

Desvendando o Impacto da Desconexão Otimista no BitTorrent

Matheus Lehmann, Lucas Müller, Rodolfo S. Antunes, Marinho P. Barcellos

¹Instituto de Informática - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre, RS - Brasil

{mblehmann, lfmuller, rsantunes, marinho}@inf.ufrgs.br

Resumo. A reconhecida importância do BitTorrent incentivou a realização de diferentes estudos que procuram modelar e avaliar as principais características deste protocolo e suas implementações em funcionamento na Internet. Nenhum trabalho, até o momento, considerou mecanismos de gerência de conexões na linha da desconexão otimista (Optimistic Disconnect, OD). Em tais mecanismos, um par pode buscar conexões com novos vizinhos, abrindo mão das conexões atuais. Este trabalho apresenta um estudo experimental conduzido no Planet-Lab com o objetivo de avaliar o impacto do OD em diferentes cenários, considerando desempenho e robustez da rede. Os resultados obtidos mostram que o OD traz benefícios para as propriedades topológicas do enxame e aumenta o desempenho dos pares em até 18%.

Abstract. The recognized importance of BitTorrent motivated various studies focused on modeling and evaluating the characteristics of the protocol and its current implementations in the Internet. Until now, however, no work has considered connection management mechanisms such as Optimistic Disconnect (OD). These mechanisms allow a peer to search for new neighbors by leaving behind established connections. This paper presents an experimental study conducted on PlanetLab to evaluate the impact of OD in different scenarios taking into consideration issues such as performance and network resilience. Results show that OD is beneficial to a swarm topological properties, rising its performance up to 18%.

1. Introdução

Aplicações par-a-par (P2P) popularizaram-se na última década e apresentam grande sucesso desde então. Embora não tão dominante como outrora, estima-se que P2P ainda seja responsável por mais de 40% do tráfego gerado por usuários domésticos [Sandvine 2011]. Este paradigma é amplamente empregado por aplicações de compartilhamento de arquivos, dentre as quais BitTorrent [Cohen 2003] é a mais utilizada [Sandvine 2011].

O protocolo BitTorrent reúne pares interessados em um mesmo conteúdo em **enxames**. Os mesmos são redes de sobreposição (*overlays*) não-estruturadas, cuja principal característica é a ausência de determinismo nas conexões estabelecidas entre pares [Zhang et al. 2007]. Como consequência, a topologia observada entre os pares de um mesmo enxame é em princípio arbitrária. Um par conecta-se e troca dados com um subconjunto de pares do enxame, que compõem sua **vizinhança**. O conteúdo compartilhado é dividido em **peças** de tamanho fixo. Um **rastreador** mantém a lista de pares que estão participando do enxame. Seu endereço é divulgado junto com outras informações sobre o conteúdo através de um **arquivo de metadados** (.torrent).

Quanto à topologia, o objetivo de sistemas P2P não estruturados é formar redes que maximizem características desejáveis como robustez e desempenho. Tal formação deve ser baseada em decisões locais dos pares, sem sobrecarregá-los com operações complexas de gerência da rede. No BitTorrent, em particular, uma lista de pares é escolhida pelo rastreador de forma aleatória e enviada a um par em resposta a seu anúncio de participação no enxame. O par, então, é autônomo ao escolher o subconjunto de pares com os quais tentará uma conexão. Deste modo, espera-se que o enxame possua uma topologia seguindo o modelo de grafo randômico, o qual possui boa robustez para suportar a dinamicidade da rede [Cohen 2003].

Estudos realizados sobre as topologias de enxames BitTorrent divergem sobre suas propriedades. De um lado, trabalhos afirmam que o grafo de conectividade do BitTorrent não é randômico [Al-Hamra et al. 2007], tampouco *small world* [Kryczka et al. 2011]. De outro, [Dale et al. 2008] conclui que a topologia resultante de um enxame é de fato um grafo randômico devido à combinação de *churn* e conexão com pares aleatórios. Uma limitação dos trabalhos citados é a desconsideração de mecanismos implementados nos agentes de usuários, como por exemplo o *Optimistic Disconnect* (OD) [Dhungel et al. 2011]. Tal mecanismo estende o comportamento padrão do gerenciamento de conexões, permitindo a desconexão de pares que se mostram pouco úteis a fim de possibilitar a procura por novos vizinhos.

Este trabalho apresenta uma avaliação quantitativa do impacto do OD no BitTorrent a partir de uma série de experimentos executados no PlanetLab. O mecanismo é avaliado em cenários de baixa alcançabilidade dos pares, heterogeneidade do enxame, e diferentes comportamentos na chegada dos pares.

A principal contribuição deste trabalho é mostrar a influência do mecanismo de OD no desempenho do enxame e nas propriedades da topologia formada pelos pares. Os resultados obtidos mostram que a utilização do OD torna a topologia do enxame mais robusta e resistente a fenômenos como o *churn*, além de beneficiar o desempenho do enxame em até 18%.

O restante deste trabalho está organizado como segue. A Seção 2 aborda os trabalhos relacionados a BitTorrent, focando especialmente nos que estudam as propriedades topológicas da rede. A Seção 3 apresenta propostas de modificação do gerenciamento de conexões no BitTorrent e o detalhamento do mecanismo de *Optimistic Disconnect*. A Seção 4 descreve a metodologia utilizada nos experimentos, cujos resultados são apresentados e discutidos na Seção 5. Por fim, a Seção 6 apresenta considerações finais e perspectivas de trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Diversos trabalhos analisaram o desempenho de BitTorrent sob diferentes perspectivas. O mecanismo de incentivo ao compartilhamento de dados, responsável pela justiça nas interações entre pares, foi amplamente estudado [Izal et al. 2004, Qiu and Srikant 2004, Legout et al. 2006]. O algoritmo de seleção de peças, por sua vez, foi investigado em [Legout et al. 2006, Dale and Liu 2007]. Outros trabalhos buscaram melhorar o entendimento sobre extensões ao protocolo, como por exemplo Peer Exchange (PEX) [Wu et al. 2010a] e Distributed Hash Table (DHT) [Falkner et al. 2007].

A seguir, são comentados os artigos que tratam de topologias em BitTorrent, e portanto mais proximamente relacionados ao presente trabalho. O primeiro dos cinco trabalhos, [Urvoy-Keller and Michiardi 2006], avalia o desempenho dos pares em função

do tamanho da vizinhança e do percentual de conexões iniciadas. Através de resultados obtidos com simulações, os autores concluem que esses dois parâmetros têm impacto na topologia do enxame, o que está diretamente relacionado com o desempenho dos pares.

