

Avaliando Contatos em Redes Oportunistas*

André B. Oliveira, Diego N. da Hora, Virgil del Duca Almeida, Daniel F. Macedo

¹ Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte-MG, Brasil

{andrebo, dnhora, virgil, damacedo}@dcc.ufmg.br

Resumo. *Redes Oportunistas (RO) são redes móveis que suportam enlaces intermitentes sofrendo atrasos longos. ROs trocam dados durante breves momentos, chamados contatos, quando os nós estão dentro dos seus raios de comunicação. Os contatos são efêmeros e imprevisíveis, desta forma estes devem ser implementados da forma eficiente. Entretanto, a maioria dos trabalhos da literatura empregam modelos de comunicação simplificados, tais como largura de banda ilimitada e transmissão livre de colisões. Este artigo avalia de forma mais realista os contatos nas ROs. As simulações mostram que, ao contrário do consenso na literatura, protocolos que transmitem menos Bundles, bem como aqueles que selecionam de forma criteriosa a quem repassar os dados, possuem um melhor desempenho que protocolos baseados em inundação, pois estes geram muita contenção no meio. Finalmente, o gerenciamento do buffer e a priorização dos dados influenciam em até no 30% desempenho.*

Abstract. *Opportunistic Networks (ONs) are mobile networks that support intermittent links and long delays. ON nodes exchange data in brief moments called contacts, when another node is within radio range. Contacts are ephemeral and unpredictable, thus they must be implemented as efficiently as possible. Further, most previous work rely on simplistic assumptions such as unlimited bandwidth and contention-free transmissions. This paper presents a more realistic evaluation of ON contacts. Simulations show that, on opposition to the consensus in the literature, routing protocols that forward more copies and those that determine a subset of nodes to receive the Bundles using a certain criteria outperform flooding-based protocols, because the latter generates too much medium contention. Finally, buffer management and forwarding prioritization may influence the performance of the network by up to 30%.*

1. Introdução

Redes Oportunistas (ROs) são redes que não requerem infra-estrutura, e são empregadas quando não é possível construir um caminho instantâneo fim-a-fim entre a origem e o destino dos dados [Pelusi et al. 2006]. As ROs se diferenciam das redes ad hoc ou redes em malha porque as ROs são esparsas, criando ilhas de nós desconectados uns dos outros. Isto ocorre devido ao alcance limitado dos rádios, à alta mobilidade dos nós, ou à baixa quantidade de nós na rede. Redes oportunistas, assim, realizam um roteamento oportunista, que ocorre sempre que um nó entra em contato de rádio com outro nó. Os nós trocam mensagens auto-contidas, chamadas de Bundle. Estas mensagens são

*Os autores gostariam de agradecer a Capes, CNPq e Fapemig pelo apoio financeiro.

armazenadas em memória secundária (conhecida na literatura como *buffer*) em cada nó intermediário até que a mensagem possa ser encaminhada novamente, permitindo assim a movimentação de nós e interrupção de enlaces. O conceito de RO é mais amplo que as Redes Tolerantes a Atrasos e Interrupções (Disruption and Delay-Tolerant Networking ? DTN) [Fall 2003], pois engloba tanto as redes móveis esparsas, quanto as redes espaciais (regidas pelos protocolos DTN normatizados na IETF).

A troca de mensagens nas ROs acontece sempre que dois nós se encontram dentro do raio de comunicação do outro (ocorre um *contato*). A ocorrência de contatos é imprevisível, bem como a sua duração. Assim, deve-se maximizar a troca de dados entre nós em cada contato. Isto pode ser feito por três formas: otimizando a troca de Bundles ou informações de conectividade entre nós [Manfredi et al. 2011]; priorizando os Bundles a serem trocados entre nós quando ocorre um contato [Lindgren and Phanse 2006]; ou selecionando quais Bundles manter em memória secundária [Lindgren and Phanse 2006]. A maioria dos estudos em ROs, entretanto, não emprega modelos de comunicação adequados, assumindo uma comunicação livre de erros. Isto não é compatível com os rádios atuais, onde erros ocorrem devido a transmissões simultâneas, problemas de atenuação do canal e *fading*. Estas e outras simplificações podem afetar o desempenho encontrado em até 300% [Ristanovic et al. 2012].

