizamos a coleta de metadados de vídeos do YouTube realizada por [Cheng et al. 2008]. Os autores mostram que a duração média dos vídeos mais populares é curta e têm menos de 3 minutos. Como o tamanho dos arquivos de vídeo é dependente do *bitrate* do vídeo, os autores forçaram *downloads* destes vídeos para obter o tamanho real. O subconjunto de dados utilizado foi coletado em 8 de setembro de 2008, contendo 153.710 vídeos.

Para inferir a duração de tempo de contato entre dispositivos, os seguintes *traces* foram utilizados:

- **INFOCOM**: *trace* de contato de três dias com 20 nós estáticos e 78 usuários voluntários usando iMotes durante a edição de 2006 da conferência INFOCOM [Haggle 2013].
- **ROLLERNET**: 62 voluntários carregam iMotes durante a turnê *Pari-Roller*, que reúne milhares de pessoas para patinar pelas ruas de Paris, em 2006 [Tournoux et al. 2009]. O *trace* tem duração de cerca de três horas.

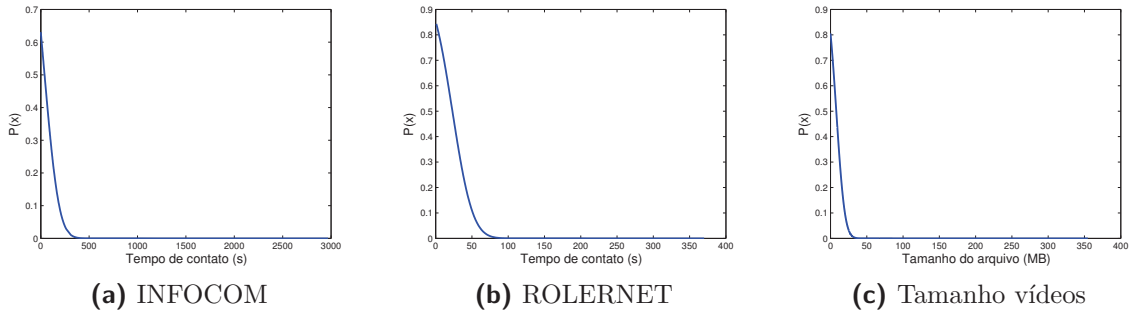
Os resultados da comparação são mostrados na Figura 2. Conforme mostrado na Figura 2a, 90% dos contatos duraram menos de 240 segundos no *trace* INFOCOM. De fato, o tempo de contato médio é de 138 segundos neste *trace*. Por outro lado, no *trace* ROLLERNET, 90% dos contatos duraram menos de 47 segundos, como mostrado na Figura 2b, enquanto o tempo médio de contato foi de apenas 23 segundos. Estes resultados mostram as diferenças do padrão de encontros de dispositivos móveis entre os *traces*.

A Figura 2c mostra a CCDF do tamanho físico de um subconjunto de vídeos do YouTube. Na média, os arquivos têm 7.99MB e 90% dos arquivos tem menos de 20MB. Considerando uma largura de banda conservadora de 2 Mbps, o padrão das redes 802.11, a duração de um contato tem que ser de 40 segundos para transferir a média dos arquivos e 100s para transferir 90% da base de dados.

### 5.2. Configuração da Simulação

Avaliamos o desempenho de nossa proposta utilizando o *Opportunistic Networking Evaluator* (ONE) [Keränen et al. 2009]. O ONE simula um modelo de comunicação tolerante a interrupções, onde os nós seguem o paradigma *armazenar-segurar-repassar* mensagens (*store-carry-forward*). Estendemos o ONE para suportar redes infraestruturadas e simular propriedades como o sinal da rede celular e

<sup>2</sup><http://www.youtube.com>



**Figura 2. CCDF tempo de contato entre dois dispositivos (a,b) e tamanho dos arquivos YouTube (c).**

a bateria dos dispositivos. A rede infraestruturada é simulada por meio de um super nó, que faz o papel de nuvem e pode responder a qualquer requisição da rede. Além disso, foi adicionado o modelo de consumo de energia apresentado em [Balasubramanian et al. 2009].

As métricas analisadas foram: *Atraso*, tempo médio para obter um conteúdo via comunicação D2D; *Hit-Ratio*, porcentagem de vezes que um conteúdo foi encontrado em um *D2D Caching*; *Taxa de descarregamento*, porcentagem de conteúdo que foi efetivamente transferido via comunicação D2D.