O trabalho anterior é estendido por [Al-Hamra et al. 2007], o qual estuda as principais propriedades das topologias e mostra que as mesmas tipicamente possuem um diâmetro pequeno. Os resultados também indicam que a topologia não é randômica, pois a ordem de chegada dos pares possui grande influência. Os autores concluem, por fim, que a topologia de um enxame é robusta e resistente a *churn*, e que enxames com pelo menos metade dos pares não alcançáveis (por exemplo, atrás de NAT) são bastante vulneráveis.

Assim como o trabalho anterior, [Dale et al. 2008] investiga topologias BitTorrent. Através de resultados experimentais, os autores contrariam resultados anteriormente obtidos ao demonstrar que o grafo de conectividade dos pares é de fato randômico. Esse trabalho, entretanto, não levou em conta a complexidade das implementações dos agentes de usuário, desconsiderando o impacto do mecanismo de OD.

Recentemente, outras metodologias foram empregadas para analisar topologias de redes BitTorrent. Em [Kryczka et al. 2011], medições de enxames reais foram realizadas visando determinar suas estruturas topológicas e propriedades. Os resultados demonstraram que as redes observadas não são grafos randômicos, nem *small world*. Também revelaram que as propriedades das redes, tais como coeficiente de clusterização e diâmetro, se mantêm constantes mesmo embora a vizinhança dos pares seja muito dinâmica.

Por fim, em [Zhong et al. 2011] topologias BitTorrent são estudadas através de modelos analíticos baseados em redes complexas. Os autores concluem que a rede BitTorrent tende a tornar-se menos clusterizada à medida que o número de pares aumenta ou a proporção de semeadores presentes no enxame.

Nenhum dos estudos acima leva em conta a influência do OD na topologia e na eficiência de enxames. O único trabalho que não ignora o efeito do OD é [Dhungel et al. 2011], o qual descreve seu funcionamento de forma simplista mas sem apresentar resultados experimentais. O presente trabalho é o primeiro estudo detalhado do impacto do *Optimistic Disconnect* em BitTorrent, considerando o desempenho e as propriedades topológicas do enxame sob diferentes cenários.

3. Gerenciamento de Conexões

Cada enxame BitTorrent é uma rede de sobreposição não-estruturada, onde os integrantes são autônomos para definirem seus vizinhos com base nas listas de pares obtidas do rastreador. Sabe-se, entretanto, que a topologia resultante do enxame pode afetar seu desempenho tanto positiva quanto negativamente. A formação da topologia é fortemente influenciada pelo mecanismo de gerenciamento de conexões do BitTorrent (por uma questão de espaço, sua descrição foi omitida; vide [Al-Hamra et al. 2009]). Esta seção apresenta, primeiramente, duas classes de estudos que propõem modificações ao mecanismo padrão de conexões do BitTorrent: a primeira visa alterar o método como os vizinhos são escolhidos; e a segunda, o modo como a vizinhança é mantida após sua escolha. Após, o *Optimistic Disconnect*, que se enquadra na segunda classe de estudos, será detalhado.

3.1. Propostas de Melhoria

As melhorias propostas ao mecanismo padrão de conexões do BitTorrent podem ser divididas em dois grupos. O primeiro grupo é composto por modificações na seleção de

pares com os quais se conectar. O segundo grupo, por sua vez, contém modificações que envolvem a gerência da vizinhança já estabelecida.

As propostas relacionadas com o estabelecimento de conexões utilizam um conjunto de métricas para definir quais os melhores pares com os quais conectar. Uma abordagem é considerar a localidade dos pares, priorizando os que estão no mesmo ISP a fim de melhorar o desempenho para os usuários e diminuir custos para os ISPs [Choffnes and Bustamante 2008]. Outra possibilidade é modificar o rastreador para que a lista de endereços enviadas aos pares não seja completamente aleatória. Nesse caso o rastreador deve ter conhecimento global da rede (todos pares presentes no enxame, suas conexões e características) para determinar as melhores conexões para cada par de acordo com alguma métrica, por exemplo largura de banda de download e upload [Wu et al. 2010b].

A gerência da vizinhança, por sua vez, lida com mecanismos para melhorar a qualidade das conexões estabelecidas. Dois mecanismos foram propostos e operam de forma semelhante, apesar de possuírem objetivos distintos. O *Peer Rotation* [Barcellos et al. 2008] é uma contramedida para mitigar ataques do tipo eclipse. Periodicamente, o algoritmo avalia a vizinhança buscando pares inativos a fim de desconectá-los, possibilitando conexões com novos pares. O *Preemption Strategy* [Al-Hamra et al. 2009], por sua vez, foi desenvolvido como forma de gerar topologias mais robustas. Nesse mecanismo os pares priorizam o estabelecimento de novas conexões em detrimento de um vizinho aleatório, que é desconectado.

3.2. Optimistic Disconnect

O *Optimistic Disconnect* (OD) é um mecanismo, implementado no Vuze¹, que busca aumentar a eficiência do enxame e tornar a topologia mais robusta. Sua ideia é periodicamente avaliar os vizinhos de acordo com o potencial de contribuição de cada um deles e desconectar o par menos útil da vizinhança. Com isso, abre-se uma nova possibilidade de conexão com um vizinho potencialmente melhor.

Na prática o OD executa apenas quando o par tem sua vizinhança completa, a fim de evitar que pares sejam desconectados quando ainda há conexões a serem estabelecidas. Por padrão, o BitTorrent apresenta um limite de vizinhança de 80 pares [Al-Hamra et al. 2009]. Outra condição para sua execução é que a vizinhança esteja estável por um certo tempo, para evitar *churn* desnecessário e para que cada vizinho possa demonstrar sua utilidade. Clientes atuais de BitTorrent ativam o OD com uma periodicidade de 30 segundos. O Algoritmo 1 apresenta de maneira formal o funcionamento do OD.

Algorithm 1 Pseudoalgoritmo do *Optimistic Disconnect*

```

1: for all  $v_i \in V$  do
2:    $t_i \leftarrow l_i$ 
3:   if not seeding then
4:     if not interested then  $t_i \leftarrow t_i * 2$ 
5:      $t_i \leftarrow t_i + s_i$ 
6:     if snubbing and  $r_i < s_i$  then  $t_i \leftarrow t_i * 1.5$ 
7:     if  $\frac{s_i}{r_i} \geq 10$  then  $t_i \leftarrow t_i * 1.5$ 
8:     if  $d_i > 0$  then  $t_i \leftarrow t_i * (1 + \frac{d_i}{r_i})$ 
9:     if not incoming then  $t_i \leftarrow t_i * 2$ 
10:  $V \leftarrow V \setminus \{v_i \mid \max(t_i)\}$ 

```

¹Disponível em www.vuze.com.