Este artigo avalia contatos em ROs empregando modelos mais detalhados das camadas física e de enlace. O objetivo deste estudo é avaliar como aspectos tais como colisões, interferência e largura de banda limitadas influenciam o desempenho de uma RO. Avaliamos ainda diferentes técnicas de gerência de buffer e de priorização de Bundles, parâmetros que em geral são desconsiderados em outros estudos. Os resultados mostram que um modelo mais realista produz resultados diferentes daqueles obtidos tradicionalmente, apontando para a necessidade de modelos mais detalhados em futuros estudos.

O restante do artigo está estruturado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. O modelo de contato empregado nas simulações é detalhado na Seção 3. Os parâmetros de simulação bem como os resultados obtidos são apresentados na Seção 4. A seção 5 conclui o artigo e lista os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

A maioria dos estudos abstrai a implementação dos contatos. Por exemplo, o simulador The ONE [Keränen et al. 2009], o simulador mais empregado na literatura, não implementa interferências, contenção e colisão de pacotes. O simulador NS-2 [Network Simulator 2012], por outro lado, apresenta modelos mais realistas das camadas de enlace e física: ele implementa diversos protocolos MAC, considera colisões, interferências, atenuação do sinal devido às perdas de propagação e *fading*, bem como o efeito de captura [Whitehouse et al. 2005]. Entretanto, o NS-2 não implementa nativamente protocolos DTN ou mecanismos de contato. Ristanovic et al. mostraram o efeito de diferentes modelos de comunicação nas simulações de redes DTN. Os autores encontraram diferenças de 2-3 vezes nos resultados, mostrando que premissas tais como largura de banda ilimitada, transmissão livre de erros e contatos instantâneos interferem nos resultados [Ristanovic et al. 2012].

Manfredi et al. estudaram o efeito do tempo de contato e a sua distribuição de probabilidade nos protocolos de roteamento [Manfredi et al. 2011]. O estudo avaliou quando

é aconselhável manter informações de estado com o objetivo de construir rotas eficientes para repassar de dados (como no roteamento tradicional), ou quando repassar mensagens estocasticamente para diversos nós, em uma tentativa de encontrar o destino. Os autores concluíram que, quando a mobilidade é altamente imprevisível e onde existe uma baixa conectividade, o repasse por inundação possui melhor desempenho. Em redes onde os contatos entre os nós são mais previsíveis, um repasse baseado no histórico de contatos é mais eficiente. Finalmente, o roteamento tradicional é mais adequado quando existe um alto grau de conectividade e previsibilidade da topologia.

Lindgren e Phanse investigaram os contatos [Lindgren and Phanse 2006]. Eles analisaram o uso de diferentes técnicas de gerenciamento de buffers e de repasse de Bundles, considerando os principais protocolos de roteamento DTN. As políticas de gerenciamento de buffers definem quais Bundles devem ser descartados quando o mesmo está cheio, enquanto as políticas de repasse definem a ordem em que os Bundles devem ser repassados. Os autores, entretanto, não empregaram modelos realistas de comunicação, ignorando colisões e contenções, bem como a troca de mensagens dos protocolos MAC.

Neste trabalho modelamos a comunicação de forma mais completa. Executamos cenários similares aos de [Lindgren and Phanse 2006], considerando a implementação dos contatos, as camadas física e de enlace, bem como efeitos de atenuação de sinal. Não realizamos experimentos devido às dificuldades técnicas e práticas de se construir e manter uma aplicação real de testes.

3. Modelando Contatos e Buffers

A seguir apresentamos as políticas de repasse e de descarte propostas em [Lindgren and Phanse 2006]. Esta seção também detalha a implementação de contatos.

Protocolo de Contato: O protocolo empregado envia mensagens periodicamente para identificar nós na área de cobertura. O protocolo envia uma mensagem de anúncio, que contém uma lista dos Bundles armazenados no emissor. Bundles que não podem ser repassados (por exemplo Bundles que estão na fase “Wait” do protocolo Spray and Wait [Cao and Sun 2012]) não são anunciados para reduzir o overhead de comunicação. Se um nó deseja receber Bundles em custódia de outro nó, ele responde ao anúncio, listando os Bundles requisitados. O emissor envia os Bundles seguindo a ordem determinada por uma das estratégias de repasse. Devido aos anúncios periódicos, o desempenho do protocolo depende do intervalo entre anúncios (ajustado empiricamente nas simulações).

