

BitPS: um esquema de precificação para sistemas par-a-par baseados em BitTorrent.

Gabriel de Godoy Correa e Castro¹, Humberto T. Marques-Neto¹

¹ Departamento de Ciência da Computação
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas)
30.535-901 - Belo Horizonte - Brasil

gabrielgodoy@acm.org, humberto@pucminas.br

Abstract. *Due to peer-to-peer (P2P) architecture and its popularity, it's expected that users seek to maximize their use over the use of other users. A kind of these users is known as free rider, that don't share their resources with the system in the same proportion in which he consumes it, generating a imbalance in the system. So this work presents a pricing scheme, named BitTorrent Pricing Scheme (BitPS), which can foster the collaboration among users of one P2P system based on BitTorrent private tracker. In BitPS, the virtual price is variable and depends on system workload. The usage of BitPS can reduce the problem of free-riding and make this peer-to-peer system fairer than its default usage.*

Resumo. *Devido à arquitetura e popularidade dos sistemas par-a-par (P2P), é esperado que os usuários tentem maximizar seu uso em detrimento dos outros usuários. Um tipo desses usuários é conhecido como free-rider, que não compartilha seus recursos no sistema na mesma proporção em que consome, gerando um desequilíbrio no sistema. Assim este trabalho apresenta um esquema de precificação denominado BitTorrent Pricing Scheme (BitPS), que pode promover a colaboração entre usuários do sistema P2P BitTorrent usando trackers privados. Com esse esquema, usuários deverão pagar um preço virtual proporcional ao seu uso do sistema. O uso do BitPS pode reduzir o problema de free-riding e tornar o BitTorrent um pouco mais justo que o uso normal.*

1. Introdução

Estudos mostram que sistemas par-a-par (P2P) são responsáveis por mais de 60% da carga de trabalho da Internet, o que pode corresponder a 3,3 *exabytes* de tráfego mensal [Ipoque 2009, Cisco 2010]. Algumas aplicações, como os *softwares* de mensagem eletrônica (ex.: *Windows Live Messenger* e *Skype*) e computação distribuída (ex.: *SETI@home* e *Folding@home*) são sistemas P2P típicos. Além disso, o maior consumo de banda provém dos sistemas par-a-par de trocas de arquivo, como BitTorrent, e-Mule e Gnutella [Ipoque 2009]. Considerando a alta carga de trabalho dos sistemas P2P de troca de arquivo, estudos sobre esses sistemas são feitos para melhorar sua eficiência e tentar torná-los mais justos do ponto de vista de seus usuários [Sirivianos et al. 2007, Feldman and Chuang 2005, Garcia and Hoepman 2004].

Sistemas P2P dependem da disponibilidade de seus usuários compartilhando seus recursos com outros da rede, geralmente, formada por este tipo de sistema. Contudo,

alguns usuários não agem de maneira colaborativa, isto é, eles não compartilham seus recursos na mesma proporção com que eles utilizam os recursos do sistema, acarretando em um desequilíbrio de recursos no sistema. Este problema é denominado, na literatura, como *free-riding*. Mecanismos que promovem a colaboração entre usuários P2P podem evitar esse tipo de comportamento anormal, ou seja, podem inibir a ação *free-rider*. Alguns desses mecanismos possuem características similares a modelos estudados pela Teoria dos Jogos [Fudenberg and Tirole 1991], que são largamente utilizados na economia para entender o relacionamento entre dois usuários que trocam bens e serviços. O *tit-for-tat*¹ [Axelrod 1985] é um exemplo de conceito da Teoria dos Jogos aplicada em sistemas P2P (ex.: BitTorrent [Cohen 2003]). Seguindo o princípio de “retribuição equivalente”, usuários P2P devem prover uma determinada quantidade de recursos, dependendo do quanto eles obtiveram do sistema.

Outra forma de evitar um uso injusto do sistema P2P é a adoção de esquemas de precificação. O uso de esquemas de precificação em sistemas par-a-par pode ser feito de duas formas: explícita ou implícita [Mansfield and Yohe 2000]. A precificação explícita se refere diretamente ao uso monetário de dinheiro real ou virtual. Por outro lado, a precificação implícita envolve bens intangíveis como, por exemplo, a reputação dos usuários. Mecanismos de reputação consideram dados do histórico de transações do usuário para determinar sua confiabilidade e permitir que outros usuários decidam se obterão recursos daquele usuário. Existem algumas propostas de precificação em sistemas P2P que usam protocolos de micropagamentos [Yu et al. 2004] ou que usam um sistema de pagamento para controlar o quanto um usuário pode cobrar por um recurso [Liang and Shi 2005]. Esses e outros exemplos serão discutidos na sessão 2.4.

Este trabalho apresenta um esquema de precificação capaz de encorajar a colaboração entre usuários de *trackers* privados de BitTorrent. O esquema de precificação proposto, aqui chamado *BitTorrent Pricing Scheme (BitPS)*, é uma adaptação do *Broadband Pricing Scheme (BPS)* proposto em [Marques-Neto et al. 2007] e estendido em [Marques-Neto et al. 2010]. Ambos, BPS e BitPS, são detalhados nas seções 2.2 e 3, respectivamente. O BitPS pode ser utilizado para complementar o mecanismo de reputação já utilizado no BitTorrent, que determina a confiabilidade do usuário baseado no seu histórico de compartilhamento de recursos. Então, o BitPS pode melhorar a eficiência do BitTorrent, oferecendo um incentivo visível para a contribuição de recursos com o sistema P2P, atenuando o problema de *free-riding*. Em resumo, o objetivo desse trabalho é apresentar uma nova forma de encorajar a colaboração em *trackers* privados de BitTorrent, tornando-o uma implementação mais justa que a normal, do ponto de vista tanto dos usuários quanto do sistema. Isso é possível, uma vez que o BitPS incentiva o usuário a agir como um usuário normal dentro do sistema que utiliza um *tracker* privado de BitTorrent.

