

HUMBERTO TORRES MARQUES NETO

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE
USUÁRIOS E PRECIFICAÇÃO DE TRÁFEGO DE
INTERNET DE BANDA LARGA**

Belo Horizonte
14 de abril de 2008

HUMBERTO TORRES MARQUES NETO

ORIENTADOR: VIRGÍLIO AUGUSTO FERNANDES DE ALMEIDA

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE
USUÁRIOS E PRECIFICAÇÃO DE TRÁFEGO DE
INTERNET DE BANDA LARGA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação.

Belo Horizonte

14 de abril de 2008



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

Caracterização do comportamento de usuários e precificação de
tráfego de Internet de banda larga

HUMBERTO TORRES MARQUES NETO

Tese defendida e aprovada pela banca examinadora constituída por:

Ph. D. VIRGÍLIO AUGUSTO FERNANDES DE ALMEIDA – Orientador
Universidade Federal de Minas Gerais

Ph. D. JUSSARA MARQUES DE ALMEIDA – Co-orientador
Universidade Federal de Minas Gerais

Ph. D. DORGIVAL OLAVO GUEDES NETO
Universidade Federal de Minas Gerais

Ph. D. ELIAS PROCÓPIO DUARTE JR.
Universidade Federal do Paraná

Ph. D. LISANDRO ZAMBENEDETTI GRANVILLE
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ph. D. WAGNER MEIRA JR.
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 14 de abril de 2008

À Raquel Mini pela amizade, pelo carinho, pelo incentivo e pela presença marcante.
Ao Rodolfo, meu filho, pela força e pela compreensão.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente com a construção deste trabalho.

Em primeiro lugar agradeço meus pais que me deram a possibilidade e o incentivo para estudar. À minha avó Luiza, que com a sua história, com sua sede de viver e seus questionamentos simples e perspicazes de situações corriqueiras, me mostrou como a vida pode ser bela e instigante. À Cecília, ao Paulinho, Nayara, Caio e Arthur, e ao Rafael e a Jussara, que nem sempre entenderam porque eu estava sempre trabalhando na tese. À Alba Valéria, mãe do Rodolfo, pelo incentivo para início dessa jornada.

Aos meus amigos, Celso, Rodrigo, Márcio, Alex e Thales, que muitas vezes precisaram escutar relatos do meu trabalho até mesmo nas mesas de boteco ou no nosso almoço semanal no Pátio Savassi. Ao meu amigo Prof. Milton do Nascimento pelas discussões e ensinamentos sobre pesquisa e educação superior.

Aos meus colegas do laboratório de pesquisa e da turma de doutorado, principalmente ao Romanelli, que compartilharam comigo momentos importantes da trajetória percorrida até aqui. Aos meus colegas do Departamento de Ciência da Computação e do Instituto de Informática da PUC Minas pelo companheirismo e pela amizade.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação da UFMG. Agradeço especialmente ao Prof. Virgílio Almeida, que conduziu a orientação dessa pesquisa, contribuindo consideravelmente com questionamentos, artigos e idéias, e que ainda soube entender tanto os meus problemas de tempo quanto os problemas pessoais que passei durante o período de doutoramento. Agradeço também a Prof^a. Jussara Almeida

e o Prof. Wagner Meira pelas críticas, sugestões e revisões das publicações decorrentes desse trabalho.

Aos meus colegas do DATAPUC, principalmente, os coordenadores, Humberto, Marcelo, Júnia, Sônia, Drigo e Jenner, que me ajudam diariamente a conduzir uma equipe de funcionários tão competente. À Prof^a Maria Inês e ao Prof. Sérgio Hanriot pelo apoio e pelo compartilhamento de algumas decisões muito difíceis.

À Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da PUC Minas que, através do programa de capacitação docente, tem incentivado os professores a desenvolver trabalhos que contribuam para a qualidade de ensino da nossa Universidade. E a todos que não apareceram na lista acima, mas, sabem que contribuíram de alguma forma para essa pesquisa.

Resumo

A caracterização de comportamento de usuários de Internet de banda larga possibilita o entendimento e a identificação das diferentes classes desses usuários, definidas por seus respectivos padrões de requisições de serviços. Tal caracterização cria condições para os ISPs (*Internet Service Providers*) de banda larga aprimorarem o gerenciamento da sua infra-estrutura tecnológica e o planejamento da prestação do serviço de acesso à Internet. Contudo, diferentes classes de usuários com padrões de requisição de serviços distintos requerem uma diferenciação de preço.

O principal esquema de precificação praticado pelos provedores de acesso à Internet de banda larga é o esquema de tarifa plana (*flat rate pricing scheme*). Este esquema permite a criação de classes de assinatura atreladas ao valor máximo de transmissão que pode ser alcançado pelo usuário em sua conexão à Internet. Entretanto, a prática da tarifa plana pode não ser justa sob o ponto de vista dos usuários, pois, aqueles que utilizam poucos recursos em uma determinada classe de assinatura precisam subsidiar o uso de usuários da mesma classe que utilizam a maior parte da banda disponível. Além disso, esse esquema pode não ser vantajoso para o ISP de banda larga, uma vez que observa-se ociosidade de recursos em alguns momentos do dia e sobrecarga de trabalho em outros períodos.

Um esquema de precificação justo sob o ponto de vista dos usuários deveria prever a diferenciação de preço para cada grupo de usuários com comportamento similar, permitindo que cada usuário escolha o nível de serviço mais condizente com a sua necessidade. E para ser vantajoso para o ISP, tal esquema deveria possibilitar também a otimização do uso dos recursos do provedor ao longo do dia.

Este trabalho propõe um esquema de precificação de tráfego de banda larga baseado no comportamento dos usuários ao longo do dia (BPS – *Broadband Pricing Scheme*), que é justo sob o ponto de vista dos usuários e vantajoso para o provedor de acesso. A criação desse esquema se justifica a partir da análise dos resultados da aplicação de uma metodologia de caracterização de comportamento de usuários de Internet de banda larga em um conjunto de dados reais de um ISP. A validação e a respectiva comparação do esquema proposto com outros esquemas de precificação descritos na literatura são realizadas por simulação com dados reais, coletados na infra-estrutura de um provedor de acesso de banda larga.

Partindo da análise dos resultados da caracterização de comportamento de usuários de Internet de banda larga com dados reais, os resultados deste trabalho mostram que o BPS promove o uso justo da Internet por parte dos usuários do ISP e, conseqüentemente, otimiza os recursos do provedor re-distribuindo a carga de trabalho ao longo do dia. A simulação do esquema de precificação proposto, e de outros presentes na literatura, mostrou que o BPS é o esquema mais justo para os usuários, principalmente, porque a função utilidade utilizada para calcular os benefícios dos usuários é maior ou igual a zero na maioria das horas do dia. Além disso, os resultados da simulação também mostram que a economia de banda com o uso do BPS acontece significativamente, em média, em 60% do tempo, o melhor resultado entre os esquemas simulados. O uso de um esquema de precificação justo pode trazer benefícios tanto para o ISP quanto para os seus usuários.

Abstract

Broadband user behavior characterization can lead to better understanding and identifying different classes of users, defined by user request patterns. This characterization could help broadband carriers capacity management and planning efforts.

Different service request patterns require different service prices. Nevertheless, the main pricing scheme used by broadband ISPs (*Internet Service Providers*) is the flat rate pricing with limited peak bandwidth, which does not consider different user behavior patterns. This scheme does not guarantee fairness because it encourages resource wasting and, as a consequence, light users end up subsidizing heavy users. A fair pricing scheme, which fosters balanced resource consumption, could save bandwidth and user's money. Saving resources allows the increase of subscriptions, which could improve ISP profit.