Todos os vizinhos $v_i \in V$ (onde V é o conjunto de vizinhos de um par) são classificados de acordo a utilidade t_i para o par. Na composição da métrica, o principal fator é o tempo l_i desde a última troca de dados (envio e/ou recebimento) (linha 2). Caso o par seja um semeador, considera-se apenas o tempo em que o vizinho requisitou o último bloco. Caso contrário, os seguintes critérios adicionais são considerados (linhas 3-8):

- **interesse:** caso o vizinho não tenha peças diferentes para contribuir, o valor da métrica será dobrado (linha 4);
- **vizinho esnobe:** um vizinho é esnobe quando anuncia peças interessantes ao par mas não as compartilha. Neste caso, o tempo s_i que o vizinho esnoba é adicionado à métrica (linha 5), podendo ainda ser acrescido em 50% caso o vizinho tenha enviado menos do que recebido (linha 6);
- **razão de compartilhamento:** caso o vizinho tenha recebido muito mais dados que contribuído (par-carona), a métrica será acrescida em 50% (linha 7);
- **dados corrompidos:** caso dados recebidos do vizinho tenham sido descartados (seja por corrupção ou duplicados), a métrica é acrescida da razão entre o volume de dados descartados d_i e total r_i recebido (linha 8).

O par ainda verifica se a conexão foi iniciada por ele, caso em que a métrica terá seu valor dobrado (linhas 9). Após a classificação, o par seleciona o vizinho com a maior pontuação e o desconecta (linha 10). O algoritmo tem complexidade linear em função do tamanho da vizinhança do par, sendo este valor tipicamente baixo (até 80 pares).

4. Metodologia

Esta seção apresenta detalhes da metodologia utilizada para avaliação do mecanismo de *Optimistic Disconnect*. Tal metodologia tem como principal foco identificar o impacto do OD no desempenho e na formação de topologias de enxames. A partir desse objetivo, duas questões fundamentais são propostas para guiar o processo de análise:

- Q1:** Qual a redução que o OD pode gerar no tempo de download dos pares e na utilização de recursos do enxame?
- Q2:** A utilização do OD fará com que a topologia do enxame convirja para uma estrutura mais resiliente a perturbações como *churn*?

O restante desta seção apresenta o ambiente padrão utilizado para execução dos experimentos. Em seguida, são descritos os principais cenários e métricas utilizadas na avaliação, os quais foram definidos a partir das questões fundamentais apresentadas.

4.1. Ambiente Padrão

Para avaliar o impacto provocado pelo do OD, foi executado um conjunto de experimentos com enxames privados no PlanetLab. A escolha dos parâmetros, principalmente aqueles relacionados ao tamanho do enxame e conteúdo, foi restringida por limitações do ambiente de experimentação. Para evitar possíveis efeitos negativos nas avaliações, então, todos os parâmetros foram proporcionalmente configurados para que o comportamento do enxame seja equivalente àqueles comumente encontrados em situações reais. Os enxames são compostos por 51 pares, dos quais um é o semeador inicial e o restante sugadores compartilhando um arquivo de 16 MB, dividido em 256 peças de 64 KB cada uma. Cada um dos pares foi configurado para conectar a no máximo 25 vizinhos, de forma a representar um cenário em que pares tem conhecimento parcial sobre os demais pares da rede. Os sugadores tiveram sua banda de download limitada a 160 Kbps e a de upload em 40 Kbps, enquanto o semeador inicial tem capacidade de upload de 320 Kbps.

O tempo de chegada dos pares é modelado com uma distribuição Weibull [Zhang et al. 2011]. O tempo máximo de chegada dos pares é de 85 segundos a partir da criação do enxame, representando um *flashcrowd*. Após obterem todo o conteúdo, sugadores permanecem no enxame até que sua taxa de compartilhamento atinja 1. O semeador inicial, por sua vez, sempre estará presente no enxame. Todos pares utilizam o agente de usuário Vuze versão 4.6.0.5, de março de 2011, com configurações da instalação padrão.

4.2. Cenários

Os parâmetros acima descritos são variados em diferentes cenários, com dois objetivos: mostrar influência do OD sobre o desempenho do enxame, e analisar como o mecanismo pode ser influenciado por mudanças na topologia da rede. Refletindo isso, são empregados dois conjuntos de cenários.

Em relação ao desempenho, dois cenários foram escolhidos. No primeiro, os parâmetros do experimento foram mantidos de acordo com os padrões apresentados na seção anterior, sendo variada apenas a utilização ou não do mecanismo OD pelos pares. O segundo cenário avalia o impacto de diferentes padrões de chegada dos pares ao enxame, por exemplo no caso de não haver um fenômeno de *flashcrowd*. Esse cenário foi avaliado considerando diferentes intervalos na chegada, variando desde 0 (todos pares entram ao mesmo tempo) até distribuídos em 18 minutos a partir da criação do enxame.

Quanto à conectividade, também dois cenários foram selecionados. No primeiro, verifica-se se a existência de pares não alcançáveis (bloqueados por uma NAT, por exemplo) apresenta algum impacto na operação do OD. Tal avaliação foi realizada variando-se o número de pares no enxame que aceitam conexões de vizinhos, de 75% a 30% (representando um extremo negativo). O segundo cenário, por sua vez, avalia o impacto da heterogeneidade dos pares no mecanismo. Nesse caso, cada par é inserido em uma classe de conectividade, a qual definirá os limites de upload e download. Foram empregadas entre 1 e 10 classes nos experimentos.