Estratégias de Repasse: As estratégias de repasse definem quando um Bundle será repassado e a sua prioridade. Estas estratégias são empregadas em protocolos de roteamento baseados em *informed forwarding* [Chaintreau et al. 2007] (por exemplo o ProPHET [Cao and Sun 2012]), pois estes protocolos estimam a probabilidade de sucesso de repasse da mensagem. Vamos supor que um nó A deseja enviar uma mensagem para um nó D , e A entra em contato com B . A probabilidade de que um nó qualquer X entre em contato com outro nó Y é denominada $P_{X,Y}$, e é calculada pelo protocolo de roteamento. As seguintes estratégias de repasse foram definidas:

- **GRTR:** A envia para B somente os Bundles onde a probabilidade de contato com o destinatário de B é maior que a de A , ou seja, $P_{B,D} > P_{A,D}$. A transmissão dos Bundles selecionados não segue nenhuma ordem.

- **GRTRmax:** A envia para B somente os Bundles onde $P_{B,D} > P_{A,D}$. Os Bundles com maior probabilidade de contato ($P_{C,D}$) são enviados primeiro.
- **GRTRsort:** Procura otimizar a probabilidade de entrega ao priorizar Bundles com maior diferença entre as probabilidades de A e B , ou seja, seleciona para envio todos os Bundles onde $P_{B,D} > P_{A,D}$. O envio é ordenado por valores decrescentes de $(P_{B,D} - P_{A,D})$.
- **COIN:** É uma política aleatória, similar ao lançamento de uma moeda. Nesta política cada Bundle possui uma probabilidade de repasse de 50%.

Estratégias de Descarte de Bundles: definem qual Bundle deve ser removido do buffer quando o buffer está cheio. Foram empregadas as seguintes estratégias:

- **First In First Out (FIFO):** Os Bundles são organizados em ordem de chegada, e os Bundles mais antigos são descartados primeiro.
- **Most Forwarded First Out (MOFO):** Os Bundles mais repassados são descartados primeiro. Esta técnica requer que os nós mantenham contadores de repasse associados a cada Bundle armazenado.
- **Shortest Life Time First (SHLI):** Assumindo que Bundles podem ter um tempo de vida máximo, como definido na RFC 4838 [Cerf et al. 2007], esta política descarta Bundles com a data de expiração mais próxima. O objetivo é o descarte das mensagens que provavelmente não chegariam ao seu destinatário a tempo.
- **Least Probable First (LEPR):** Um nó A descarta os Bundles com a menor probabilidade de repasse ($P_{A,D}$), assumindo que estes Bundles são os menos prováveis de serem repassados novamente.
- **Most Favorably Forwarded First (MOPR):** É uma política ponderada de MOFO, onde as mensagens com o maior valor FP são descartadas primeiro. O valor de FP é incrementado a cada repasse dos Bundles, seguindo a fórmula $FP_{atual} = FP_{anterior} + P_{B,D}$.

4. Simulações

Esta seção apresenta os cenários de simulação empregado, bem como os resultados obtidos. Procuramos modelar uma RO utilizada em um cenário de redes veiculares, onde nós se movimentam nas ruas de um centro urbano.

4.1. Parâmetros da Simulação

As simulações foram realizadas no simulador NS2 [Network Simulator 2012], que possui modelos mais completos das camadas física e de enlace. O simulador foi estendido para suportar simulações de ROs: implementamos o mecanismo de contato, as estratégias de repasse e de descarte de Bundles, bem como protocolos de roteamento DTN. O cenário simulado considera uma região urbana onde carros trocam mensagens entre si. Como o objetivo do estudo é avaliar o efeito de colisões, limitações do Buffer e políticas de descarte, optamos por simular o cenário variando a carga de mensagens enviadas por segundo. Devido às ROs serem incipientes, não existem *traces* de dados, de forma que optamos por uma carga sintética.

Simulamos uma hora de funcionamento da rede, empregando 150 nós. Nenhum nó falha devido a falta de energia durante a simulação. Devido a limitações do simulador, somente consideramos o consumo de energia devido ao rádio. Os nós utilizam rádios

IEEE 802.11b, com características de similares a uma placa Cisco Aironet [Cisco 2012], como descrito na Tabela 1. Variamos o número de Bundles enviados por segundo, onde o momento de envio, a seleção da origem e do destino seguem uma distribuição uniforme. As mensagens são enviadas durante o período de tempo $[1500, 3000]_s$, permitindo a convergência dos preditores de contato dos protocolos de roteamento. Todos os Bundles possuem 10KB, e são enviados com um tempo de vida máximo de 600s. Os buffers suportam até 50 Bundles.