This work propose a Internet broadband pricing scheme based on user behavior during the day (BPS – *Broadband Pricing Scheme*), which is fair to users and profitable for ISP. The reason to create this scheme is based on the results of broadband user behavior characterization with a proposed methodology and real data from an ISP. The validation and the comparison of proposed scheme with other showed in literature are done through the simulation with the same real data used in broadband user behavior characterization.

Started from the characterization with real data, this work shows that BPS fosters fair Internet use and optimizes ISP resources re-distributing the workload during hours of day. The simulation of the proposed scheme and others from the literature shows that BPS is a fairer scheme than others, mainly, because utility function used to calculate user benefits is greater or equal zero in almost hours of day. Furthermore, simulation results shows that

bandwidth saving happens in almost 60% of all hours of the day, which is the best result among simulated schemes. The usage of a fair pricing scheme could create benefits to both users and to ISPs.

Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Objetivo | 4 |
| 1.2 | Contribuições | 5 |
| 2 | Referencial Teórico | 7 |
| 2.1 | Internet de banda larga | 8 |
| 2.2 | Caracterização do comportamento de usuários | 10 |
| 2.3 | Aplicações adaptativas | 15 |
| 2.4 | Precificação de serviços de Internet | 16 |
| 2.4.1 | Esquema de precificação de tarifa plana | 22 |
| 2.4.2 | Esquema de precificação <i>Paris Metro Pricing</i> | 24 |
| 2.4.3 | Esquema de precificação proposto por <i>Wang & Schulzrinne</i> | 25 |
| 3 | Caracterização do comportamento de usuários de Internet de banda larga | 27 |
| 3.1 | Metodologia de caracterização | 30 |
| 3.2 | Análise dos resultados | 34 |
| 3.2.1 | Visão geral da carga de trabalho | 34 |
| 3.2.2 | Características das sessões | 36 |
| 3.2.3 | Padrão de requisição dos usuários (<i>User Request Pattern</i>) | 41 |
| 3.3 | Conclusões | 45 |
| 4 | Precificação de tráfego de Internet de banda larga | 47 |
| 4.1 | Descrição do esquema de precificação | 50 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.1.1 | Banco de dados de assinaturas | 52 |
| 4.1.2 | Banco de dados de <i>budgets</i> | 53 |
| 4.1.3 | Cálculo do preço de uso | 54 |
| 4.1.4 | Estimativa de <i>budget</i> futuro | 55 |
| 4.1.5 | Cobrança do uso da Internet de banda larga | 56 |
| 4.1.6 | Benefícios do usuário de Internet de banda larga | 57 |
| 4.1.7 | Benefícios do provedor de Internet de banda larga | 57 |
| 4.2 | Diferentes arquiteturas de precificação de tráfego | 58 |
| 4.2.1 | Arquiteturas: BPS e <i>Flat Rate</i> (FR) | 58 |
| 4.2.2 | Arquiteturas: BPS e <i>Paris Metro Pricing</i> (PMP) | 59 |
| 4.2.3 | Arquiteturas: BPS e <i>Wang & Schulzrinne Scheme</i> (WSS) | 59 |
| 5 | Simulação dos esquemas de precificação | 61 |
| 5.1 | Simulação com dados artificiais | 61 |
| 5.2 | Simulação com dados reais | 63 |
| 5.3 | Análise quantitativa dos resultados das simulações | 64 |
| 5.4 | Conclusões | 72 |
| 6 | Conclusões e trabalhos futuros | 75 |
| 6.1 | Trabalhos futuros | 77 |
| 6.2 | Publicações | 78 |
| | Referências Bibliográficas | 81 |

Lista de Figuras

| | | |
|------|--|----|
| 3.1 | Metodologia de caracterização. | 31 |
| 3.2 | Sessões residenciais simultaneamente ativas durante a semana. | 35 |
| 3.3 | Sessões SOHO simultaneamente ativas durante a semana. | 35 |
| 3.4 | Sessões residenciais simultaneamente ativas em um dia. | 35 |
| 3.5 | Sessões SOHO simultaneamente ativas em um dia. | 35 |
| 3.6 | Distribuição do tempo de chegada entre sessões residenciais. | 38 |
| 3.7 | Distribuição do tempo de chegada entre sessões SOHO. | 38 |
| 3.8 | Distribuição da duração das sessões dos usuários residenciais em horas. | 39 |
| 3.9 | Distribuição da duração das sessões dos usuários SOHO em horas. | 39 |
| 3.10 | Distribuição do tráfego de dados de <i>entrada</i> das sessões dos usuários residenciais em <i>megabytes</i> | 40 |
| 3.11 | Distribuição do tráfego de dados de <i>entrada</i> das sessões dos usuários SOHO em <i>megabytes</i> | 40 |
| 3.12 | Distribuição do tráfego de dados de <i>saída</i> das sessões dos usuários residenciais em <i>megabytes</i> | 40 |
| 3.13 | Distribuição do tráfego de dados de <i>saída</i> das sessões dos usuários SOHO em <i>megabytes</i> | 40 |
| 3.14 | Popularidade dos serviços nas sessões dos usuários residenciais. | 42 |
| 3.15 | Popularidade dos serviços nas sessões dos usuários SOHO. | 42 |
| 3.16 | Classe 1 dos usuários residenciais. | 44 |
| 3.17 | Classe 2 dos usuários residenciais. | 44 |

| | | |
|------|--|----|
| 3.18 | Classe 3 dos usuários residenciais. | 44 |
| 3.19 | Classe 4 dos usuários residenciais. | 44 |
| 3.20 | Classe 1 dos usuários SOHO. | 44 |
| 3.21 | Classe 2 dos usuários SOHO. | 44 |
| 3.22 | Classe 3 dos usuários SOHO. | 45 |
| 3.23 | Classe 4 dos usuários SOHO. | 45 |
| 3.24 | Classe 5 dos usuários SOHO. | 45 |
| 4.1 | Arquitetura do BPS (<i>Broadband Pricing Scheme</i>). | 51 |
| 4.2 | Limiares utilizados no cálculo do preço de uso. | 55 |
| 5.1 | Simulação do uso da largura de banda na semana 03. | 62 |
| 5.2 | Simulação do uso do BPS pelo usuário i em uma unidade de tempo t | 64 |
| 5.3 | Influência dos parâmetros $tsh1$ e $tsh2$ no uso do BPS (Semana 03). | 65 |
| 5.4 | Influência do parâmetro Ω no uso do BPS (Semana 03). | 66 |
| 5.5 | Influência do parâmetro w no uso do BPS (Semana 03). | 67 |
| 5.6 | Uso da largura de banda na semana 03 (Flat rate versus BPS) | 68 |
| 5.7 | Uso da largura de banda na semana 03 (Flat rate versus WSS) | 68 |
| 5.8 | Uso da largura de banda na semana 03 (Flat rate versus PMP) | 69 |
| 5.9 | Economia de banda na semana 03 (BPS versus PMP) | 70 |
| 5.10 | Economia de banda na semana 03 (BPS versus WSS) | 70 |
| 5.11 | Benefícios do usuário na semana 03 (BPS). | 71 |
| 5.12 | Benefícios do usuário na semana 03 (WSS). | 71 |
| 5.13 | Benefícios do usuário na semana 03 (PMP). | 72 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|---|----|
| 3.1 | Síntese da carga de trabalho (CV = Coeficiente de Variação.) | 35 |
| 3.2 | Síntese das distribuições de tempos entre chegadas de sessões. | 37 |
| 3.3 | Síntese das distribuições das durações das sessões em horas. | 38 |
| 3.4 | Síntese das distribuições do tráfego de dados das sessões em <i>bytes</i> | 39 |
| 3.5 | Síntese das classes de padrões de requisição de usuários residenciais. | 42 |
| 3.6 | Síntese das principais classes de padrões de requisição de usuários SOHO. | 42 |
| 4.1 | Parâmetros utilizados no BPS. | 52 |
| 5.1 | Percentual de horas da semana com economia de banda. | 69 |