4.3. Métricas

As principais métricas utilizadas na avaliação foram definidas a partir das duas questões fundamentais apresentadas no início desta seção. As duas primeiras se referem a desempenho, e as outras três, à conectividade:

- **Tempo de download:** tempo necessário para um par obter o conteúdo completo desde sua chegada no enxame;
- **Utilização de recursos de upload:** indica a utilização da banda de upload disponível em um par para envio de conteúdo a seus vizinhos. Quanto maior a média de utilização do upload dos pares maior será a disseminação do conteúdo e, consequentemente, o desempenho do enxame;
- **Distância ao semeador inicial:** quanto maior a distância de um par à principal fonte de conteúdo do enxame, menor será seu desempenho: as peças deverão primeiro ser propagadas aos elementos intermediários no caminho, o que aumentará o tempo para sua obtenção;
- **Coefficiente de clusterização:** o coeficiente de clusterização pode ser utilizado para verificar a semelhança da estrutura de um enxame àquela de um grafo randômico, que apresenta boa propriedade de robustez [Barabási 2002];
- **Conectividade do grafo:** representa quantos vértices ou arestas devem ser retirados para desconectar o grafo, ou seja, quantas desconexões são necessárias para que ocorra o particionamento do enxame.

5. Resultados

Os resultados são apresentados refletindo os cenários definidos na Seção 4.2. Foram realizadas pelo menos 5 execuções de cada um dos cenários com o objetivo de manter a validade estatística dos resultados.

5.1. Cenário Padrão

A primeira avaliação tem por objetivo mostrar o impacto do OD em um enxame comum. Os resultados relativos ao desempenho do enxame podem ser observados na Figura 1. A Figura 1(a) ilustra, no eixo vertical, o tempo total em minutos para download do conteúdo e, no horizontal, os pares do enxame em ordem crescente de tempo de download. A Figura 1(b), por sua vez, ilustra, no eixo vertical, a taxa de utilização da capacidade de upload e, no horizontal, os pares do enxame em ordem crescente de utilização de sua capacidade de upload. Em ambas as Figuras duas curvas são apresentadas: a primeira ilustra enxames que não utilizam o OD e a segunda, os casos em que o OD está ativo.

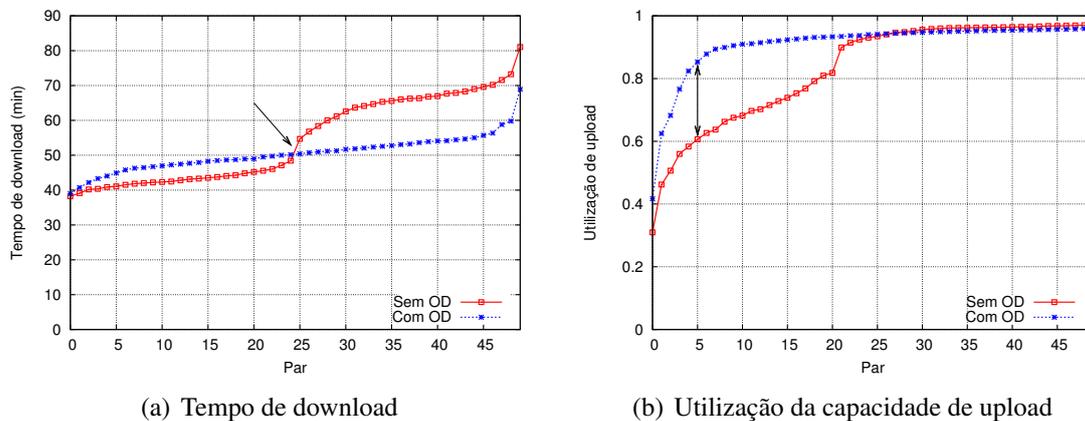


Figura 1. Desempenho do enxame

É possível observar, pela Figura 1(a), que a utilização do OD aumenta a uniformidade no tempo de download dos pares, havendo uma diferença de 27 minutos entre os pares com menor e maior tempo de download. Quando o OD não é utilizado, porém, essa diferença aumenta substancialmente para 41 minutos. A Figura 1(b), por sua vez, mostra que OD permite aos pares utilizarem melhor sua capacidade de upload. Neste caso, mais de 90% dos pares contribuem com pelo menos 80% de sua capacidade de upload, enquanto no caso sem OD apenas 60% dos pares apresentam tal contribuição.

Os resultados obtidos em relação ao desempenho são diretamente influenciados pela formação topológica dos enxames. A Figura 2(b) ilustra uma fotografia de um enxame no qual o OD não é utilizado, e a Figura 2(c), por sua vez, quando OD está ativo. Os enxames apresentaram topologias com o mesmo padrão da Figura 2, então neste e nos demais casos, os enxames ilustrados foram selecionados aleatoriamente. Os vértices são destacados para ilustrar o semeador inicial, seus vizinhos, e os demais pares do enxame.

Ao comparar as topologias da Figura 2, observa-se que quando o OD não é utilizado há a formação de uma topologia com um alto fator de clusterização (92,3%), havendo dois grupos fortemente conectados com algumas ligações entre si. A utilização do OD, por sua vez, faz com que o fator de clusterização seja reduzido pela metade: 46,7%. Há também uma diferença considerável na robustez dessas topologias, considerando as

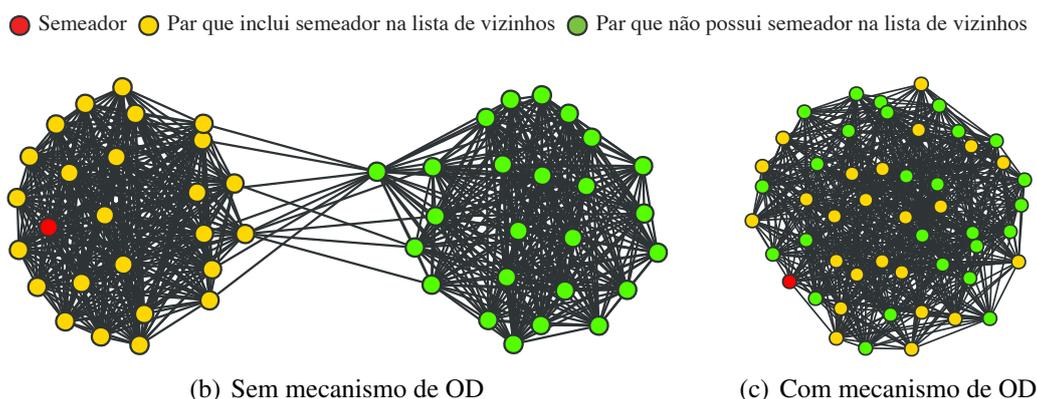


Figura 2. Topologia resultante das conexões entre pares do enxame

métricas de conectividade de vértices e arestas. Quando o OD não é utilizado, a conectividade de vértices é de 5,6 e a de arestas, 16, resultados que indicam uma topologia com pouca resistência a *churn*. Em contraste, com OD, tanto a conectividade de vértices quanto a de arestas apresentam um resultado de 21,6, ou seja, a topologia torna-se muito mais resistente ao *churn*. A distância média dos pares ao semeador inicial, por sua vez, é de 1,72 *hops* quando OD não é utilizado, sendo reduzida para 1,47 com a ativação do mecanismo. Tal diferença, de 17,4%, tem uma influência direta no desempenho do enxame, como observado nos resultados anteriores.