Todos os nós possuem uma interface de rede 802.11 e uma interface representando redes 3G. A largura de banda utilizando rede 3G é 100kBps (de acordo com [Whitbeck et al. 2012]) e 2Mbps, o padrão, para comunicação D2D utilizando WiFi. Os nós requisitam conteúdo de um conjunto  $K$  com 10000 conteúdos. A popularidade destes conteúdos segue uma distribuição Zipf com expoente  $\rho = 1,47$  [Valerio et al. 2015]. O tamanho de cada conteúdo varia entre 500Kb e 10Mb. Dessa forma, o tempo de contato necessário para transmitir um conteúdo varia entre 2 e 50s, via comunicação D2D. O tempo inter-requisições de conteúdo de cada nó na rede segue uma distribuição Weibull com declividade  $k = 21,99$  e escala  $\lambda = 1,429$ . Um nó solicita um novo conteúdo apenas após receber o conteúdo solicitado, seja via infraestrutura ou D2D, e 500 MB de espaço em armazenamento.

O limiar para os nós atuarem como *D2D oportunista* foram fixados nos valores abaixo e os demais parâmetros do algoritmo são sumarizados na Tabela 2, em acordo com os valores descritos em [Mota et al. 2014].

$$\Gamma_{opp} = [0.01, 0.2, 0.5, 0.7]$$

| Crítérios         | Centro ( $c_i$ ) | Steepness ( $\alpha_i$ ) | Peso ( $w_i$ ) |
|-------------------|------------------|--------------------------|----------------|
| Vizinhos          | 3                | 2                        | 0.4            |
| Bateria           | 70               | 0.2                      | 0.5            |
| Qualidade do link | 15               | 2                        | 0.1            |

**Tabela 2. Valores dos critérios**

Os encontros entre os pares de nós são definidos pelos *traces* reais de contatos

descritos na Seção 3.1: INFOCOM e ROLLERNET. Nas simulações com o trace INFOCOM, os nós requisitam conteúdo somente durante o primeiro dia da conferência, entre 12:00 e 18:00. Com o trace ROLLERNET, os nós requisitam conteúdos entre 30 e 160 minutos.

O atraso máximo tolerado pelos nós no modo oportunista é de  $\tau = 600s$ . Um nó *D2D oportunista* procura por conteúdo nos caches dos nós *D2D Cooperativo* durante  $\tau = 600s$ . Um *cache-hit* ocorre ao encontrar o conteúdo. Caso contrário, o nó obtém o conteúdo via infraestrutura.

Por motivos de desempenho, a solução centralizada foi feita utilizando a API *python - networkx* e recebe como entrada os traces de contato e a requisição de mensagens geradas pelo ONE.

### 5.3. Resultados

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados para os *traces* INFOCOM e ROLLERNET, respectivamente. Quando  $\Gamma_{cache} = 0$ , todos os nós atuam como *D2D Caching*. O valor de  $\Gamma_{opp}$  inicia em 0.01 para evitar que nós isolados sejam *D2D oportunista*.

De fato, a combinação  $\Gamma_{opp} = 0.01$  e  $\Gamma_{cache} = 0$  faz com que a maioria dos nós sejam do grupo *D2D Cooperativo*, atuando como oportunistas e cache simultaneamente. O alto atraso nesta combinação, deve-se ao fato de muitos nós procurarem conteúdo até o limite tolerável (Figuras 3a e 4a). A solução baseada no conjunto dominante, sem incentivos, tem um atraso médio de 499s e 128s, nos traces INFOCOM e ROLLERNET, respectivamente. O *trace* rollernet apresenta um atraso menor em relação ao INFOCOM, devido a características de ser um grafo mais denso e, portanto, com mais contatos entre os nós.