Capítulo 1

Introdução

Relatórios da OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) e das Nações Unidas (OECD, 2007; UNCTAD, 2006) apontam o crescimento e a importância econômica e social do uso da Internet de banda larga nos últimos anos. De acordo com a OECD (2007), de junho de 2006 a junho de 2007, houve um crescimento de 24% no número de assinantes de Internet de banda larga nos 30 países que fazem parte dessa organização¹. Um crescimento importante, contudo, inferior ao crescimento de 33% do ano anterior (2005 a 2006). O relatório da OECD também destaca que, apesar de possuir a maior quantidade nominal de assinantes, os Estados Unidos ocupam a décima quinta posição na classificação dos países com as maiores taxas de penetração da Internet de banda larga². Em média, os países membros da OECD possuem uma taxa de penetração de 19%, ou seja, 19 assinaturas para cada 100 habitantes (OECD, 2007), sendo que Dinamarca, Holanda, Suíça, Coreia e Noruega, nesta ordem, possuíam, em 2007, as maiores taxas de penetração desse tipo de tecnologia, alcançando valores superiores a 29%.

No Brasil, metade dos domicílios que tem acesso à Internet, 17% dos 17.000 participantes da pesquisa divulgada em 2007 pelo CETIC³, utilizam os recursos dessa rede a partir de conexões de banda larga. De acordo com o estudo apresentado por Peres (2007), a taxa de

¹ Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Coreia, Dinamarca, Eslováquia, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia, Suíça, Turquia.

² A taxa de penetração é dada pelo número de assinantes de um conjunto de habitantes.

³ Centro de Estudos do CGI sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação (<http://www.cetic.br>).

penetração da Internet de banda larga no Brasil está em torno de 4%, totalizando um pouco mais de 7 milhões de conexões, das quais cerca de 85% são assinaturas residenciais. O aumento da taxa de penetração nos países em desenvolvimento depende de investimentos em infra-estrutura (MIT, 2005; UNCTAD, 2006).

O relatório sobre a economia da informação produzido em 2006 pelas Nações Unidas (UNCTAD, 2006) ressalta que a Internet de banda larga pode contribuir para o desenvolvimento econômico de países emergentes e até mesmo ser comparada com um bem de consumo básico, tal como a água potável e a energia elétrica. Com o uso dessa tecnologia, os indivíduos podem obter, com mais facilidade, serviços e informações de seu interesse, tais como, serviços financeiros e de governo, além de informações sobre política, saúde, educação e entretenimento (Yassini, 2004). Além disso, as empresas têm a possibilidade de agregar mais valor aos seus produtos e serviços a partir da interação *on-line* com seus clientes e fornecedores, e o governo pode aprimorar as suas atividades, principalmente aquelas que envolvem a comunicação com a população (UNCTAD, 2006).

O crescimento do uso da Internet de banda larga cria oportunidades de desenvolvimento humano e tecnológico mas, por outro lado, gera preocupações para os responsáveis por viabilizar o uso da Internet: os provedores de acesso (*Internet Service Providers* – ISPs). A imprensa⁴ tem mostrado dados que apontam a possibilidade crescente de problemas de sobrecarga da rede em consequência do crescimento de uso da Internet de banda larga. Enquanto prestadores de serviços, os ISPs precisam reduzir seus custos, recuperar os seus investimentos e aumentar seus lucros (Varian, 2006). Para isso, os provedores precisam conhecer e monitorar a demanda de seus usuários para definirem o preço que será cobrado pelo serviço de acesso à Internet.

A precificação do acesso à Internet de banda larga com tarifa mensal plana (*flat monthly rate*), atrelada a uma velocidade máxima de transmissão que determina as classes de assinaturas, sem restrições de horários de uso ou de variação do volume de tráfego de dados, é um esquema de precificação cuja simplicidade facilita tanto a operação do ISP quanto a pre-

⁴*The New York Times* (<http://www.nytimes.com>)

visibilidade de gasto do usuário com o serviço de acesso (Courcoubetis e Weber, 2003). Este é o principal esquema de precificação que vem sendo utilizado pelos provedores de acesso à Internet, inclusive, à Internet de banda larga. Com a tarifa mensal plana, o provedor não precisa contabilizar o volume de dados transferidos pelos usuários, que por sua vez podem usar qualquer tipo de aplicação Internet, em qualquer horário do dia sem pagar qualquer valor adicional pelo uso. Todavia, a prática da tarifa mensal plana pode incentivar o desperdício de recursos por parte dos usuários e, conseqüentemente, usuários que utilizam poucos recursos subsidiam os usuários que utilizam intensamente a Internet (Edell e Varaiya, 1999). Um usuário de uma determinada classe de assinatura que permanece conectado à Internet durante todos os dias de um mês usando, por exemplo, aplicações par-a-par (*peer-to-peer* ou P2P), pagará a mesma taxa mensal que outro usuário que possua o mesmo tipo de assinatura e criou sessões de curta duração ao longo do mesmo mês para, por exemplo, ler suas mensagens eletrônicas e notícias na *Web*.

O uso da tarifa mensal plana pode ser simples, mas, por outro lado, pode não ser justo sob o ponto de vista daqueles que pagam, principalmente, se estiverem em um ambiente com uma diversidade de classes de usuários determinadas por padrões de comportamento. Se uma classe de usuários de um ISP que pratica a tarifa mensal plana que utiliza poucos recursos se sente prejudicada, seus usuários podem resolver utilizar mais recursos do ISP para compensar o que estão pagando. Normalmente, usuários de um recurso compartilhado consideram mais os seus próprios benefícios do que o impacto das suas ações nos benefícios dos demais usuários. Este fenômeno é denominado pelos economistas por: *a Tragédia dos Comuns* (Hardin, 1968). Sendo assim, a prática da tarifa mensal plana pode não ser vantajosa para o ISP sob o ponto de vista de investimentos e remuneração, pois, o comportamento dos seus usuários pode comprometer a carga de trabalho do seu *backbone* e, conseqüentemente, criar uma situação que prejudique a qualidade do serviço que oferece.

Um ambiente que propicia o aumento do uso da Internet também pode propiciar o crescimento da variedade de padrões de comportamento de usuários. Tais padrões podem ser caracterizados, principalmente, pela frequência com que os usuários da Internet de banda

larga criam suas sessões de uso da rede, pelo tempo que ficam conectados e pela quantidade de *bytes* que enviam e recebem em consequência do uso das aplicações disponíveis na rede. Entender o comportamento dos usuários frente ao aumento de desempenho e da disponibilidade do acesso à Internet é uma atividade importante para melhorar a qualidade do serviço oferecido. A partir da caracterização desse comportamento é possível identificar padrões de uso, o que pode facilitar a otimização do gerenciamento da capacidade da infra-estrutura e subsidiar o planejamento dos esforços do provedor.