Os resultados indicam que a não utilização do OD leva à existência de dois grupos de pares com comportamentos distintos: os vizinhos do semeador e os que não o são, evidenciados pelos *clusters* da Figura 2(b) e pela diferença nos tempos de download da curva “Sem OD” na Figura 1(a). O primeiro grupo demora em média 43,39 minutos para completar seu download e utiliza 95% da sua capacidade de upload, enquanto que o segundo termina o download em mais de 65 minutos, em média, além de contribuir com apenas 71% de sua capacidade total de upload. Uma percepção importante é que tal divisão decorre da ordem de chegada dos pares no enxame, como é apresentado em [Al-Hamra et al. 2007], pois verifica-se que os 25 vizinhos do semeador são um subconjunto dos primeiros 28 pares a entrarem no enxame. Quando o OD é utilizado, a influência do tempo de chegada é amenizada devido ao embaralhamento de pares. Além disso, os tempos de download e a utilização de upload dos dois grupos se tornam mais equilibrados, sendo a diferença menor que 4%.

5.2. Chegada

Os resultados até agora apresentados indicam que a utilização do OD melhora o desempenho do enxame. No cenário padrão, porém, considera-se a existência de uma *flashcrowd*, ou seja, todos os pares entram no enxame em um curto período de tempo. Como esse nem sempre é o caso, o segundo cenário analisa o efeito da variação da chegada dos pares.

A Figura 3 apresenta os resultados em relação ao tempo de download e taxa de utilização da capacidade de upload. Cada curva representa resultados obtidos utilizando-se diferentes intervalos de chegada entre pares, com e sem OD.

As três curvas inferiores na Figura 3(a) (“18mins OD”, “6mins OD” e “0mins OD”) mostram que a ativação do OD faz com que o tempo de download permaneça uniforme entre os pares, mesmo quando há diferença em seu intervalo de chegada. Quando OD não é utilizado (note, particularmente, as duas curvas superiores, “18mins” e “6mins”),

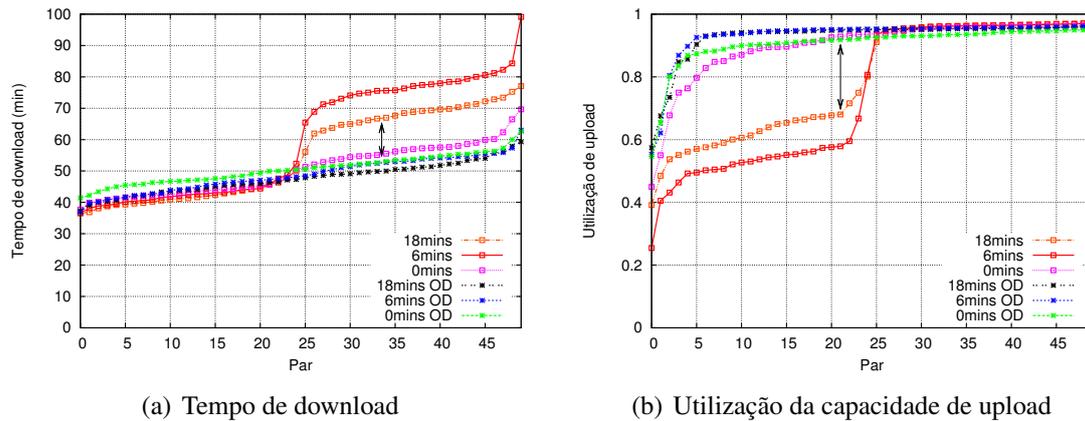


Figura 3. Desempenho do enxame – variação da chegada dos pares

ocorre um acréscimo de até 18% no tempo de download, conforme indicado pela seta. Em relação à utilização da capacidade de upload, apresentada na Figura 3(b), observa-se que o uso do OD (“18mins OD”, “6mins OD” e “0mins OD”) contribui para o melhor aproveitamento dos recursos, independentemente do tempo entre a chegada dos pares.

A Figura 4 mostra uma fotografia das topologias observadas durante a execução de experimentos do cenário em que os pares chegam distribuídos em 6 minutos com e sem OD. Em linha com os resultados na Seção 5.1, observa-se que a utilização do OD leva a uma topologia com menor fator de clusterização (46,4%) em comparação ao caso em que o mecanismo não é empregado (98,1%). Quando o OD não é utilizado, a conectividade de vértices e arestas é, respectivamente, 2 e 4, valores que indicam uma fragilidade bastante acentuada em situações de *churn*, que podem levar a um particionamento. Em comparação, ambas métricas de conectividade apresentam valor 22,3 quando o OD está ativo, tornando a topologia mais resiliente. A distância do semeador inicial, por sua vez, passa de 1,91 para 1,47 através da utilização do OD, resultando em uma melhora de 30,2%.

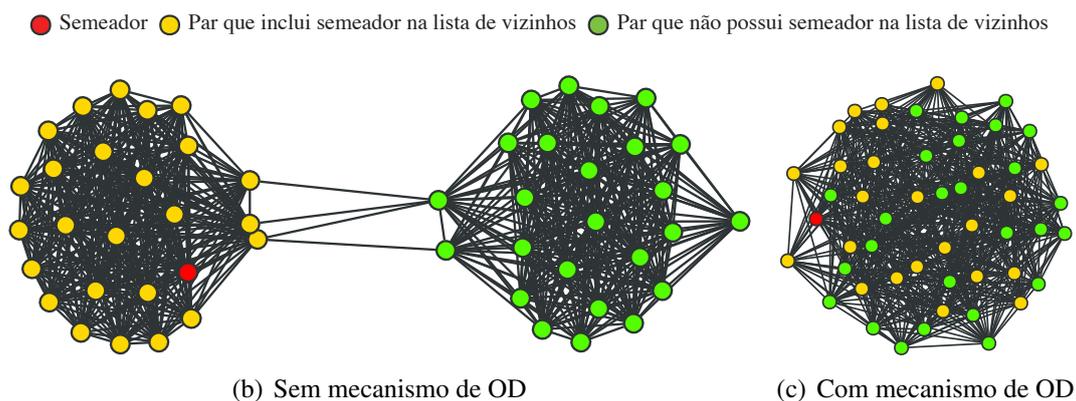


Figura 4. Topologia do enxame – variação da chegada dos pares

Comparando-se as curvas sem OD para diferentes intervalos de chegada (“18mins” e “6mins”), na Figura 3(a), observa-se que intervalos de chegada mais longos tendem a melhorar os tempos de download. Tal fenômeno ocorre pois, com o passar do tempo, a disseminação do conteúdo permite que pares subsequentes encontrem uma maior disponibilidade de peças. Como resultado, o tempo que estes precisam permanecer ativos

no enxame é menor do que os que chegaram nos momentos iniciais. As propriedades topológicas do enxame, porém, continuam próximas daquelas observadas na Figura 4(b) quando OD não é utilizado.