Para demonstrar as melhorias realizáveis com o uso do esquema de precificação proposto, foi utilizado o BitTorrent Simulator feito pela Microsoft Research [Research 2005]. Esse simulador foi adaptado para utilizar o BitPS e o Dandelion [Sirivianos et al. 2007], dada sua proximidade do BitTorrent. O Dandelion é melhor explicado na Seção 2.4. Os resultados da simulação, com e sem o uso do novo esquema de precificação, e suas comparações com a implementação do Dandelion são analisadas

¹A regra do “Olho por olho”

na Seção 4. Os resultados, também discutidos na Seção 4, mostram que o BitPS torna o sistema mais justo e homogêneo. Além disso, a Seção 2 apresenta e discute trabalhos relacionados. Finalmente, na Seção 5, as conclusões desse trabalho são apresentadas.

2. Contextualização e trabalhos relacionados

2.1. Algumas Contribuições da Economia para Sistemas P2P

A primeira contribuição da economia para sistemas P2P é o *Equilíbrio de Nash*, frequentemente mencionado na literatura de Teoria dos Jogos [Fudenberg and Tirole 1991]. O *Equilíbrio de Nash* pode auxiliar na explicação de como um sistema P2P pode se tornar mais estável. De acordo com a Teoria dos Jogos, nenhum dos participantes do jogo possui algo a ganhar mudando suas estratégias, ou seja, o equilíbrio ocorre quando um vendedor não consegue ganhar mais e um comprador não consegue barganhar mais. Sistemas P2P devem monitorar e entender o comportamento do usuário para atingir esse tipo de equilíbrio.

Outro conceito de Teoria dos Jogos que pode ser utilizado nos sistemas par-a-par é o *Dilema do Prisioneiro*. Neste dilema, dois prisioneiros têm a oportunidade de terem suas sentenças diminuídas se cooperarem em delatar o outro. Entretanto, se ambos escolherem delatar o outro, ambas as sentenças são aumentadas e, se nenhum delatar, eles mantêm a sentença já definida [Fudenberg and Tirole 1991]. Isso gera uma matriz de recompensa que pode ser aplicada a sistemas P2P. Em outras palavras, se ninguém contribui, ninguém consegue o recurso. A aplicação do *Dilema do prisioneiro* em sistemas P2P foi estudada e analisada por [Lai et al. 2003] e [Feldman et al. 2004].

Na economia, precificação é o processo de determinar o que um produtor ou provedor receberá por um produto ou serviço oferecido. Esse retorno deve ser suficientemente positivo para permitir que esse produtor ou provedor permaneça atuando no mercado. O estabelecimento do preço de um produto ou serviço considera a combinação de variáveis internas como custos e margem de lucro, e variáveis externas como a disponibilidade do produto ou serviço [Mansfield and Yohe 2000]. Aplicando um esquema de precificação em sistemas P2P, é possível interferir no controle da carga de trabalho de alguns recursos.

2.2. *BroadBand Pricing Scheme (BPS)*

O *Broadband Pricing Scheme (BPS)* foi proposto para prover benefícios tanto para os usuários quanto para os provedores de acesso a Internet (ISP na sigla em inglês para *Internet Service Provider*) de banda larga [Marques-Neto et al. 2007]. No BPS, o uso da rede possui um preço para cada tempo do dia, que é calculado proporcional ao histórico da carga de trabalho dos servidores do ISP em um período específico. Como no BPS cada *byte* trafegado é cobrado dependendo do preço da hora, seu uso pode acarretar em uma melhor distribuição do uso da Internet durante as horas do dia.

No BPS, cada usuário possui uma quantidade de créditos, chamado *budget*, suficiente para usar a Internet de acordo com o limite de sua assinatura. Como o preço de uso é diferente para cada hora do dia, o usuário pode adiar ações que demandam mais recursos da rede, como *bandwidth*, por períodos em que o preço é menor. O BPS estima a quantidade de *budget* que o usuário precisará até a próxima recarga do *budget* baseado no seu histórico de consumo.

Em resumo, com o BPS existe um incentivo para que os usuários façam um uso da Internet de banda larga em horas, historicamente, com cargas de trabalho baixa na infraestrutura. Eventualmente, a carga de trabalho do servidor poderia ser distribuída pelas horas do dia, permitindo que o ISP otimize o uso de seus recursos e ofereça mais assinaturas de seus serviços para novos usuários. Considerando que usuários de sistemas P2P, apesar de não serem maioria, correspondem por mais de 50% do uso do serviço, o BPS é capaz de contribuir com um uso da Internet mais justo do ponto de vista dos usuários e rentável para o ISP [Marques-Neto et al. 2007].

2.3. BitTorrent

Em um sistema par-a-par os usuários podem agir tanto como clientes quanto como servidores de um recurso. Eles provêm novas informações, ou replicam, ou entregam informações geradas por outro usuário da rede [Parameswaran et al. 2001]. O envolvimento dos usuários como servidores de informação garante a replicação do conteúdo de uma forma mais econômica, tornando desnecessário o uso de servidores robustos para prover a informação para muitos usuários [Karagiannis et al. 2005]. No sistema par-a-par BitTorrent [Cohen 2003], arquivos (recursos) são trocados diretamente entre usuários e dados dos nós conectados são organizados por uma unidade centralizadora conhecida como *tracker*. O *tracker* pode ser público (i.e.: *legaltorrents* e *mininova*) ou privados.