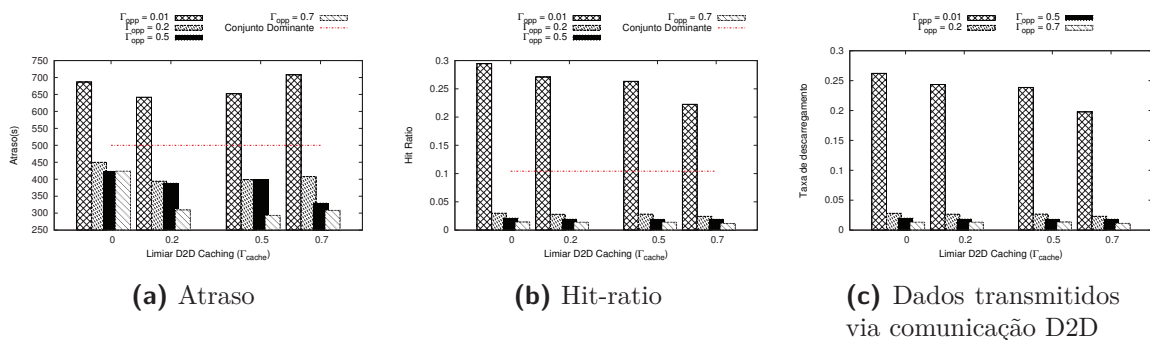


Figura 3. D2D caching no trace INFOCOM

Para limiares *D2D caching* maiores que zero ( $\Gamma_{cache} > 0$ ), os nós aguardam uma recompensa ou reputação maior para colaborarem. A diminuição no atraso é causada justamente devido ao baixo número de participação de nós colaborativos. Isto pode ser observado pelo *hit-ratio* e pelos dados transmitidos via comunicação D2D. Ao aumentar o limiar para os nós se tornarem D2D Caching, o hit-ratio diminui de 28% para 3% no trace INFOCOM (Fig. 3b) e de 17% para menos de 2% no ROLLERNET (Fig. 4b).

Por consequência, o mesmo ocorre para as taxas de descarregamento, mostradas nas Figuras 3c e 4c. As porcentagens das taxas de descarregamento são

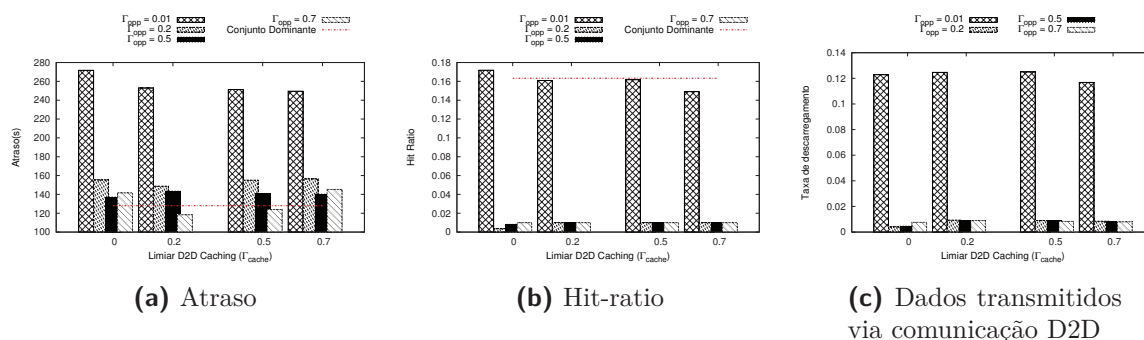


Figura 4. D2D caching no trace ROLLERNET

menores que as porcentagens do *hit-ratio* devido ao tempo necessário para transmitir um conteúdo, que pode ser maior que o tempo de contato entre o par de nós em que ocorreu o *cache-hit*.

A vantagem dos ISPs forçarem uma participação é manter um alto *hit-ratio*. No entanto, algoritmos baseados em grafos para seleção de nós colaborativos no *D2D caching*, tais como conjunto dominante, cobertura de arestas, entre outros, são NP-completos. Logo, há um alto custo para realizar este processamento online.

## 6. Conclusão

A geração e o consumo de conteúdo de entretenimento digital via dispositivos móveis vêm causando um grande impacto na infraestrutura dos provedores de Internet móveis. Neste artigo, discutimos e mostramos como a técnica *D2D caching* pode atuar como uma forma de consumir conteúdos, sem gerar impacto na infraestrutura dos ISPs. Em diversos cenários, dispositivos próximos uns aos outros podem colaborar entre si a fim de disponibilizar os conteúdos disponíveis em suas memórias *cache*. Em cenários mais estáticos, como em uma conferência, um par de dispositivos pode ficar até 500 segundos próximos uns dos outros, ou seja, tempo suficiente para transferência de um vídeo curto.