Esses padrões de comportamento podem sofrer interferência de algumas variáveis, como por exemplo, o preço do serviço. Um esquema de precificação que contemple diferentes padrões de comportamento pode ser mais justo para os usuários e ainda poderia modificar a sua experiência, incentivando, ou não, o uso dos recursos do ISP. Dessa forma, não haveria motivos para os usuários desperdiçarem recursos, o que geraria economias para o provedor e, conseqüentemente, diminuiria os seus custos de operação. Ou seja, um esquema de precificação justo sobre o ponto de vista dos usuários também pode ser vantajoso para o provedor de acesso à Internet de banda larga.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho de pesquisa é propor um esquema de precificação de tráfego de banda larga baseado no comportamento dos usuários ao longo do dia que seja justo sob o ponto de vista dos usuários e vantajoso para o provedor de acesso. Para alcançar tal objetivo, este trabalho apresenta uma metodologia de caracterização do comportamento de usuários e descreve como ela pode ser aplicada no ambiente do provedor de acesso à Internet de banda larga. O uso da metodologia, principalmente com dados reais, viabiliza a identificação e o entendimento dos diferentes padrões de uso das aplicações Internet, que justificam a criação de um esquema de precificação que considera diferentes padrões de comportamento de usuários. A validação e a respectiva comparação do esquema proposto com outros esquemas de precificação descritos na literatura são realizadas por simulação com dados reais coletados na infra-estrutura de um provedor de acesso à banda larga.

1.2 Contribuições

As principais contribuições alcançadas com o desenvolvimento desta pesquisa são:

- Um esquema de precificação de tráfego de Internet de banda larga (BPS – *Broadband Pricing Scheme*) justo sobre o ponto de vista dos usuários e vantajoso sob o ponto de vista do provedor. Tal esquema é proposto no capítulo 4. O BPS é mais justo que o esquema de precificação de tarifa plana (*flat rate*), pois, a cobrança do serviço de acesso à Internet é realizada de acordo com o comportamento específico de cada usuário ao longo do dia. Levando em consideração a possibilidade de auto-adaptatividade de algumas aplicações utilizadas na Internet, como por exemplo os sistemas par-a-par, o uso do BPS pode redistribuir a carga de trabalho ao longo do dia, o que beneficia o provedor de acesso, principalmente, com economias de banda em períodos tipicamente de grande demanda e com uma maior utilização do *backbone* em momentos onde normalmente há ociosidade.
- Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização do comportamento de usuários de Internet de banda larga, bem como os resultados de sua aplicação com dados reais de um ISP. A metodologia, descrita no capítulo 3, está baseada em quatro critérios: (i) a identificação do processo de chegada das sessões na infra-estrutura do ISP; (ii) a identificação da duração das sessões; (iii) a contabilização da quantidade de *bytes* transferidos dentro das sessões e (iv) a identificação do padrão de requisição de serviços dos usuários em cada uma de suas sessões (*user request pattern*). A modelagem do comportamento de usuários a partir dos critérios propostos é realizada através da integração de dados das assinaturas, das autenticações e do tráfego gerado pelos usuários do provedor de acesso.

Essas contribuições também estão descritas em artigos científicos apresentados em conferências e periódicos internacionais. Uma visão geral desses trabalhos é apresentada no capítulo 6 em conjunto com as conclusões e com os trabalhos futuros.

Além de detalhar a metodologia de caracterização do comportamento de usuários de Internet de banda larga, o capítulo 3 apresenta os resultados decorrentes da sua respectiva aplicação com um conjunto de dados reais de um ISP de banda larga. O esquema de precificação proposto é descrito no capítulo 4 e a sua simulação, bem como os resultados das comparações com outros esquemas de precificação presentes na literatura, são apresentados e discutidos no capítulo 5. O referencial teórico relacionado ao objeto destacado para estudo é apresentado no capítulo 2.

Capítulo 2

Referencial Teórico

Este capítulo apresenta uma análise das principais referências bibliográficas utilizadas para fundamentação teórica dessa tese. Tais referências influenciaram, de alguma forma, o desenvolvimento das contribuições apresentadas neste trabalho de pesquisa. Os trabalhos analisados foram organizados em seções que caracterizam um ponto de vista sobre o estado arte do tema em questão.

A seção 2.1 destaca alguns aspectos sobre a popularização da Internet de banda larga e discute o impacto do crescimento de seu uso, tanto no gerenciamento da infra-estrutura tecnológica dos provedores de acesso, quanto na qualidade dos serviços percebida pelos usuários. A segunda seção (2.2) analisa os trabalhos que propõem técnicas e metodologias de caracterização de cargas de trabalho de serviços disponíveis na Internet, bem como formas de caracterizar o comportamento de usuários de tais serviços. A seção 2.3 apresenta características de aplicações adaptativas, como por exemplo os sistemas par-a-par e as aplicações utilizadas para transmissão de vídeo e voz. A quarta e última seção desse capítulo, seção 2.4, apresenta os problemas relacionados à precificação de serviços Internet e discute modelos propostos na literatura sobre o assunto.

2.1 Internet de banda larga

O acesso à Internet de banda larga é realizado tanto através de redes a cabo, geralmente de propriedade de empresas de TV por assinatura, quanto através de redes DSL (*Digital Subscriber Line*), normalmente construídas sobre a infra-estrutura da rede de telefonia fixa das companhias de telecomunicações (Dischinger et al., 2007; Tanenbaum, 2002). Apesar do uso de fibra ótica (FTTH – *Fiber-to-the-Home*) como meio de acesso à Internet de banda larga no ambiente doméstico ter aumentado em alguns países, tais como Japão e Coréia, o uso das redes DSL e a cabo representam mais de 90% das assinaturas, sendo que 62% utilizam a tecnologia DSL e 29% a tecnologia a cabo (OECD, 2007). Por enquanto, apenas 8% dos usuários dos países da OECD acessam a Internet de banda larga utilizando FTTH. No Brasil, de acordo com pesquisa de 2007 do CETIC¹, o DSL corresponde a 50% das assinaturas e as conexões via cabo totalizam 32%. Os demais 18% correspondem às conexões à Internet de banda larga via rádio (16%) e via satélite (2%).

A alta disponibilidade do acesso (*always-on*) e a velocidade de transmissão de dados, que pode variar de 256 Kbps (DSL ou cabo) até 1 Gbps (FTTH), são características importantes da Internet de banda larga que influenciam o comportamento dos seus usuários (Yassini, 2004). Tanto a pesquisa da *Pew Internet & American Life* (Horrigan e Smith, 2007), realizada com 2.200 americanos entre fevereiro e março de 2007, quanto os dados apresentados pelo CETIC, mostram que, em comparação com os usuários que acessam a Internet através de conexões *dial-up*, os usuários de banda larga utilizam mais regularmente os recursos da rede bem como se envolvem mais freqüentemente em uma maior variedade de atividades *on-line*.

Além de consolidar e ampliar a utilização de aplicações como o correio eletrônico e a navegação na rede (*browsing*), o acesso à Internet através de redes de banda larga também promove o crescimento do uso de outras aplicações. Videoconferência, TV interativa, jogos, aplicações P2P, computação orientada a *grid*, *backup* baseado em rede, aplicações de dispositivos móveis, aplicações para transmissão e recepção de vídeo pela rede e aplicações que permitem a comunicação síncrona entre os usuários que estão *on-line* (*Instant Messengers*

¹Centro de Estudos do CGI sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação (<http://www.cetic.br>).

e *VoIP*) são exemplos de aplicações que passam a ser mais utilizadas em decorrência das características dessa tecnologia de acesso à Internet (MIT, 2005).