A construção de um *tracker* de BitTorrent é, em geral, equivalente com a de uma website. Ele pode ser feito com uma linguagem como PHP e um gerenciador de banco de dados como *MySQL*. Além disso, também é possível sua alteração, restringindo acesso para alguns clientes ou para alguns IPs específicos, permitindo a implementação de incentivos ou realizando a manutenção da proporção de troca entre os usuários. Algumas implementações de *tracker* público e privado do BitTorrent são apresentadas em [Danomac 2006] e [TBsource and YeOK 2011].

Para facilitar a troca de arquivos entre usuários de BitTorrent, eles são divididos em pequenos pedaços, de forma que o arquivo pode ser recuperado fora da ordem, não dependendo somente de um único usuário, que pode não possuir recursos suficientes para responder a um grupo de demandas. No BitTorrent existem duas categorias de usuários: *seeders* e *leechers*. Os *seeders* são aqueles que só realizam o *upload* do arquivo. Enquanto que os *leechers* realizam *upload* e *download* do arquivo simultaneamente [Cohen 2003]. Apesar do protocolo do BitTorrent ser considerado *tit-for-tat*, não há incentivo explícito para os *seeders* [Locher et al. 2006] e [Piatek et al. 2007]

O BitTorrent utiliza de um mecanismo de reputação em que usuários que realizam mais transferências simultaneamente, que possuem velocidade de transferência baixa ou que possuem restrições, recebem menor prioridade para utilizar o sistema. Com esse mecanismo, é esperado que todos os usuários ofereçam recursos aos outros. Contudo isso geralmente não ocorre e torna o sistema dependente de usuários altruístas, ou seja, aqueles contribuem mais que requerem.

Assim, em *trackers* públicos, os *seeders* existem por puro altruísmo, isto é, eles contribuem com recursos sem a intenção de receber algo em troca. No entanto, em *trackers* privados normalmente é necessário manter um equilíbrio entre o que se consegue e o que se contribui [Salmon et al. 2008], podendo o usuário ter sua conta revogada e, portanto, ficar impossibilitado de realizar downloads. Mas, geralmente, não são oferecidos

outros incentivos para que o usuário colabore com o sistema, o que poderia permitir que a rede pudesse ficar ativa por mais tempo.

2.4. Trabalhos relacionados

O Dandelion é um sistema de troca de arquivos P2P similar ao BitTorrent [Sirivianos et al. 2007]. Ele também divide os arquivos em pedaços para acelerar a transmissão. A diferença entre o BitTorrent e o Dandelion é que, no segundo, existe um banco de crédito. No Dandelion, cada transmissão de arquivo custa uma determinada quantia de créditos. Quando o usuário para quem é transferido não consegue oferecer mais recursos, a quantia que ele paga pela transmissão do arquivo é transferida para o usuário de quem ele requisitou o pedaço do arquivo. Em outras palavras, o Dandelion utiliza um híbrido de *tit-for-tat* e mecanismo de micropagamento. Ele também utiliza um sistema criptográfico para prevenir ataques ao sistema durante a validação de uma transferência. O Dandelion será simulado e analisado na Seção 4.

Usando um esquema de precificação similar, mas propondo um mecanismo de micropagamentos para sistemas P2P, o trabalho apresentado por [Yu et al. 2004] utiliza um preço que depende da qualidade do serviço e da relação entre oferta e demanda da informação buscada no sistema. O preço da informação é estimado periodicamente, dependendo de quantos usuários receberam recursos de volta no passado, o que o torna dinâmico.

O sistema proposto em [Wongrujira and Seneviratne 2005] é um mecanismo de precificação para sistemas P2P baseado em um mercado virtual no lugar de micropagamentos. Esse sistema utiliza um mecanismo de incentivo de troca de tokens, em que os próprios usuários estabelecem seu preço para compartilhar seus recursos. O sistema considera regras de mercado e da economia para justificar o usuário poder estabelecer seu próprio preço, uma vez que ele não colocará seu preço muito alto já que ninguém requererá seu recurso. Além disso, esse trabalho também utiliza um mecanismo de reputação, dando prioridade para transferências de usuários com reputação alta.

O trabalho apresentado por [Feldman and Chuang 2005] realiza um estudo do *free-riding* em que usuários não contribuem com recursos para o sistema e analisa algumas maneiras de atenuar ou eliminar tais problemas. Nesse trabalho os autores propõem pagamentos monetários como incentivos para a contribuição dos usuários. Eles também analisam os problemas e dificuldades da necessidade de uma unidade centralizadora confiável, o que pode aumentar o custo do sistema a um ponto impraticável. Outro ponto discutido é sobre a reciprocidade, que seria o *tit-for-tat* implementado de uma maneira mais robusta que no BitTorrent. Nessa proposta, um dos problemas dessa escolha é como tratar um novo usuário que ainda não foi exposto pelo sistema. Como o novo usuário ainda não contribuiu nada, ele pode ser impedido de realizar requisições.

Já em [Xia and Muppala 2010] é apresentado um método para atenuar o *free-riding* no BitTorrent e, assim, tornar o sistema mais justo. Esse método consiste em um nó manter a reputação de seus vizinhos e divulgar essas reputações para que seja possível a localização e isolamento de usuários considerados *free-riders*, impedindo-os de realizar downloads. Cada *peer* é inicialmente tratado como um possível *free-rider* portanto, antes de ser reconhecido e tratado como um usuário regular do sistema, recebe o tratamento de um *free-rider*, o que pode prejudicar novos usuários.