Tabela 1. Modelo de rádio empregado

Consumo de energia (transmissão)	2.25W
Consumo de energia (recepção)	1.35W
Consumo de energia (ocioso)	0.075W
Potência de saída	10dBm

Os nós se movimentam de acordo com o modelo de mobilidade Random Way Point on a City Section [Boudec and Vojnovic 2006]. Neste modelo de mobilidade, os nós se deslocam em ruas. Após movimentarem-se de um ponto do mapa a outro, estes realizam uma parada, e escolhem um novo ponto. O deslocamento está limitado pelas vias e suas velocidades máximas. O tempo de parada e o ponto de destino são escolhidos a partir de uma distribuição uniforme. O mapa empregado representa uma seção da cidade de Houston [Boudec and Vojnovic 2006]. A implementação do modelo de mobilidade empregada assegura a existência de um estado estacionário.

As simulações empregam os protocolos Epidemic, Spray and Wait e PRoPHET [Cao and Sun 2012], que são os mais referenciados na literatura. Apesar de não serem os protocolos mais avançados da literatura, estes representam as três classes tradicionais de roteamento em ROs com contatos estocásticos [Chaintreau et al. 2007]: *Flooding*, em que os Bundles são repassados para todos os nós possíveis; *Wait and forward (W&F)*, onde a mensagem é disseminada para um conjunto limitado de nós; e *Informed forwarding*, onde o repasse é baseado em observações do funcionamento passado da rede. Empregamos os valores padrão nos parâmetros do PRoPHET. Para o Spray and Wait, o número máximo de cópias foi definido como 16, e empregamos o modo binário. O intervalo entre anúncios no contato foi definido em 10s. Os resultados apresentados são a média de 30 simulações, com intervalo de confiança para uma confiança de 95%.

Os resultados estão separados por protocolo de roteamento. Os protocolos baseados em *Flooding* e *Wait and forward* não realizam uma estimativa da probabilidade de contatos futuros, assim avaliamos apenas as estratégias de descarte.

4.2. Protocolos Baseados em Flooding

Na literatura de ROs, os protocolos baseados em Flooding tipicamente apresentam a melhor taxa de entrega e menor latência. Isto ocorre devido ao envio de dados a todos os nós, o que incorre também em um consumo elevado de energia. Obtivemos comportamentos diferentes nas nossas simulações, que são causados principalmente devido a colisões e contenção no acesso ao meio. É importante discutirmos porque colisões ocorreriam em uma RO, visto que ROs são redes esparsas. A mobilidade das pessoas tende a seguir padrões previsíveis de rotas e paradas, devido à rotina ou a limitações nas

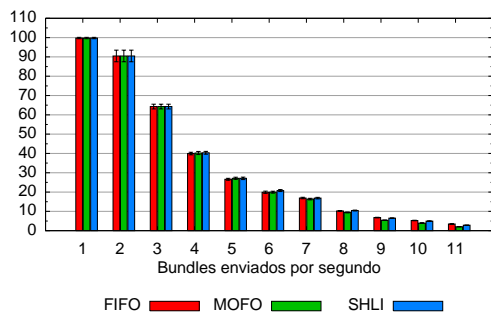


Figura 1. Flooding - entrega.

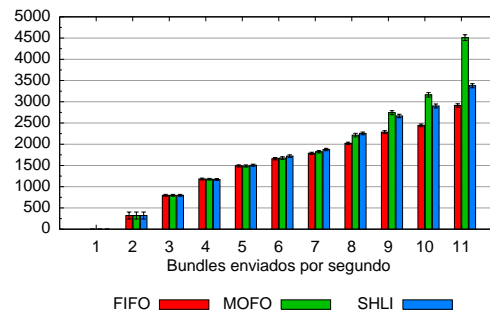


Figura 2. Flooding - colisões por nó.

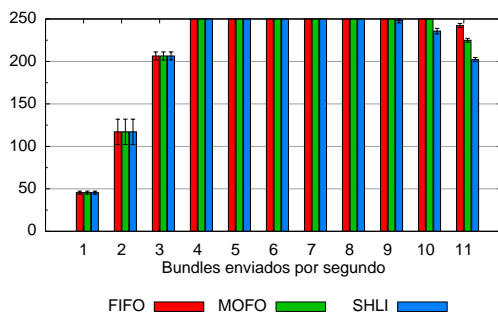


Figura 3. Flooding - latência.