Alguns estudos, como Fukuda et al. (2005) e Lakshminarayanan et al. (2004), mostram um relacionamento entre a popularização das aplicações P2P e o aumento da taxa de penetração da Internet de banda larga, particularmente no Japão e nos Estados Unidos. Como muitas dessas aplicações impõem uma carga de trabalho caracterizada por sessões de longa duração com um tráfego de dados intenso e contínuo, os provedores de acesso à Internet de banda larga precisam otimizar o uso dos seus recursos para cumprir os acordos de níveis de serviço (SLA – *Service Level Agreement*) estabelecidos com seus clientes.

Recentemente alguns trabalhos (Crowcroft, 2007; GOOGLE, 2006; Hahn e Wallsten, 2006; Held, 2007; Weiss, 2006) apresentam uma discussão sobre a viabilidade da prática da neutralidade de rede (*net neutrality*). Provedores de acesso à Internet de banda larga, tais como, Verizon, AT&T e Comcast, têm argumentado porque eles não podem cobrar também dos provedores de conteúdo (Google, Amazon e eBay) o uso dos seus recursos utilizados para acesso à Internet (Hahn e Wallsten, 2006). Por outro lado, os provedores de conteúdo contra argumentam afirmando que os ISPs não podem discriminar aplicações ou informações que trafegam pelos seus respectivos *backbones* (GOOGLE, 2006). Enquanto provedores de acesso e provedores de conteúdo não encontram uma solução para a distribuição dos custos e investimentos, os ISPs precisam aumentar a sua competitividade, por exemplo, desenvolvendo e utilizando mecanismos para otimização do uso de seus recursos.

Levando em consideração o contexto atual de uso da Internet de banda larga, os ISPs podem ter dificuldades para aumentar, e até mesmo manter, o faturamento advindo da prestação do serviço de acesso à Internet sem entender o comportamento dos seus usuários. Como normalmente os usuários de Internet de banda larga pagam uma taxa fixa mensal (*flat monthly rate*) correspondente ao maior valor de banda que pode ser utilizado (Chaudhuri e Flamm, 2005), tais usuários podem utilizar várias aplicações e consumir toda a banda permitida para o seu tipo de assinatura durante longos períodos do dia. O repasse do aumento dos custos para os preços das assinaturas dos usuários é uma estratégia que pode retardar o crescimento

das taxas de penetração da banda larga em países como o Brasil, pois, de acordo com a pesquisa do CETIC, atualmente o custo de acesso é a principal barreira que inibe o uso da Internet no ambiente residencial. A caracterização do comportamento dos usuários do ISP e a utilização de um esquema de precificação que seja justo para a maioria dos usuários pode ser vantajoso para o provedor de acesso e ainda contribuir para a popularização ainda maior do uso dessa tecnologia.

2.2 Caracterização do comportamento de usuários

Diversos trabalhos sobre caracterização são realizados com o propósito de entender e modelar tanto a carga de trabalho (*workload*) de aplicações utilizadas na Internet quanto o comportamento dos seus respectivos usuários. Cargas de trabalho tradicionais, principalmente, relacionadas a requisições HTTP de documentos e imagens, são analisadas em vários trabalhos, sejam com o foco no lado servidor (Arlitt, 2000; Arlitt e Jin, 2000; Arlitt et al., 2001) ou no lado cliente (Barford et al., 1999; Cunha et al., 1995). Uma síntese com o agrupamento de estudos de caracterização através de diversas invariantes, sendo algumas determinadas pela origem dos dados (*Web browser*, servidores *Web* ou *Proxies* e servidores de aplicação), é apresentada por Pitkow (1998). Os resultados de tais estudos apontam possibilidades de implementação de mecanismos de memória *cache* e/ou de predição do comportamento dos usuários para melhorar a qualidade do serviço.

Estudos mais recentes caracterizam a carga de trabalho de outros tipos de aplicações, tais como a distribuição de vídeo ao vivo e sob-demanda (Velooso et al., 2006; Costa et al., 2004) e também de sistemas *peer-to-peer* (Gummadi et al., 2003; Krishnamurthy et al., 2001; Leibowitz et al., 2002, 2003; Saroiu et al., 2002a; Sen e Wang, 2004), que têm se tornado aplicações bastante populares, em decorrência do aumento da disponibilidade das conexões de banda larga na “última milha” (*last mile*) (Lakshminarayanan et al., 2004).

As caracterizações da carga de trabalho relacionada à transmissão de vídeo propõem modelos hierárquicos para capturar os aspectos mais relevantes do comportamento dos usuários dos respectivos tipos de transmissão de vídeo: *on-line* (Velooso et al., 2006) e sob-demanda

(Costa et al., 2004). Estes trabalhos apresentam caracterizações detalhadas de cada componente dos modelos propostos.

Os trabalhos que tratam a caracterização de sistemas P2P (Gummadi et al., 2003; Krishnamurthy et al., 2001; Leibowitz et al., 2002, 2003; Saroiu et al., 2002a; Sen e Wang, 2004) analisam diversos aspectos do tráfego gerado por esses sistemas, tais como popularidade e tamanho dos objetos, utilização da banda e duração das sessões. Isto demonstra a preocupação com a carga de trabalho desse tipo de aplicação.

Hamada et al. (2004) analisam, modelam e avaliam políticas para o gerenciamento do tráfego de aplicações *peer-to-peer* em redes metropolitanas. O trabalho estima que 80% do tráfego total da Internet é gerado por sistemas P2P. Como o uso da Internet de banda larga encoraja os seus usuários a se tornarem *peers* de uma rede P2P, os autores sugerem o desenvolvimento de políticas que incentivem a troca de tráfego entre os usuários do ISP.

Todavia, a caracterização isolada de algumas aplicações utilizadas pelos usuários de Internet de banda larga não é suficiente para entender o comportamento desses usuários. A modelagem do comportamento do usuário de Internet pode ser realizada a partir da modelagem da carga de trabalho geral do ISP (Hlavacs et al., 2000; Hlavacs e Kotsis, 1999). Menascé e Almeida (2000) apresentam e discutem um modelo de referência para caracterização do comportamento de usuários, que é construído a partir de dados gerais de servidores *Web* ou de servidores de aplicações.

Um trabalho recente de Dischinger et al. (2007) apresenta uma caracterização realizada com base em medidas realizadas em 1.894 computadores (*hosts*) das 11 maiores redes comerciais de Internet de banda larga (DSL e cabo) dos Estados Unidos e da Europa. As medidas foram realizadas remotamente com ferramentas construídas pelos autores. Várias propriedades das conexões dos *hosts* são examinadas. Largura de banda típica, latência e perda de pacotes, além de examinadas, também foram comparadas com características de redes acadêmicas e corporativas. Como o objetivo do trabalho é analisar as implicações dos resultados encontrados em protocolos e aplicações utilizadas nas redes de banda larga, o comportamento dos usuários dessas redes não foi analisado.

A caracterização apresentada por Arlitt et al. (1999) analisa os dados de um *Web Proxy* de um provedor de acesso via cabo à Internet de banda larga. Entretanto, apesar deste trabalho caracterizar os tipos, o tamanho e a popularidade dos arquivos, bem como, a frequência de requisição dos diferentes serviços (HTTP, FTP, etc.), os autores não apresentam o padrão de comportamento de usuários em suas sessões constituídas para requisitar os serviços analisados. Além disso, o trabalho de Arlitt et al. (1999) não contempla a análise das aplicações P2P ou de transmissão de vídeo.