Todas essas propostas de esquemas de precificação requerem a criação de um novo e específico sistema P2P, portanto, não podem ser aplicados diretamente a uma base de usuários já estabelecida como a do BitTorrent. Já o BitPS, o esquema de precificação proposto nesse trabalho (vide Seção 3), utiliza a arquitetura existente do BitTorrent, que já possui uma base de usuários estabelecida de mais de 160 milhões [BitTorrent 2011]. Desta forma, proposta apresentada neste trabalho pode utilizar o mesmo ambiente utilizado pelo BitTorrent com alguns ajustes nas configurações padrão e simples implementações. Apesar de ser possível a utilização dos programas atuais de *BitTorrent*, há a necessidade de configurá-los para que possam tirar proveito máximo do BitPS. A vantagem do BitPS comparado com as outras propostas é que ele não requer a criação de um programa completamente novo.

3. *BitTorrent Pricing Scheme*

3.1. Variáveis do *BitPS*

As variáveis usadas no *BitPS* são descritas na Tabela 1. Cada uma delas pode ser modificada pelo administrador do sistema sendo que algumas delas, como os limiares inferior e superior, devem ser anunciadas pelo *tracker*. O *budget* é a quantidade de crédito que o usuário pode gastar realizando *downloads* dos arquivos e é atualizado após cada processo de transferência. Os três níveis de preço definem a quantidade que o usuário cobra pela transferência de um *byte*. Esses níveis são definidos pelo administrador. Finalmente, os dois limiares também são configurados pelo administrador e definem qual o preço cobrado pelo usuário no momento da transferência. Cada limiar é uma porcentagem da capacidade do que o sistema do usuário pode realizar. A variável *onSale* serve para, caso o usuário não possua *budget* possa realizar uma transmissão, ou seja, diminuir seu preço, assim se tornar mais competitivo no sistema.

Tabela 1. Variáveis Constituintes do BitPS

<i>Nome</i>	<i>Descrição</i>
<i>Budget</i>	A quantidade de crédito do usuário, que é usado em cada processo de transferência de arquivo.
<i>Preço Baixo</i>	A quantidade de crédito do usuário que é cobrada pela transferência de um <i>byte</i> quando ele está abaixo do Limiar Inferior.
<i>Preço Médio</i>	A quantidade de crédito do usuário que é cobrada pela transferência de um <i>byte</i> quando ele está entre o Limiar Inferior e o Limiar Superior.
<i>Preço Alto</i>	A quantidade de crédito do usuário que é cobrada pela transferência de um <i>byte</i> quando ele está acima do Limiar Superior.
<i>Limiar Inferior</i>	O limite inferior de carga do sistema do usuário.
<i>Limiar Superior</i>	O limite superior de carga do sistema do usuário.
<i>onSale</i>	O percentual pela qual o usuário irá reduzir seu preço.

3.2. Visão geral do *BitPS*

O *BitTorrent Pricing Scheme (BitPS)* pode incentivar a colaboração entre usuários de BitTorrent o que poderia torná-lo mais justo para os usuários, fornecendo um incentivo às suas contribuições para o sistema. Como esse esquema também torna difícil o acesso para usuários que não contribuem, espera-se que ele iniba a presença de usuários *free-riders* no sistema. O *BitPS* funciona com a estrutura de um *tracker* privado, o qual requer registro. Isso não permite que o usuário crie diversas contas para tirar proveito do sistema, mantendo o uso do sistema equânime. Além disso, para não permitir que o usuário registre diversas vezes simultaneamente, o *tracker* pode utilizar métodos de verificação de identidade como, por exemplo, o registro de um endereço de email. Ademais, também é possível bloquear o registro por endereços de IP iguais.

Como ocorre no *BPS*, no *BitPS* cada usuário possui uma quantidade de créditos virtuais, denominado *budget*. Quando um novo usuário é criado, o *tracker* lhe atribui uma quantia de *budget* para que ele possa iniciar seu uso do sistema. O *budget* inicial é calculado utilizando um fator que é a média dos tamanhos dos arquivos disponíveis no sistema e uma quantia de créditos fixa estipulada na configuração do *tracker*. A cada transmissão de arquivos (recursos do sistema) entre usuários, uma quantidade de *budget* é transferida de um usuário para o outro como forma de pagamento pelo recurso adquirido. Essa quantidade é dependente de quantos *bytes* foram transferidos e qual o preço utilizado pelo transmissor no momento.

Existem três níveis de preço cobrado pela transmissão de um *byte*. Eles podem ser definidos pelo administrador do *tracker* durante a configuração do sistema e assumem valores entre zero e dois. Cada nível corresponde a um tipo de utilização do sistema: alta, média e baixa. O preço cobrado do usuário pelo uso do sistema depende do uso de sua capacidade de transmissão, de forma a manter o uso do seu sistema balanceado. Como o preço é cobrado em função do número de *bytes* requisitados, o valor cobrado é a quantidade de *bytes* requeridos multiplicados pelo preço cobrado pelo usuário transmissor, na hora dessa transmissão.

O *tracker* privado (controlador do *budget* do usuário) é responsável por executar as transferências de *budget* entre os usuários ao fim de uma transmissão de arquivo. Apesar de que isso pode permitir o *free-riding*, é possível barrar no *tracker* clientes desconhecidos ou que são reconhecidamente maliciosos. Ademais, também é possível realizar um teste periódico de verificação para, caso um usuário realize uma transmissão de um recurso, mas não informe o fim de uma transmissão, ser caracterizado como um cliente *free-rider*. Assim, o cliente de BitTorrent padrão deve ser alterado de forma que ele informe o fim de uma transmissão para o *tracker* privado.