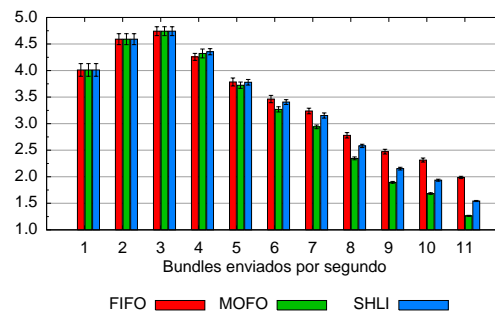


Figura 4. Flooding - repasses até o destino.

regiões onde os nós podem passar. Assim, os contatos tendem a ocorrer onde os nós se concentram, por exemplo em uma esquina ou em uma avenida que liga partes de uma cidade [Tournoux et al. 2009]. Como consequência, os contatos tendem a ocorrer simultaneamente entre múltiplos nós, gerando colisões de dados e disputa pelo meio.

A Figura 1 apresenta a taxa de entrega, que diminui com a quantidade de Bundles enviados por segundo. Tal efeito ocorre devido às colisões, que geram perdas de dados e atrasos. Vemos na Figura 2 que as colisões aumentam significativamente com o aumento da taxa de criação de Bundles. Em seguida analisamos a latência e o número de repasses necessários para chegar até o destino, que são apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente. A latência sofre de dois regimes, devido às colisões. Inicialmente, ela aumenta, pois o meio sem fio começa a ser mais requisitado. Com isso, são necessários mais repasses até que o Bundle seja entregue. Em seguida, vemos que as colisões geram perdas de Bundles, de forma que somente Bundles que requerem menos repasses são entregues ao destinatário. Devido ao menor número de repasses, a latência diminui.

Em relação às políticas de descarte, o SHLI tende a ter um melhor desempenho, tanto na latência quanto na taxa de entrega. Vemos que tanto a MOFO quanto a SHLI entregam os dados com até um repasse a menos, reduzindo a latência em relação à FIFO.

4.3. Protocolos Baseados em Wait and Forward

Os protocolos baseados em W&F procuram reduzir o *overhead* de comunicação. Estudos anteriores mostram que essa redução é acompanhada por uma maior latência e menor taxa de entrega, pois os dados são enviados para menos nós. As figuras 5 e 6 mostram, respectivamente, a taxa de entrega e a latência. Ao contrário do consenso

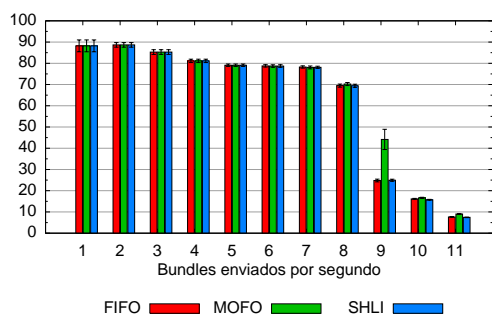


Figura 5. W&F - entrega.

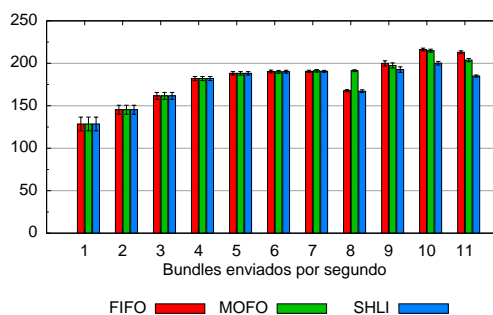


Figura 6. W&F - latência.

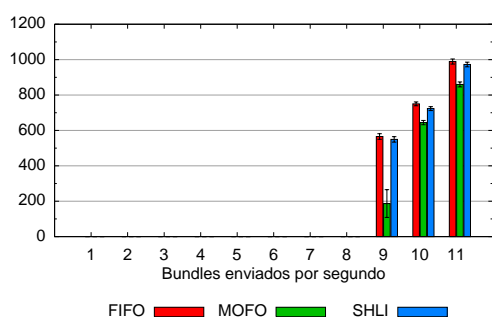


Figura 7. W&F - colisões por nó.