Alguns trabalhos estabelecem uma ligação direta da expansão do uso dos sistemas *peer-to-peer* com a disseminação do uso de conexões de banda larga (Cho et al., 2006; Hamada et al., 2004; Lakshminarayanan et al., 2004; Saroiu et al., 2002b). Um ambiente com disponibilidade de acesso contínuo e uma qualidade de serviço superior, por exemplo, às conexões realizadas através de linhas discadas (*dial-up*), encoraja o uso de aplicações onde o usuário realiza vários *downloads* de grandes arquivos. Gerber et al. (2003) apresentam diferenças de comportamento de usuários de Internet de banda larga via cabo durante os diversos períodos do dia. O tráfego gerado pelos usuários P2P utiliza várias portas TCP, e a carga de trabalho é praticamente contínua durante o dia (Gerber et al., 2003). Por isso, para entender e caracterizar a carga de trabalho de aplicações P2P é necessário identificar tanto o tráfego correspondente à sinalização realizada pelos protocolos *peer-to-peer*, utilizada, por exemplo, para localização de *peers* e conteúdo, quanto o tráfego gerado pela transferência de arquivos entre os computadores da rede. Entretanto, como a maioria dos protocolos P2P não utiliza portas bem conhecidas, a identificação do tráfego de dados torna-se uma tarefa complexa.

As propostas de identificação de tráfego *peer-to-peer* podem ser classificadas como aquelas que analisam a carga útil (*payload*) dos segmentos TCP/UDP e as propostas que contemplam a dinâmica dos fluxos de dados enviados e recebidos (Dang et al., 2006). Como as portas TCP/UDP utilizadas pelas aplicações P2P não são bem definidas, a identificação do tráfego *peer-to-peer* através da análise de fluxos de dados tem se mostrado mais eficiente que a abordagem baseada na análise da carga útil.

Karagiannis et al. (2004) desenvolveram uma metodologia baseada na identificação e

análise de padrões dos dados da camada de transporte sem a necessidade de verificar o conteúdo da carga útil do segmento TCP/UDP. Basicamente a metodologia proposta consiste em identificar pares de IP (origem e destino) que utilizam concorrentemente conexões TCP e conexões UDP em um determinado espaço de tempo e, posteriormente, refinar a classificação do tráfego P2P a partir do uso de algumas heurísticas. Para validar a metodologia proposta, os autores também desenvolveram um esquema de identificação de tráfego P2P realizado em três etapas. Na primeira etapa as portas TCP/UDP dos fluxos são verificadas. Caso o fluxo ocorra entre portas TCP/UDP de aplicações *peer-to-peer* conhecidas, tal fluxo é classificado como fluxo P2P. Na segunda etapa se deve comparar os *bytes* iniciais do segmento TCP/UDP com uma tabela com o conteúdo padrão da carga útil de aplicações *peer-to-peer* identificado manualmente em uma amostragem do tráfego. Caso nenhum dos pacotes do fluxo possua os valores típicos de uma carga útil de tráfego P2P, tal fluxo é classificado como fluxo não-P2P. Na terceira etapa se constrói uma tabela com os pares de IP dos fluxos classificados como P2P na etapa anterior. De acordo com os autores, a metodologia apresentada é capaz de identificar 99% dos fluxos P2P com menos de 10% de falsos positivos e ainda identificar 10% a mais de fluxos P2P identificados através do uso da abordagem de análise da carga útil dos segmentos TCP/UDP.

A proposta apresentada por Sen et al. (2004) é baseada em assinaturas de protocolos P2P criadas a partir da análise da documentação e da análise detalhada da carga útil de segmentos TCP/UDP de tais protocolos. O trabalho detalha a assinatura de cinco protocolos P2P: Gnutella, eDonkey, DirectConnect e BitTorrent e Kazaa. Os resultados apresentados indicam que a técnica de identificação de tráfego P2P baseada em assinaturas tem uma boa precisão, é “escalável” e possui um percentual bem pequeno de falsos positivos. Contudo, a dinâmica dos protocolos utilizados nas aplicações *peer-to-peer* pode comprometer as metodologias apresentadas por Karagiannis et al. (2004) e Sen et al. (2004), criando a necessidade da revisão contínua e sistemática das heurísticas utilizadas.

Sen e Wang (2004) apresentam uma metodologia não-intrusiva para medição e caracterização de tráfego P2P baseada na análise de fluxos de dados coletados em múltiplos ro-

teadores de um grande provedor de acesso à Internet (ISP). A caracterização do tráfego de sinalização e de transferência de dados de três sistemas *peer-to-peer* – Fastrack, Gnutella e DirectConnect – é realizada a partir da análise da distribuição dos *peers*, do volume de tráfego gerado, da conectividade dos nós da rede P2P, do padrão do tráfego no tempo, da duração das conexões e do tempo de permanência *on-line*, da análise da largura de banda média utilizada e da dinâmica do comportamento dos participantes da rede *peer-to-peer*. O estudo mostra que além do crescimento dos três sistemas em meses consecutivos, o volume de tráfego gerado pelos *peers* individuais é extremamente variável (sendo que 10% dos IPs contribuem para cerca de 99% do tráfego total), o tráfego geral produzido pelos sistemas P2P é muito intenso e relativamente estável, e somente uma pequena fração dos usuários permanecem conectados por longo período de tempo. Levando em consideração que 1/3 dos endereços IP poderiam corresponder a usuários de serviços de Internet através de conexões telefônicas (*dial-up*) (Sen e Wang, 2004), é importante ressaltar que o crescimento do uso de Internet de banda larga pode ter interferido em alguns resultados apresentados por Sen e Wang (2004), como por exemplo, o horário de uso dos recursos do ISP, como apontado por Fukuda et al. (2005).

Dang et al. (2006) também apresentam um método heurístico, baseado na análise da dinâmica de fluxos de dados, composto por sete passos: (i) separação do tráfego de aplicações que utilizam portas TCP/UDP bem definidas; (ii) identificação dos pares de IPs que participam concorrentemente de conexões TCP e UDP; (iii) identificação do tráfego entre pares IP, onde, um dos IPs pode ser caracterizado como um servidor Web; (iv) identificação do tráfego em portas TCP/UDP conhecidas e relacionadas a aplicações P2P, pois, normalmente, o uso de sistemas *peer-to-peer* não é proibido em redes domésticas e, por isso, não precisam utilizar portas que não são bem conhecidas; (v) verificação da existência de fluxos com identificadores (IPs origem e destino, protocolo e portas origem e destino) iguais; (vi) identificação da existência de IPs que utilizam uma porta TCP/UDP por mais de cinco vezes em um determinado período de tempo e (vii) verificação da existência de fluxos com mais de 1MB e com duração superior a 10 minutos.

A identificação do tráfego gerado por sistemas P2P é uma tarefa importante para caracterizar o comportamento de usuários de Internet de banda larga. A partir dessa caracterização passa a ser possível propor mecanismos que promovam o bem-estar coletivo no contexto do provedor de acesso e melhorar qualidade do serviço percebido pelo usuário. Neste trabalho, a metodologia de caracterização de comportamento de usuários de Internet de banda larga é utilizada para subsidiar o funcionamento do esquema de precificação proposto com o objetivo de racionalizar o uso da rede, aumentando os ganhos do ISP e também os benefícios dos seus respectivos usuários. A principal diferença desta metodologia em relação às outras encontradas na literatura são: (i) a construção do padrão de requisição conjugado com características do processo de chegada, tempo de duração e carga de trabalho das sessões das classes típicas de usuários, (ii) a identificação de aplicações P2P a partir de fluxos de dados sem a necessidade de inspeção da carga útil do pacote TCP/UDP e (iii) a possibilidade de identificação do usuário, e não apenas de seu IP, a partir da interligação de informações da base de dados de usuários do provedor e dos *logs* de autenticação e de carga de trabalho.