Como usuário deve possuir *budget* suficiente para poder requisitar um pedaço de recurso, é possível a existência de usuários incapacitados de terminar uma transmissão. Esse problema é diminuído pela possibilidade de um usuário reduzir seu preço, utilizando a variável *onSale*, quando não possuir *budget* suficiente e, assim, se tornar um usuário competitivo no sistema. Mas, se o usuário do *BitPS* ainda não puder finalizar a transmissão, pode realizar uma recarga do *budget* no *tracker*. Essa recarga pode ser realizada se, após um período de tempo, o usuário possuir *budget* inferior ao valor inicial do sistema e possuir uma boa reputação, determinado por seu histórico de contribuição com outros usuários do sistema.

Para manter o sistema balanceado, no *BitPS*, os usuários requisitam o pedaço do arquivo desejado do usuário com o qual está conectado que possui o menor preço do recurso. Apesar disso acrescentar um *overhead* na transmissão, pode também aumentar a concorrência e tornar o sistema mais justo. Esse comportamento pode distribuir as requisições de pedaços de arquivo, uma vez que, o preço dos recursos dos usuários é ajustado de acordo com o uso de sua capacidade de transmissão. Os preços dos usuários conectados são anunciados periodicamente para todos os usuários pelo *tracker* e cada usuário os mantém armazenado em seus clientes.

3.3. Descrição da transferência de um arquivo

A Figura 1 mostra o processo de transferência de um arquivo no *BitPS*. A principal diferença para o BitTorrent comum é a informação trocada entre o *tracker* e o cliente. Considerando que o Cliente A possui o arquivo *torrent*, que tem as informações do recurso desejado, ele requisita as informações dos *peers* (*seeders* e *leechers*) para o *tracker*. O *tracker* retorna a lista com os *peers* disponíveis realizando *download* e *upload* do arquivo desejado e todas as informações necessárias, como endereço e preço dos clientes, para que o Cliente A também o faça. Então, o Cliente A localiza o Cliente B, usando os mecanismos de BitTorrent, e requisita a lista de pedaços de arquivos disponíveis. O Cliente B envia a lista de pedaços de arquivos disponíveis, o Cliente A requisita o pedaço que necessita e o Cliente B o transfere para o Cliente A. No fim da transferência o Cliente A comunica ao *tracker* para que ele atualize a informação do *budget* dos clientes.

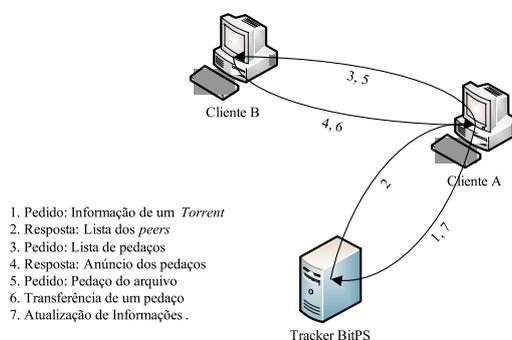


Figura 1. Processo de Transferência de um arquivo no *BitPS*.

3.4. Compatibilidade e Segurança

Para permitir o uso de clientes atuais de BitTorrent, aproveitando dessa base de usuários, o *BitPS* possui um método compatível com sua utilização. Esse método é ativado pelo *tracker* de forma automática, não sendo necessária alteração de configuração do usuário ou do administrador do sistema.

Se um usuário conectar ao sistema utilizando um cliente não adaptado ao *BitPS*, o sistema pode funcionar de maneira similar a um *tracker* privado de BitTorrent. Mas, o *budget* será utilizado realizando as operações de pagamento nos intervalos de atualização do BitTorrent com um preço fixo. Se o usuário não possuir mais *budget* para realizar a transferência do arquivo, o *tracker*, responsável por indicar ao cliente a localização de outros usuários, pode não indicar outros *seeders*, indicando somente *leechers*. Isto

permite que o usuário ainda realize *uploads* e possa recuperar *budget*, mas, minimizando as chances dele contrair mais dívidas.

Como um *tracker* privado cria um sistema fechado, sendo necessário registro, ataques de replicação de usuários podem ser dificultados. Aproveitando as vantagens do sistema BitTorrent, é possível diminuir ataques de clientes maliciosos. Também é possível requerer que as mensagens de comunicação de fim de troca de informação, as quais geram transferência de budget entre usuários, sejam assinadas digitalmente com uma chave distribuída aos clientes pelo *tracker* no início da sessão de comunicação. Essa assinatura deve ser acompanhada do tempo em que a transmissão foi realizada, sendo esse tempo de ambos participantes da transmissão e cada um encriptado com sua respectiva chave de sessão. Dessa forma é possível tornar a rede mais segura, impedindo ataques de repetição, por exemplo.

4. Simulações e Resultados

As simulações foram realizadas com uma versão adaptada do BitTorrent Simulator da Microsoft Research [Research 2005]. Esse simulador foi escolhido por recriar exatamente as transferências entre usuários P2P. Outras opções, como a apresentada em [Eger 2007], não foram escolhidas devido a seus altos níveis de complexidade para alterar e adaptar ao contexto necessário. A adaptação do simulador da Microsoft Research foi feita para que as transferências realizadas entre os participantes da rede considerassem o *budget* e o preço como descritos na Seção 3, adicionando, portanto, o mecanismo do BitPS no BitTorrent. O Dandelion, descrito na Seção 2.4 também foi implementado no simulador.