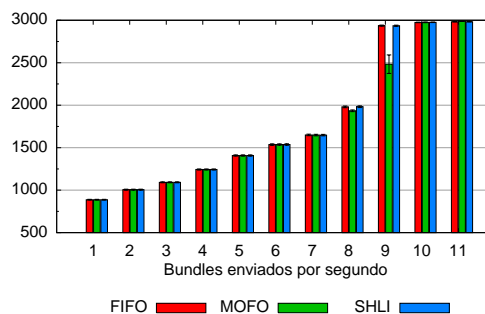


Figura 8. W&F - consumo de energia.

na literatura, o W&F apresentou taxas de entrega superiores ao Flooding, bem como latência inferior ou comparável à do Flooding. Novamente, tal resultado ocorre devido às colisões. Por enviar menos Bundles, os protocolos W&F estão menos sujeitos a perdas de pacotes devido a congestionamentos. Assim, as entregas são limitadas em grande parte pelo padrão de mobilidade dos nós. Vemos que a política MOFO possui a melhor entrega, enquanto as políticas FIFO e SHLI possuem as melhores latências médias. A degradação na taxa de entrega ocorreu para 9 Bundles/s, momento em que a rede começa a congestionar, de Bundles começam a ser perdidos devido a colisões, como mostra a Figura 7. As colisões ainda definem o consumo de energia, como mostra a Figura 8. Enquanto não há colisões, temos um consumo crescente, que estabiliza a partir do momento em que os nós estão 100% do tempo de contato procurando repassar dados.

4.4. Protocolos Baseados em Informed Forwarding

A classe Informed Forwarding (IF) coleta dados sobre a rede, de forma a otimizar o repasse de dados. Como os protocolos IF calculam as probabilidades de sucesso de um repasse, avaliamos as estratégias de repasse. O número médio de repasses até o destino, consumo de energia e colisões não são apresentados pois estes apresentaram comportamentos similares para todas as técnicas de repasse e descarte.

As Figuras 9 a 12 apresentam a taxa de entrega para cada uma das estratégias de repasse. À exceção do COIN, os resultados são similares, apresentando as mesmas tendências. Vemos, como nos outros protocolos de roteamento avaliados, uma diminuição da taxa de entrega ao aumentarmos a quantidade de Bundles enviados por segundo. Desta forma, identificamos que não existem diferenças significativas entre as estratégias de re-

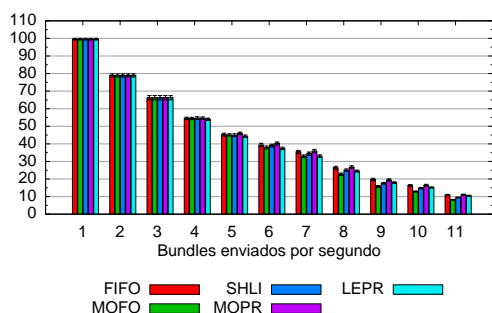


Figura 9. GRTR - entrega.

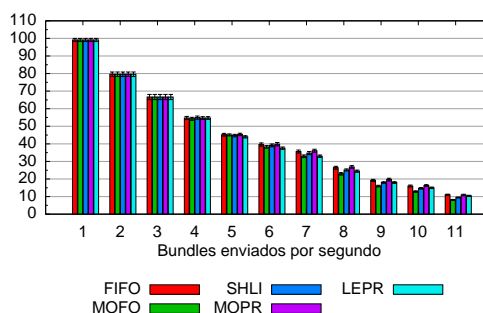


Figura 10. GRTRMAX - entrega.

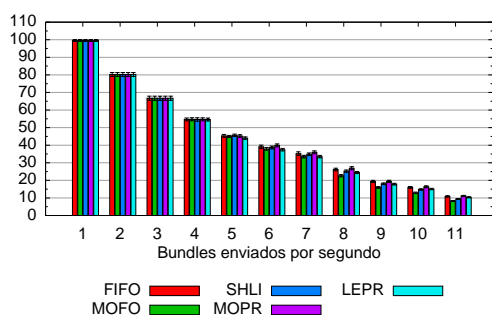


Figura 11. GRTRSORT - entrega.