Outro fenômeno observado quando o OD não está ativo é o favorecimento da aleatoriedade das conexões quando os intervalos entre a chegada dos pares são mais próximos de zero, como observado na curva “0mins” na Figura 3(a). Neste caso, a clusterização é de 78,3% e os níveis de conectividade de vértices e arestas, respectivamente, 10 e 15,6. Como consequência, haverá uma melhora no desempenho do enxame em comparação aos casos com intervalos de chegada maiores. Independentemente, os resultados mostram que a utilização do OD leva a uma topologia com propriedades mais robustas.

5.3. Alcançabilidade

Um elemento que apresenta grande influência no desempenho de enxames BitTorrent é a alcançabilidade dos pares na rede. Integrantes de um enxame podem se conectar à rede através de redes protegidas por um firewall ou dotadas de mecanismos de tradução de nomes (NAT), os quais podem impedir que um par receba solicitações de conexão oriundas de outros pares. Para avaliar o impacto da alcançabilidade sobre o mecanismo de OD, experimentos foram realizados variando-se o número de pares alcançáveis (ou seja, conectáveis) pelo restante do enxame.

A Figura 5 apresenta os resultados para o tempo de download e a taxa de utilização da capacidade de upload. Cada curva representa resultados considerando-se diferentes razões de pares alcançáveis no enxame, com e sem OD.

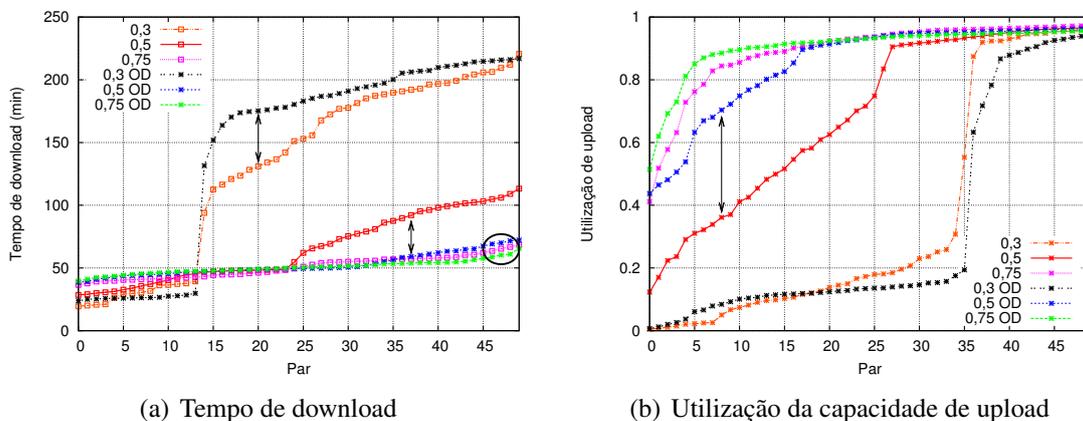


Figura 5. Desempenho do enxame – variação da alcançabilidade

As curvas “0,75” e “0,75 OD” da Figura 5(a) ilustram cenários onde 75% da rede é alcançável. Nestes casos, o enxame naturalmente torna-se mais eficiente e o desempenho dos pares, tanto com e sem OD, é praticamente igual. As métricas da topologia, quando OD não é utilizado, mostram que uma alcançabilidade de 75% evita a clusterização excessiva da rede, que se mantém em um fator de 74,5%. Neste caso, a conectividade de vértices e arestas é, respectivamente, igual a 6,66 e 8,66. Quando OD é utilizado, não há um grande favorecimento do desempenho do enxame, apenas de sua robustez, já que as métricas de conectividade têm valores melhores com o uso do mecanismo.

As curvas “0,5” e “0,5 OD” da Figura 5(a), por sua vez, ilustram os casos em que 50% da rede é alcançável, condição na qual a rede torna-se vulnerável à *churn* [Al-Hamra

et al. 2007]. Uma fotografia das topologias dos enxames desses casos é apresentada na Figura 6(b) para o caso sem OD e para o caso com OD, na Figura 6(c). Como já observado nos cenários anteriores, a utilização do OD reduz o nível de clusterização da rede de 61,1% para o caso sem OD para 21,4%. Quando o OD não é utilizado, ambas conectividades de vértices e arestas apresentam o valor 1,6. Quando OD é utilizado, ambos os valores de conectividade são elevados para 14,25, um valor quase nove vezes maior, indicando um aumento significativo na robustez da rede. Observa-se, por fim, uma distância 8,7% menor para o semeador inicial quando o OD é usado. Tais condições topológicas explicam o comportamento observado nas curvas “0,5” e “0,5 OD” da Figura 5(a), nas quais o OD apresenta uma melhora considerável no desempenho do enxame, pois ele contribui para uma maior vizinhança média dos pares: 22,26 com OD, contra 17,41 sem OD. Isso permite aos pares maiores oportunidades de download, disponibilidade de peças e resistência à saída de pares.