As simulações foram realizadas utilizando os mesmos parâmetros utilizados em [Bharambe et al. 2006] que também utilizam o mesmo simulador da Microsoft Research. Considera-se por simulação, a transmissão de um arquivo de 100MB em uma rede de aproximadamente 1000 usuários. Foram realizadas 20 simulações, alterando em cada uma o tempo que o sistema permanecia funcionando e o tempo de chegada entre cada usuário, permanecendo com o mesmo número de usuários. O primeiro tempo de simulação é de uma hora, e para cada simulação é acrescido uma hora. Ou seja, na última simulação 1000 usuários realizaram a transmissão de um arquivo de 100MB por um período de 20 horas, sendo que cada usuário é introduzido no sistema aproximadamente um minuto após o anterior.

Os limiares de capacidade dos usuários foram definidos como 70% e 80%, o que significa dizer que para carga inferior a 70% foi utilizado um preço inferior e para carga superior a 80% foi utilizado um preço superior. Os preços de transferência foram definidos como: um (1) para carga de trabalho inferior a 70%; um e meio (1.5) para carga de trabalho entre 70% e 80% e dois (2) para carga de trabalho superior a 80%. Se o usuário não possuísse *budget* suficiente, seu preço seria alterado pela variável *onSale*, definida como 75% do preço atual. O *budget* inicial de cada usuário foi um valor atribuído entre 30% e 100% do necessário para se realizar a transferência, de forma que houvesse necessidade contínua de arrecadação de *budget* pelo usuário para realizar a transferência. Dos dados produzidos pelo simulador foram utilizados o tempo de entrada e saída de cada usuário, bem como a contribuição de cada um. Os parâmetros utilizados nessa configuração foram escolhidos após vários testes e verificou-se que estes permitiam um melhor funcionamento do simulador no contexto desse trabalho. Cada simulação utilizando as

configurações descritas anteriormente foi realizada dez vezes para assegurar a integridade dos dados.

Após as simulações realizadas os usuários foram classificados em: (i) usuários *Egoístas*, que são similares a usuários *free-riders*, os quais contribuem com até 60% do recurso consumido; (ii) usuários *Normais*, que contribuem com o sistema de uma forma balanceada e desejável, ou seja, entre 60% e 100% do recurso consumido; (iii) usuários *Altruístas*, os quais contribuem com mais do que o desejado com o sistema, que, em termos quantitativos, contribuem com mais de 100% dos recursos consumidos. Essa caracterização dos usuários foi realizada baseada na média dos valores utilizados em *trackers* privados para dividir seus usuários [Salmon et al. 2008].

4.1. Análise dos usuários

A Tabela 2 mostra o percentual médio dos usuários de cada sistema simulado divididos por classes. Em média, o percentual de usuários classificados como Egoístas diminui de 57,4% no BitTorrent para 47% no BitPS. O percentual deste tipo de usuário no Dandelion é 56,1%, próximo ao do BitTorrent. O percentual de usuários classificados como Normais vai de 17,2% no BitTorrent para 31,9% no BitPS. Novamente, o percentual de usuários do Dandelion é próximo do BitTorrent, sendo de 17,5%. Esses dados indicam que há um maior balanceamento do sistema, com mais usuários contribuindo de uma forma mais igualitária o que consumiram. Ou seja, há uma migração de usuários para a categoria de Normais, este fato também é verificado pela variação de usuários classificados como Altruístas: no Dandelion é 26,4%, 25,4% no BitTorrent e 21,1% no BitPS. Esses resultados podem ser explicados pelo fato do BitPS forçar os usuários a contribuírem para realizar uma transferência de arquivo, diminuindo o número de usuários Egoístas. E assim o sistema não depende somente de usuários contribuindo mais do que o necessário, o que diminui também o número de usuários Altruístas.

Tabela 2. Percentual médio de usuários no sistema com desvio padrão – em %.

<i>Categoria</i>	<i>BitTorrent</i>	<i>BitPS</i>	<i>Dandelion</i>
<i>Egoístas</i>	57,4 (4,7)	47,0 (5,2)	56,1 (4,6)
<i>Normais</i>	17,2 (4,9)	31,9 (3,0)	17,5 (4,4)
<i>Altruístas</i>	25,4 (3,0)	21,1 (5,1)	26,4 (3,1)

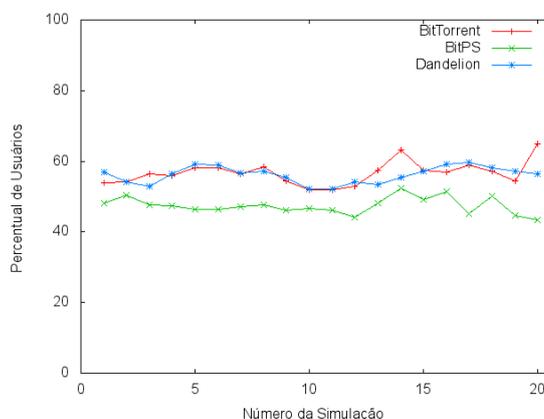


Figura 2. Variação do percentual de usuários Egoístas

O gráfico da Figura 2 representa o número de usuários Egoístas durante todas as 20 simulações. Sua análise mostra que, desde a primeira simulação, o percentual do BitPS é inferior ao dos outros dois sistemas. Esse percentual inferior ocorre devido à impossibilidade de um usuário receber o arquivo sem devolver parte dele caso o usuário não possua *budget* suficiente. Ou seja, sua reputação no sistema é baixa, o que lhe impede de realizar a transferência do arquivo. Como mencionado anteriormente, o Dandelion possui uma performance similar ao BitTorrent, pois esse sistema não se preocupa se o sistema é justo na visão do usuário.