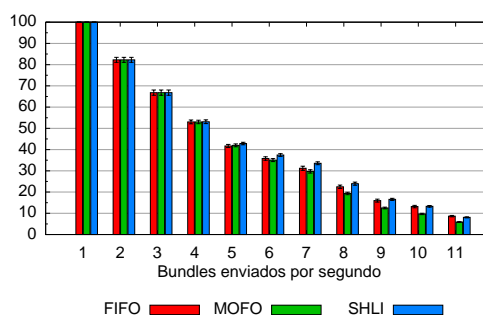


Figura 12. COIN - entrega.

passa. Entretanto, o uso de uma estratégia aleatória de repasse (como a COIN) possui uma penalidade baixa de desempenho (da ordem de até 7%), que ocorre principalmente para maiores taxas de envio. Tal resultado indica que a escolha da estratégia de repasse não influencia significativamente na taxa de entrega.

As Figuras 13 a 16, por sua vez, apresentam os resultados para a latência média. Novamente, não ocorreram diferenças significativas devido à escolha da política de repasse, e mesmo a política de repasse COIN apresentou resultados similares às outras políticas. Entretanto, a política de descarte de mensagens SHLI apresentou resultados superiores para todas as políticas de descarte avaliadas.

4.5. Discussão dos Resultados

As políticas de repasse e descarte de Bundles influenciam os resultados em até 30%, inferior ao obtido por Lindgren e Phanse [Lindgren and Phanse 2006]. Acreditamos que tais diferenças ocorrem pelo uso de um modelo de comunicação mais detalhados. Como consideramos o consumo do rádio como métrica de overhead (Lindgren e Phanse empregam o número de Bundles enviados), identificamos que o consumo de *idle listening* e de recepção de transmissões tornam a redução do número de Bundles enviados menos significativa. Outro aspecto é a contenção no meio, que tende a reduzir a taxa de entrega devido a perdas de dados, limitando a quantidade de Bundles repassados. Lindgren e Phanse identificaram diferenças de até 100% entre as políticas de descarte, enquanto identificamos diferenças de até 5%.

As simulações indicaram que o principal parâmetro que define o desempenho da rede é o protocolo de roteamento. Além disso, os resultados obtidos diferem do que a literatura apresenta. Tipicamente, os protocolos baseados em Flooding possuem a maior

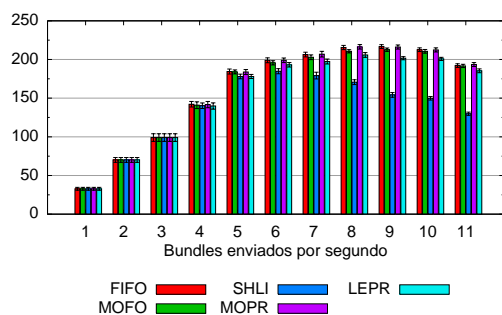


Figura 13. GRTR - latência.

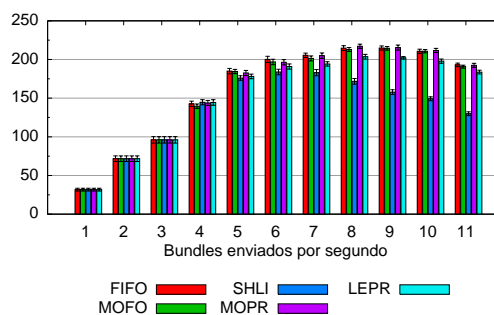


Figura 14. GRTRMAX - latência.

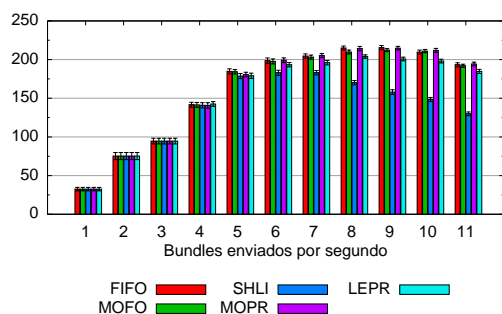


Figura 15. GRTRSORT - latência.

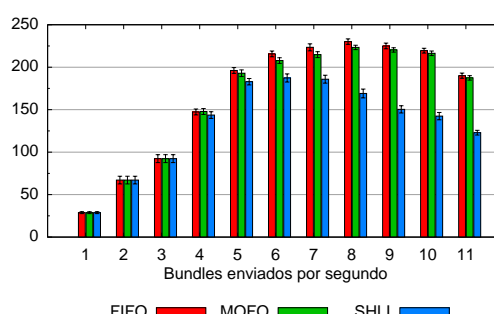


Figura 16. COIN - latência.