● Semeador ● Par que inclui semeador na lista de vizinhos ● Par que não possui semeador na lista de vizinhos

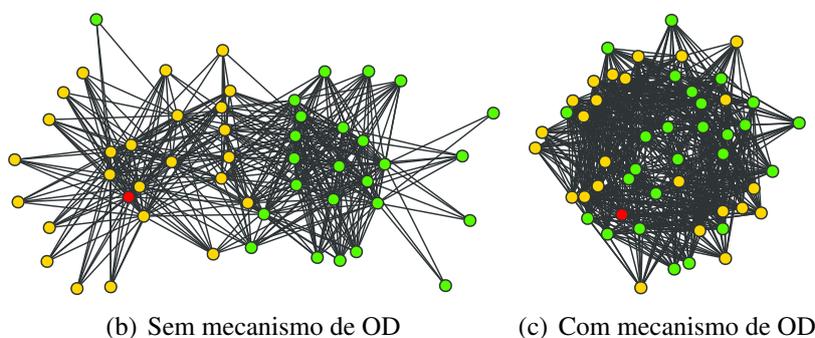


Figura 6. Topologia do enxame – alcançabilidade de 50%

As curvas “0,3” e “0,3 OD” da Figura 5(a), por fim, ilustram os casos onde a alcançabilidade da rede é de 30%, cenário no qual a utilização do OD começa a prejudicar o tempo de download dos pares. Tal queda no desempenho é explicada pelo fato de que a desconexão otimista não apresenta vantagem quando o enxame possui uma conectividade muito limitada: a chance de encontrar outro par alcançável é muito baixa para justificar o encerramento de uma conexão já estabelecida.

5.4. Heterogeneidade

O segundo fator que influencia no funcionamento do *Optimistic Disconnect* é a heterogeneidade dos pares em relação às suas capacidade de download e upload. Para observar-se a influência deste fator sobre o funcionamento do OD, grupos de pares foram configurados para dedicarem diferentes quantidades de recursos de rede para utilização no enxame.

A Figura 7 apresenta os resultados de desempenho do enxame em relação ao tempo de download e taxa de utilização da capacidade de upload. Há dois pares de curvas, denotados 1 e 10, considerando a quantidade de classes de banda, com e sem OD.

Observando as curvas “10” e “10 OD” das Figuras 7(a) e 7(b), verifica-se que a utilização do OD é benéfica, pois faz com que quase todos os pares apresentem um tempo de download menor e uma utilização de upload maior, como indicado pelas setas. Como esperado, há uma variação considerável no tempo de download do conteúdo quando pares possuem diferentes capacidades de banda. A diferença de desempenho entre os casos com e sem OD beneficia um número maior de pares diferentemente do caso homogêneo

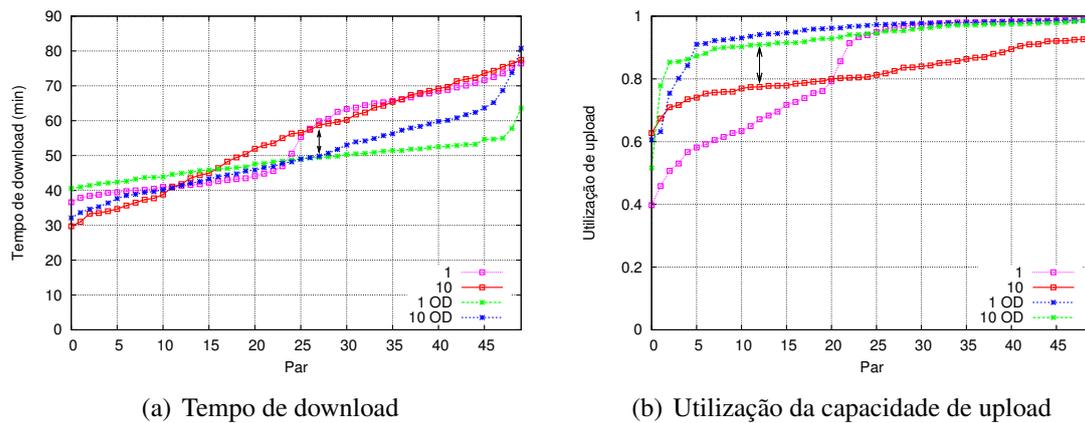


Figura 7. Desempenho do enxame – variação da capacidade de banda

(curvas “1” e “1 OD”), em que tal diferença é observada de modo mais acentuado para aproximadamente metade dos integrantes.

Fotografias de enxames deste cenário são apresentadas na Figura 8(b) para o caso sem OD e para o caso com, na Figura 8(c). Repetindo a tendência dos cenários anteriores, a utilização do OD leva a um coeficiente de clusterização menor: 92,2% no caso sem OD contra 46,4% do caso com OD. Quando o mecanismo não é utilizado, a conectividade de vértices e arestas é, respectivamente, 4,6 e 18,6. Utilizando-se o mecanismo, ambos valores são elevados para 23,6. A distância ao semeador, por sua vez, sofre uma redução de 21,8% com a utilização do mecanismo. A análise da evolução da topologia mostrou que a heterogeneidade dos pares associada ao OD faz com que pares de uma mesma classe se agrupem e criem um maior número de conexões entre si, proporcionando a clusterização também nas trocas de dados entre pares com capacidade de upload semelhantes, conforme apresentado em [Legout et al. 2007]. Utilizando OD, encontramos que os pares de mesma classe trocam entre si em média 16,2% do volume total de dados, podendo chegar até 30% nas classes com mais capacidade, resultando em uma eficiência maior no uso dos recursos. Em contraste sem OD, a troca na mesma classe é de 13,7%.

● Semeador ● Par que inclui semeador na lista de vizinhos ● Par que não possui semeador na lista de vizinhos

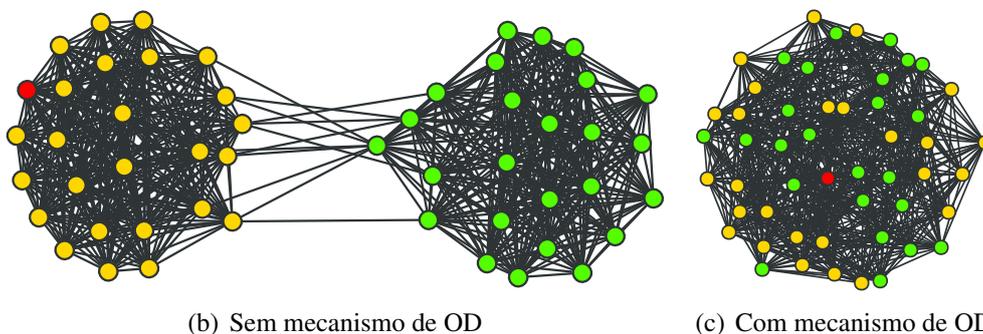


Figura 8. Topologia do enxame – diferentes capacidades de banda

6. Considerações Finais

O *Optimistic Disconnect* é um mecanismo implementado em clientes BitTorrent que tem por objetivo desconectar vizinhos que apresentam baixa contribuição de modo que novas

conexões, mais interessantes, sejam criadas. Este artigo apresenta o primeiro trabalho experimental que investiga as diferentes influências do OD em enxames BitTorrent. Os resultados obtidos mostram que a utilização do OD faz com que a topologia do enxame seja mais resistente a fenômenos como o *churn*, além de beneficiar o desempenho do enxame em 18% em alguns casos.