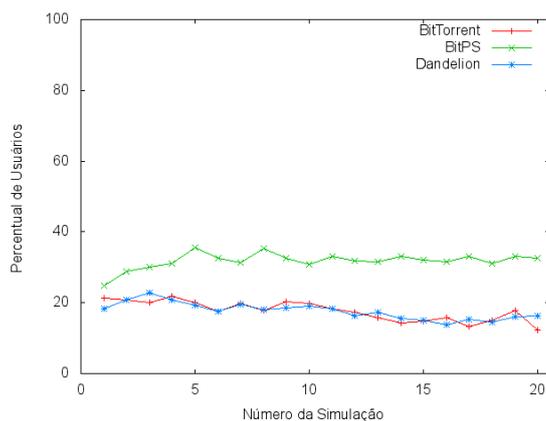


Figura 3. Variação do percentual de usuários Normais.

No gráfico da Figura 3, o número de usuários Normais se mantém superior durante todas simulações no sistema BitPS, se comparados com o BitTorrent e com o Dandelion. Tal fato acontece devido a que no BitPS, o usuário precisa contribuir caso queira terminar sua transmissão e continuar no sistema. Já no BitTorrent e no Dandelion, os usuários não precisam contribuir. Portanto, poucos usuários têm que contribuir para balancear contra os que não contribuem. Em um sistema, o balanço desejado é que o número de usuários Normais seja o mais alto possível, demonstrando uma homogeneidade do sistema.

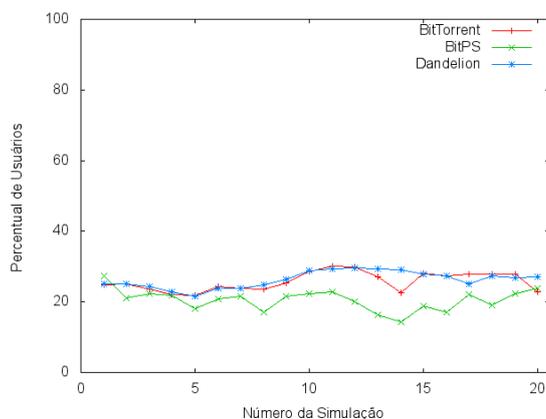


Figura 4. Variação do percentual de usuários Altruístas.

Finalmente, no gráfico da Figura 4, que representa o número de usuários Altruístas em todas as simulações, começa similar, mas no BitPS se torna inferior a medida que o

tempo de entrada de cada usuário aumenta. Contudo, nas simulações com tempo maior há uma convergência do número de usuários, levando a uma similaridade no final. O menor número de usuários Altruístas no BitPS pode ser explicado pelo fato de que um usuário que contribui perto de sua capacidade total possui um preço maior, sendo, portanto, um provedor menos viável, diminuindo sua participação na rede. Isso torna o sistema mais homogêneo, uma vez que, um número maior de usuários contribui razoavelmente, diferente do BitTorrent e do Dandelion em que poucos usuários contribuem muito com o sistema.

4.2. Análise do tempo

A Tabela 3 contém o tempo médio, em segundos, gasto por usuário para realizar a transferência de um arquivo em cada sistema analisado. De acordo com essa tabela, é possível verificar que o BitPS gasta um tempo maior que o BitTorrent. Isso pode ser desfavorável ao usuário, apesar de esperado, dado o tempo que o usuário necessita para conseguir o *budget* e realizar a transferência. O Dandelion possui uma performance similar ao BitTorrent, algo também esperado pelos resultados descritos em [Sirivianos et al. 2009].

Como foi necessário que o usuário arrecadasse *budget* para realizar a transferência, o tempo do BitPS é substancialmente superior, mas caso o usuário já possuísse *budget* suficiente a tendência seria que o tempo diminuísse, podendo se tornar equivalente ao BitTorrent.

Tabela 3. Tempo médio gasto por usuário para transferência de um arquivo – em segundos.

	<i>BitTorrent</i>	<i>BitPS</i>	<i>Dandelion</i>
<i>Tempo</i>	1047,84	1462,85	1058,12

5. Conclusões

Algumas soluções para o problema de *free-riding* usando mecanismos de precificação em sistemas par-a-par já foram propostas na literatura [Feldman and Chuang 2005], [Feldman et al. 2006]. Este trabalho apresenta um esquema de precificação capaz de encorajar a colaboração entre usuários de um *tracker* privado de BitTorrent. Esse esquema é nomeado *BitPS* (*BitTorrent Pricing Scheme*), cujo uso pode ser feito junto com os mecanismos de reputação já aplicado no BitTorrent. Os resultados das simulações demonstram que, com o *BitPS*, há uma atenuação do *free-riding* e um balanceamento do sistema, tornando-o mais justo que o mecanismo padrão de reputação. Com o uso do *BitPS*, os percentuais de usuários Egoístas e de usuários Altruístas diminuem e os Normais aumentam. Isso se deve ao fato de que para poder realizar uma transferência o usuário necessita de *budget* e para consegui-lo ele deve contribuir com recursos no sistema, diminuindo os usuários Egoístas. Como mais usuários contribuirão, há menos necessidade de usuários que contribuem além do que consumiram, diminuindo, desse modo, o número de usuários Altruístas. Por outro lado, o percentual de usuários Normais a medida que se aumenta o tempo de simulação. Isso caracteriza um balanceamento do sistema, o que torna a rede mais justa do ponto de vista do usuário e do sistema, apesar de ser necessário um maior tempo médio para as transferências.