taxa de entrega e menor latência, pois exploram melhor os contatos, encontrando os destinatários mais rapidamente. Lindgren e Phanse mostraram que, quando consideramos buffers limitados, o desempenho dos protocolos baseados em Flooding é limitado pelo tamanho do buffer e a política de descarte. Nossos resultados mostram que, ao considerarmos a contenção, os protocolos baseados em Flooding são penalizados em redes trafegando mais Bundles, devido às colisões de quadros e aos atrasos inerentes à política de *back-off*. Assim, vemos que os protocolos de Informed Forwarding possuem latência média próxima à dos protocolos de Flooding. Apesar dos protocolos baseados em W&F terem uma latência média alta para taxas de Bundles, mesmo esta classe de protocolos consegue um desempenho comparável ao do Flooding para redes congestionadas.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

A literatura de redes oportunistas (RO) tem considerado os contatos de forma simplista, assumindo modelos de comunicação que abstraem detalhes do meio físico e dos protocolos subjacentes. Neste trabalho realizamos simulações empregando modelos mais detalhados, tendo em vista rever alguns resultados tradicionais da literatura no que tange ao contato. Analisamos o desempenho de diversas políticas de gerenciamento de buffers e de repasse de Bundles em RO, bem como variamos o protocolo de roteamento empregado. Ao contrário do que é considerado na literatura, verificamos que protocolos de roteamento baseados em inundação possuem desempenho inferior a protocolos baseados em *informed forwarding*, devido à ocorrência de colisões e disputas entre nós para o acesso ao meio. Além disso, o consumo de energia dos protocolos tende a apresentar poucas diferenças entre os protocolos, devido ao consumo do rádio nos modos ocioso e de transmissão serem próximo ao consumo em modo de transmissão.

Como trabalhos futuros, pretendemos melhorar o modelo de simulação, considerando os efeitos de *fading*, novos padrões de comunicação (por exemplo o IEEE 802.11p), e analisar protocolos de roteamento mais recentes e outros modelos de mobilidade.

Referências

- Boudec, J.-Y. L. and Vojnovic, M. (2006). The random trip model: stability, stationary regime, and perfect simulation. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 16(6):1153–1166.
- Cao, Y. and Sun, Z. (2012). Routing in delay/disruption tolerant networks: A taxonomy, survey and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 8(1):1–24.
- Cerf, V., Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Durst, R., Scott, K., Fall, K., and Weiss, H. (2007). Delay-Tolerant Networking Architecture. RFC 4838 (Informational).
- Chaintreau, A., Hui, P., Crowcroft, J., Diot, C., Gass, R., and Scott, J. (2007). Impact of human mobility on opportunistic forwarding algorithms. *IEEE Trans. Mob. Comput.*, 6(6):606–620.
- Cisco (2012). Cisco Aironet 350 series client adapters. http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps6442/ps4555/ps448/product_data_sheet09186a0080088828.html.
- Fall, K. (2003). A delay-tolerant network architecture for challenged internets. In *Proceedings of SIGCOMM*.
- Keränen, A., Ott, J., and Kärkkäinen, T. (2009). The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques (SIMUTools)*.
- Lindgren, A. and Phanse, K. (2006). Evaluation of queueing policies and forwarding strategies for routing in intermittently connected networks. In *International Conference on Communication System Software and Middleware (Comsware)*, pages 1–10.
- Manfredi, V., Crovella, M., and Kurose, J. (2011). Understanding stateful vs stateless communication strategies for ad hoc networks. In *Proceedings of the international conference on mobile computing and networking (MobiCom)*, pages 313–324.
- Network Simulator (Dez., 2012). NS-2 simulator. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- Pelusi, L., Passarella, A., and Conti, M. (2006). Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks. *Communications Magazine, IEEE*, 44(11):134–141.
- Ristanovic, N., Theodorakopoulos, G., and Le Boudec, J. (2012). Traps and pitfalls of using contact traces in performance studies of opportunistic networks. In *IEEE Infocom*, pages 1377–1385.
- Tournoux, P. U., Leguay, J., Benbadis, F., Conan, V., de Amorim, M. D., and Whitbeck, J. (2009). The Accordion Phenomenon: Analysis, Characterization, and Impact on DTN Routing. In *IEEE INFOCOM 2009*, pages 1116–1124.
- Whitehouse, K., Woo, A., Jiang, F., Polastre, J., and Culler, D. (2005). Exploiting the capture effect for collision detection and recovery. In *Proceedings of the IEEE workshop on embedded networked sensors (EmNetS-II)*, pages 45–52.