A cooperação dos usuários é fundamental para *D2D Caching*. Por isto, propomos um arcabouço que seleciona quais e quando os nós devem atuar como *caching* e como oportunista, aplicando mecanismos de incentivo. Apresentamos também um mecanismo de incentivo baseado em recompensa e um baseado em reputação. Em ambos os casos, o mecanismo retorna um valor que será utilizado como limiar para um usuário oferecer seu dispositivo como um cache móvel. Entre 2 e 25% de conteúdo pode ser obtido via *D2D caching* com atraso inferior a 10 minutos.

Oferecer conteúdo para terceiros ou buscar conteúdo em dispositivos desconhecidos trazem desafios não abordados neste trabalho, como privacidade e segurança. Um usuário pode ter um conjunto de conteúdos privados e sensíveis, aos quais não gostaria que outros tivessem acesso. Além disso, evitar que dispositivos colaborativos se tornem vítimas de ataques de negação de serviço, que poderiam sobrecarregar um dispositivo, é um desafio em aberto.

## Referências

- Asadi, A., Wang, Q., and Mancuso, V. (2014). A survey on device-to-device communication in cellular networks. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 16(4):1801–1819.
- Balasubramanian, N., Balasubramanian, A., and Venkataramani, A. (2009). Energy consumption in mobile phones: a measurement study and implications for network applications. In *9th Internet measurement conference (IMC)*, pages 280–293.
- Barbera, M. V., Stefa, J., Viana, A. C., De Amorim, M. D., and Boc, M. (2011). Vip delegation: Enabling vips to offload data in wireless social mobile networks. In *Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS), 2011 International Conference on*, pages 1–8. IEEE.
- Cheng, X., Dale, C., and Liu, J. (2008). Statistics and social network of youtube videos. In *2008 16th International Workshop on Quality of Service*, pages 229–238.
- Haggle (2013). *Haggle Project*. Haggle. <http://www.haggleproject.org>.
- Keränen, A., Ott, J., and Kärkkäinen, T. (2009). The one simulator for dtn protocol evaluation. In *International Conference on Simulation Tools and Techniques*, pages 1–10. EAI.
- Mota, V. F. S., Macedo, D. F., Ghamri-Doudanez, Y., and Nogueira, J. (2014). Managing the decision-making process for opportunistic mobile data offloading. In *Network Operations and Management Symposium (NOMS)*, pages 1–8. IEEE.
- Mota, V. F. S., Macedo, D. F., Ghamri-Doudanez, Y., and Nogueira, J. M. (2015). Mineiro: Um mecanismo de incentivo para aplicações em redes oportunísticas. In *XXXIII Simpósio Brasileiro de Rede de Computadores, 2015*, pages 1–14. CSBC.
- Mota, V. F. S., Moura, H. D., SILVA, V. F., Macedo, D. F., Ghamri-Doudanez, Y., and Nogueira, J. M. (2016). Analisando a capacidade de descarregamento de redes móveis por meio de redes oportunísticas. In *XXXIV Simpósio Brasileiro de Rede de Computadores, 2016*, pages 1–14. CSBC.
- Sermpezis, P. and Spyropoulos, T. (2016). Effects of content popularity on the performance of content-centric opportunistic networking: An analytical approach and applications. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 24(6):3354–3368.
- Spyropoulos, T. and Sermpezis, P. (2016). Soft cache hits and the impact of alternative content recommendations on mobile edge caching. In *Proceedings of the Eleventh ACM Workshop on Challenged Networks, CHANTS '16*, pages 51–56, New York, NY, USA. ACM.
- Tournoux, P., Leguay, J., Benbadis, F., Conan, V., De Amorim, M., and Whitbeck, J. (2009). The accordion phenomenon: Analysis, characterization, and impact on dtn routing. In *IEEE INFOCOM*, pages 1116–1124.
- Valerio, L., Abdesslemly, F. B., Lindgreny, A., Bruno, R., Passarella, A., and Luoto, M. (2015). Offloading cellular traffic with opportunistic networks: a feasibility study. In *Ad Hoc Networking Workshop (MED-HOC-NET), 2015 14th Annual Mediterranean*, pages 1–8. IEEE.
- Whitbeck, J., Lopez, Y., Leguay, J., Conan, V., and Amorim, M. (2012). Push-and-track: Saving infrastructure bandwidth through opportunistic forwarding. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(5):682 – 697.
- Zhang, S., Wu, J., Qian, Z., and Lu, S. (2015). Mobicache: Cellular traffic offloading leveraging cooperative caching in mobile social networks. *Computer Networks*, 83(0):184 – 198.