2.3 Aplicações adaptativas

Com o crescimento de um tipo de tráfego, que além de ser difícil de ser identificado na infra-estrutura do ISP, cria uma sobrecarga de trabalho intensa e contínua no *backbone* desse provedor, a qualidade do serviço prestado, bem como o planejamento e o gerenciamento da capacidade da infra-estrutura tecnológica do ISP, podem ser aprimorados a partir do entendimento e do monitoramento de tal tráfego. As aplicações que geram essa carga de trabalho, como por exemplo, os sistemas par-a-par (P2P) e as aplicações utilizadas na transmissão de vídeo e voz, são capazes de verificar os recursos disponíveis e ajustar suas respectivas taxas de transferência de dados em resposta à mudanças do ambiente.

A auto-adaptação de aplicações, por exemplo, às condições da carga de trabalho da rede, pode ser feita a partir do uso de *buffers* ou através da retração da demanda de recursos. Normalmente, a verificação das condições do ambiente que dispara um processo de auto-adaptação é realizada periodicamente em uma determinada escala de tempo, por exemplo,

segundos, minutos ou horas. Os sistemas P2P podem se adaptar às condições da rede aumentando ou diminuindo sua taxa de transferência de arquivos e as aplicações de vídeo e voz podem priorizar o envio da voz em detrimento do vídeo em momentos de escassez de recursos de rede. Tais aplicações são classificadas como *aplicações adaptativas* (Wang e Schulzrinne, 2006).

Neste trabalho, todas as aplicações utilizadas por um usuário de Internet de banda larga foram consideradas *adaptativas*. O ajuste da taxa de transferência de dados pode ocorrer a cada conjunto de requisições do usuário. Tal ajuste pode ser feito através da retenção da demanda quando o usuário excede o nível de serviço contratado junto ao ISP. Ou seja, as aplicações adaptativas podem ser configuradas para simular o comportamento dos usuários de Internet alterando sua respectiva demanda a partir da análise da variação da disponibilidade dos recursos do provedor.

2.4 Precificação de serviços de Internet

De acordo com Courcoubetis e Weber (2003), a precificação pode ser utilizada enquanto um mecanismo para controle do uso de recursos e também para gerenciamento da sua respectiva demanda. Com o propósito de controlar a sobrecarga de trabalho da rede, de aumentar o faturamento dos provedores de acesso e de garantir qualidade do serviço prestado aos usuários, vários esquemas de precificação de serviços de Internet vêm sendo propostos nos últimos anos.

A partir da análise de resultados obtidos com experimentos realizados com dados coletados através da plataforma (INDEX), a qual permite os usuários de Internet escolherem a largura de banda e o preço de sua conexão através de linhas ISDN, Altmann et al. (1999) mostraram que a precificação única sem a diferenciação de classes de usuários é injusta e ineficiente se comparada com a precificação baseada no uso (*usage based*). Além disso, o trabalho mostra que o esquema de precificação pode interferir no comportamento dos usuários para uso dos recursos da rede. Isto vai de encontro ao apontado por Noll (1997) que

apresenta sucintamente vantagens e desvantagens de mecanismos de cobrança de uso da Internet, tais como a cobrança de valor único com limite de consumo, a cobrança baseada na quantidade de *bytes* consumidos, a diferenciação de preço em momentos de congestionamento da rede e a cobrança baseada no horário de uso dos recursos.

Partindo do princípio de que o preço do serviço interfere no comportamento dos usuários, Marbukh (2004) propõe um esquema de precificação com base em requisitos centrados no usuário sem a necessidade de obter informações detalhadas sobre o estado da rede. Por outro lado, Jin e Kesidis (2005) propõem um esquema de precificação baseado no uso e na adaptação de parâmetros que influenciam na qualidade dos serviços recebidos pelos usuários. Neste trabalho, a análise da dinâmica desses usuários é realizada a partir da modelagem matemática do consumo de recursos da rede.

Marbach (2004) afirma que a diferenciação de tráfego, por exemplo, através do uso do *Diffserv* (Blake et al., 1998) precisa ser regulada por um mecanismo para a devida alocação do tráfego nas diversas classes de serviço. Esse trabalho propõe um esquema de precificação estático para priorização de serviços fazendo uso da teoria dos jogos. Os resultados mostram que o equilíbrio único na alocação dos recursos ocorre com bastante frequência e que a largura de banda e a remuneração do provedor não dependem do preço das diferentes classes de priorização de serviços. Como a perda de pacotes tem uma relação, mesmo que seja simples, com o esquema de precificação, o autor afirma que usuários com muitos requisitos de qualidade de serviços estão dispostos a pagar mais para aumentar a qualidade percebida.

Outro trabalho que contempla a precificação diferenciada para classes com níveis de serviço distintos é apresentado por Shu e Varaiya (2003). Os autores demonstram, também com o uso da teoria dos jogos, que a precificação através da cobrança de um valor único por uma quantidade de largura de banda (*flat rate*) pode causar o congestionamento da rede. Isto ocorreria porque cada usuário considera apenas seus próprios incentivos quando resolve utilizar os recursos disponíveis, não levando em consideração o impacto do seu consumo na qualidade do serviço demandado pelos demais usuários. Ou seja, uma manifestação do fenômeno da “Tragédia dos Comuns” (Hardin, 1968). O mecanismo proposto – SPAC (*Smart Pay Ad-*

mission Control) – cria incentivos para permitir que os usuários definam o valor que estão dispostos a pagar pela qualidade do serviço em momentos de congestionamento da rede. O uso do SPAC requer que o provedor de serviços defina faixas de QoS de tal forma que os usuários possam escolher e informar o valor que estão dispostos a pagar. O SPAC utiliza um algoritmo baseado no leilão VCG (Vickrey-Clark-Groves) para definir o preço de cada faixa de QoS, de tal forma que as classes com os maiores preços tenham melhor qualidade de serviço. Para garantir a diferenciação do serviço prestado, o mecanismo propõe o uso de uma arquitetura baseada no *Diffserv* (Blake et al., 1998). Partindo da premissa que os usuários precisam de incentivos para pagar mais por melhores serviços em momentos de alta sobrecarga de uso dos recursos do provedor, a eficácia da política de incentivos e de relacionamento do provedor com os seus usuários demanda uma caracterização constante do comportamento da carga de trabalho (Shu e Varaiya, 2003).

Uma rede com múltiplas classes de serviço precisa de uma estrutura de precificação baseada na diferenciação de preços e, conseqüentemente, de desempenho (Wang e Schulzrinne, 2006). A oferta de múltiplas classes de serviço pode ser melhor para os provedores do que a oferta de apenas uma classe. Contudo, a escolha incorreta dos preços condizentes com a diferenciação da qualidade do serviço de cada classe pode implicar em uma ineficiência do sistema e, conseqüentemente, ocasionar insatisfação dos usuários do provedor seguida da perda de faturamento (He e Walrand, 2005b). He e Walrand (2005b) apresentam um modelo de precificação no qual os preços são atualizados dinamicamente a partir da análise da demanda de classe oferecida determinada também por um leilão de Vickrey, realizado com parâmetros informados pelos usuários do ISP que definem quanto cada um está disposto a pagar para diminuir a sua percepção de atraso do serviço recebido.