Os resultados de todos os cenários mostram um aumento do desempenho médio dos pares em relação ao tempo de download e à utilização da capacidade de upload. Também observa-se que o OD torna o desempenho dos pares mais homogêneo, há uma melhor distribuição da utilização de recursos entre os pares do enxame. Além disso, em todos os cenários foi possível observar que utilização do OD também tende a formar enxames com topologias mais robustas. Em situações de *flashcrowd*, onde há uma grande tendência de formação de *clusters* na topologia, a influência do OD evita que a rede perca suas características aleatórias. Como resultado, são favorecidas características que tornam o enxame mais resistente a situações de *churn*. O mecanismo mostrou não ser influenciado pela heterogeneidade dos pares do enxame, continuando a contribuir para a melhora do desempenho. Determinamos, por fim, que o funcionamento eficiente do OD depende do nível médio de alcançabilidade dos pares no enxame: em situações com baixa alcançabilidade, pares podem perder conexões funcionais sem ser possível estabelecer conexões com outros pares em substituição.

Como trabalhos futuros, esperamos desenvolver experimentos com cenários mais próximos daqueles encontrados na Internet, principalmente em termos da escala do enxame. Um modelo analítico das influências do OD em enxames BitTorrent também será desenvolvido para corroborar os resultados dos experimentos. Por fim, a partir das conclusões obtidas no estudo, espera-se obter informações que permitam a proposta e implementação de melhorias nos mecanismos de *Optimistic Disconnect* dos principais clientes BitTorrent em utilização.

Referências

- Al-Hamra, A., Legout, A., and Barakat, C. (2007). Understanding the properties of the BitTorrent overlay. Disponível em <arxiv.org/pdf/0707.1820>.
- Al-Hamra, A., Liogkas, N., Legout, A., and Barakat, C. (2009). Swarming overlay construction strategies. In *ICCCN 2009: 18th International Conference on Computer Communications and Networks*, pages 1–6.
- Barabási, A.-L. (2002). *Linked: The New Science of Networks*. Perseus Books Group.
- Barcellos, M., Bauermann, D., Sant’Anna, H., Lehmann, M., and Mansilha, R. (2008). Protecting BitTorrent: Design and evaluation of effective countermeasures against dos attacks. In *SRDS 2008: IEEE Symp. on Reliable Distributed Systems*, pages 73–82.
- Choffnes, D. R. and Bustamante, F. E. (2008). Taming the torrent: a practical approach to reducing cross-isp traffic in peer-to-peer systems. *SIGCOMM Computer Communication Review*, 38:363–374.
- Cohen, B. (2003). Incentives build robustness in BitTorrent. In *1st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems*, pages 1–5.
- Dale, C. and Liu, J. (2007). A measurement study of piece population in bittorrent. In *GLOBECOM 2007: IEEE Global Telecommunications Conference*, pages 405–410.

- Dale, C., Liu, J., Peters, J., and Li, B. (2008). Evolution and enhancement of bittorrent network topologies. In *IWQoS 2008: 16th International Workshop on Quality of Service*, pages 1–10.
- Dhungel, P., Hei, X., Wu, D., and Ross, K. (2011). A measurement study of attacks on bittorrent seeds. In *ICC 2011: IEEE Int. Conf. on Communications*, pages 1–5.
- Falkner, J., Piatek, M., John, J. P., Krishnamurthy, A., and Anderson, T. (2007). Profiling a million user DHT. In *ICM 2007: 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pages 129–134.
- Izal, M., Urvoy-Keller, G., Biersack, E., Felber, P., Al Hamra, A., and Garcés-Erice, L. (2004). Dissecting BitTorrent: Five months in a torrent's lifetime. In *Passive and Active Network Measurement*, volume 3015 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 1–11. Springer Berlin.
- Kryczka, M., Cuevas, R., Guerrero, C., and Azcorra, A. (2011). Unrevealing the structure of live BitTorrent swarms: Methodology and analysis. In *P2P 2011: IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing*, pages 230–239.
- Legout, A., Liogkas, N., Kohler, E., and Zhang, L. (2007). Clustering and sharing incentives in bittorrent systems. In *SIGMETRICS 2007: ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems*, pages 301–312.
- Legout, A., Urvoy-Keller, G., and Michiardi, P. (2006). Rarest first and choke algorithms are enough. In *IMC 2006: 6th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement*, pages 203–216.
- Qiu, D. and Srikant, R. (2004). Modeling and performance analysis of bittorrent-like peer-to-peer networks. In *SIGCOMM 2004: Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications*, pages 367–378.
- Sandvine (2011). Fall 2011 global internet phenomena report. Disponível em http://www.sandvine.com/downloads/documents/10-26-2011_phenomena/SandvineGlobalInternetPhenomenaReport-Fall2011.pdf.
- Urvoy-Keller, G. and Michiardi, P. (2006). Impact of inner parameters and overlay structure on the performance of bittorrent. In *INFOCOM 2006: 25th IEEE International Conference on Computer Communications*, pages 1–6.
- Wu, D., Dhungel, P., Hei, X., Zhang, C., and Ross, K. (2010a). Understanding peer exchange in bittorrent systems. In *P2P 2010: IEEE Tenth International Conference on Peer-to-Peer Computing*, pages 1–8.
- Wu, T., Li, M., and Qi, M. (2010b). Optimizing peer selection in BitTorrent networks with genetic algorithms. *Future Generation Computer Systems*, 26:1151–1156.
- Zhang, B., Iosup, A., Pouwelse, J., and Epema, D. (2011). Identifying, analyzing, and modeling flashcrowds in bittorrent. In *P2P 2011: IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing*, pages 240 – 249.
- Zhang, H., Neglia, G., Towsley, D., and Lo Presti, G. (2007). On unstructured file sharing networks. In *INFOCOM 2007: 26th IEEE International Conference on Computer Communications*, pages 2189–2197.
- Zhong, L., Wang, X., and Kihl, M. (2011). Topological model and analysis of the P2P BitTorrent protocol. In *WCICA 2011: 9th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, pages 753–758.