Referências

- Axelrod, R. (1985). *The Evolution of Cooperation*. Basic Books.
- Bharambe, A. R., Herley, C., and Padmanabhan, V. N. (2006). Analyzing and improving a bittorrent networks performance mechanisms. In *INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications.*, pages 1–12. IEEE.
- BitTorrent (2011). What is bittorrent? | bittorrent. <http://www.bittorrent.com/btusers/what-is-bittorrent>.
- Cisco (2010). Cisco visual networking index: Forecast and methodology, 2009-2014. http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481360.html.
- Cohen, B. (2003). Incentives build robustness in bittorrent. In *1st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems*. Berkeley.
- Danomac (2006). Phpbtracker+. <http://phpbtrkplus.sourceforge.net/>.
- Eger, K. (2007). Simulation of bittorrent with ns-2. www.tu-harburg.de/et6/research/bittorrentsim/index.html.
- Feldman, M. and Chuang, J. (2005). Overcoming free-riding behavior in peer-to-peer systems. *ACM Sigecom Exchanges*, 6.
- Feldman, M., Chuang, J., Papadimitriou, C., and Stoica, I. (2006). Free-riding and whitewashing in peer-to-peer systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 24:1010–1019.
- Feldman, M., Lai, K., Stoica, I., and Chuang, J. (2004). Robust incentive techniques for peer-to-peer networks. In *EC '04: Proceedings of the 5th ACM conference on Electronic commerce*, pages 102–111, New York, NY, USA. ACM.
- Fudenberg, D. and Tirole, J. (1991). *Game theory*. The MIT Press, Cambridge.
- Garcia, F. D. and Hoepman, J.-H. (2004). Off-line karma: Towards a decentralized currency for peer-to-peer and grid applications (extended abstract). In *Workshop on Secure Multiparty Computations (SMP)*, Amsterdam, The Netherlands.
- Ipoque (2008/2009). ipoque :: Bandwidth management with deep packet inspection. http://www.ipoque.com/resources/internet-studies/internet-study-2008_2009.
- Karagiannis, T., Rodriguez, P., and Papagiannaki, K. (2005). Should internet service providers fear peer-assisted content distribution? In *IMC '05: Proceedings of the 5th ACM SIGCOMM conference on Internet Measurement*, pages 6–6, Berkeley, CA, USA. USENIX Association.
- Lai, K., Feldman, M., Stoica, I., and Chuang, J. (2003). Incentives for cooperation in peer-to-peer networks. In *1st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems*. Berkeley.
- Liang, Z. and Shi, W. (2005). Enforcing cooperative resource sharing in untrusted p2p computing environments. *Mobile Networks and Applications*, 10(6):971–983.
- Locher, T., Moor, P., Schmid, S., and Wattenhofer, R. (2006). Free riding in bittorrent is cheap. In *In Proceedings of the 5th Workshop on Hot Topics in Networks (HotNets '06)*.

- Mansfield, E. and Yohe, G. (2000). *Microeconomics: theory and applications*. W. W. Norton Company, New York.
- Marques-Neto, H. T., Almeida, V. A. F., and Almeida, J. M. (2007). Pricing broadband internet adaptive services. *15th International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, 2007. MASCOTS'07.*, pages 158–165.
- Marques-Neto, H. T., Almeida, V. A. F., and Almeida, J. M. (2010). Precificação de tráfego de internet de banda larga baseada no comportamento do usuário. *XXVIII Simposio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuidos*.
- Parameswaran, M., Susarla, A., and Whinston, A. B. (2001). P2p networking: an information sharing alternative. *Computer*, 34:31–38.
- Piatek, M., Isdal, T., Anderson, T., Krishnamurthy, A., and Venkataramani, A. (2007). Do incentives build robustness in BitTorrent? In *NSDI'07*, Cambridge, MA.
- Research, M. (2005). Bittorrent simulator. <http://research.microsoft.com/en-us/downloads/20d68689-9a8d-44c0-80cd-66dfa4b0504b/>.
- Salmon, R., Tran, J., and Abhari, A. (2008). Simulating a file sharing system based on bit-torrent. In *SpringSim '08: Proceedings of the 2008 Spring simulation multiconference*, pages 1–5, San Diego, CA, USA. Society for Computer Simulation International.
- Sirivianos, M., Park, J. H., Yang, X., and Jarecki, S. (2007). Dandelion: cooperative content distribution with robust incentives. In *ATC'07: 2007 USENIX Annual Technical Conference on Proceedings of the USENIX Annual Technical Conference*, pages 1–14, Berkeley, CA, USA. USENIX Association.
- Sirivianos, M., Yang, X., and Jarecki, S. (2009). Robust and efficient incentives for cooperative content distribution. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 17:1766–1779.
- TBsource and YeOK (2011). Tbsource php/mysql bit-torrent tracker. <http://sourceforge.net/projects/tbsource/>.
- Wongrujira, K. and Seneviratne, A. (2005). Monetary incentive with reputation for virtual market-place based p2p. In *CoNEXT '05: Proceedings of the 2005 ACM conference on Emerging network experiment and technology*, pages 135–145, New York, NY, USA. ACM.
- Xia, R. L. and Muppala, J. K. (2010). Discovering free-riders before trading: A simple approach. *Parallel and Distributed Systems, International Conference on*, 0:806–811.
- Yu, B., Li, C., Singh, M. P., and Sycara, K. (2004). A dynamic pricing mechanisms for p2p referral systems. In *AAMAS '04: Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pages 1426–1427, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.