Um esquema de precificação também pode ser utilizado para promover a cooperação entre os provedores com o intuito de alcançar o bem-estar do grupo e, conseqüentemente, viabilizar o crescimento de cada um (He e Walrand, 2005a). O modelo de QoS proposto no trabalho apresentado por Cao et al. (2002) mostra que o equilíbrio de Nash ocorre durante a cooperação de ISPs concorrentes.

Normalmente, a formalização de modelos de precificação é realizada através da teoria dos jogos. Cao et al. (2002) demonstram que o relacionamento entre o provedor e os seus respectivos usuários pode ser modelado como um jogo cooperativo, que, mesmo sendo difícil de ser mantido, apresenta uma solução melhor que um jogo não-cooperativo. O modelo de teoria dos jogos apresentado por Yaiche et al. (2000) tem como objetivo melhorar a alocação dos recursos da rede de forma justa maximizando os benefícios esperados tanto pelo provedor quanto pelos seus usuários.

Na maioria dos modelos de precificação os usuários devem pagar mais para garantir uma qualidade de serviço condizente com a natureza da sua demanda, com o seu orçamento e com as condições de tráfego da rede. Contudo, é difícil encontrar modelos que foram construídos ou validados com dados reais, principalmente, de Internet de banda larga. Uma proposta de precificação de serviços de acesso à Internet através de conexões de banda larga é apresentada por Bhargava e Sun (2005). Este trabalho demonstra que um esquema de precificação contingenciada, ou seja, onde o preço depende da qualidade do serviço prestado, pode trazer benefícios tanto para o provedor de acesso de Internet de banda larga quanto para os seus clientes. O modelo de precificação padrão é comparado com o modelo de precificação contingenciada com desconto proporcional e com o modelo de precificação contingenciada com um limiar de qualidade. Além de demonstrar que a precificação contingenciada com um limiar de qualidade é mais eficiente que o modelo com desconto proporcional, Bhargava e Sun (2005) demonstram que a escolha do tipo de precificação por parte do cliente pode aumentar ainda mais a percepção positiva do serviço prestado e conseqüentemente o faturamento do provedor de acesso à Internet de banda larga. Entretanto, essa demonstração teórica não foi validada com dados reais.

Em decorrência da dificuldade de se aplicar os modelos propostos na literatura, a precificação atrelada à limitação da quantidade de banda disponível para cada usuário de Internet de banda larga é o principal esquema utilizado para controlar os custos de operação e minimizar a possibilidade de congestionamento da rede (Gupta et al., 1999). Todavia, esse tipo de precificação, normalmente, não considera as condições de tráfego. Ou seja, sob qualquer

condição de demanda dos recursos existentes, o valor pago pelo usuário é sempre o mesmo. Isso pode ser injusto para alguns usuários e bem vantajoso para usuários que, por exemplo, têm um consumo médio bastante elevado.

Uma forma alternativa para efetuar a cobrança do serviço de banda larga seria através da contabilização da quantidade de banda utilizada por cada usuário (*usage-based pricing*). Esse tipo de cobrança pode ser mais justo sob o ponto de vista da maioria dos usuários, pois, cada um paga somente o que realmente foi consumido e, conseqüentemente, os usuários que consomem menos deixam de subsidiar aqueles que consomem mais. Porém, estimar o custo de cada tipo de serviço e contabilizar a quantidade de *bytes* enviados e/ou recebidos (*billing*) não são tarefas fáceis, pois, o volume de tráfego processado pelos ISPs é muito grande. Além disso, alguns serviços, principalmente, os sistemas P2P, podem utilizar portas TCP não conhecidas, o que dificulta a identificação do tráfego que precisa ser contabilizado (Dang et al., 2006).

O uso da Internet de banda larga, principalmente, com a cobrança de serviços na modalidade de preço único por um limite de banda (*flat rate pricing*), pode contribuir para a cooperação em uma rede P2P, pois, o custo marginal da banda é muito baixo. Contudo, a criação e implementação de esquemas de cobrança baseados na quantidade de *bytes* enviados e/ou recebidos (*usage based pricing*) poderá tornar mais complicada a decisão dos *peers* em cooperar com a rede *overlay*, construída a partir dos recursos do provedor de Internet de banda larga (Rodriguez et al., 2006). O estudo e a apresentação de esquemas de precificação que promovem a melhoria do uso de sistemas P2P são encontrados em Bitsaki et al. (2005), Corbo e Parkes (2005), Jurca e Faltings (2005), Lang e Vragov (2005), Wang et al. (2006) e Yu et al. (2004).

A partir da análise das observações apresentadas por Fukuda et al. (2005) e Cho et al. (2006) percebe-se que alguns usuários de Internet de banda larga concentram o início de suas atividades na rede em alguns períodos do dia, principalmente, no período da manhã e no início da noite. Até um certo ponto, tal comportamento é previsível, pois, vários usuários residenciais (85% dos usuários da Internet de banda larga) realizam atividades rotineiras fora

de casa (trabalho e escola) durante períodos típicos do dia. Isso implica em um aumento da demanda dos recursos do ISP em alguns intervalos de tempo e em uma ociosidade parcial do *backbone* do provedor em outros momentos. Ou seja, um cenário propício para uso de um esquema de precificação baseado no horário de uso (*time-based pricing*). Nesse tipo de esquema, horários de alta demanda possuem preços mais elevados que os horários de menor demanda. Esse modelo é utilizado em outras áreas que precisam cobrar por serviços prestados, tais como, energia elétrica e telefonia.

Independente se os usuários de Internet de banda larga irão pagar um valor único para uma determinada quantidade de banda (*flat rate pricing*), se irão ser cobrados pelo tráfego efetivamente gerado (*usage-based pricing*) ou se irão perceber a variação do preço de acordo com o horário de uso (*time-based pricing*), os esquemas de precificação devem contemplar uma forma de ajuste dos preços do serviço. Tal ajuste pode ser estático ou dinâmico. Mecanismos de precificação estática são mais simples de serem implementados, mas, requerem revisões constantes das variáveis utilizadas na sua definição. Por outro lado, os esquema de precificação dinâmica, normalmente, funcionam com base em informações coletadas a partir do monitoramento contínuo da infra-estrutura do provedor ou de informações enviadas pelos usuários para o ISP, por exemplo, os lances efetuados em esquemas baseados em leilões (*auction-based pricing*) (Marbach, 2004). Ressalta-se que os esquemas de precificação dinâmica podem ser um risco para o ISP, pois, se os usuários não possuírem orçamento para pagar pelos serviços, o pagamento dos custos de operação da rede podem ficar comprometidos.

O esquema de precificação proposto neste trabalho tem como base os resultados da caracterização de comportamento de usuários de Internet de banda larga. A identificação das classes dos usuários, com suas características relacionadas tanto à carga de trabalho quanto aos padrões de requisição de serviços, aponta a definição das classes de serviços que precisam ser diferenciadas. A diferenciação de preço das classes de serviços é utilizada com o intuito de conduzir as aplicações adaptativas do usuário do ISP de banda larga definir, com base no seu orçamento, se irá, ou não, utilizar os recursos da rede. O esquema conjuga a cobrança de um valor mensal fixo (*flat monthly pricing*) para definir o orçamento de cada

usuário, e a cobrança baseada no consumo e em horários específicos do dia (*usage-based pricing* e *time-based pricing*) para garantir que períodos do dia, que no passado tiveram alta demanda, tenham um preço de uso superior a períodos que tiveram baixa demanda. Ou seja, como proposto em Wang e Schulzrinne (2006), o preço é calculado com base no histórico de uso dos recursos do ISP. Ainda em consonância com Wang e Schulzrinne (2006) o esquema proposto define os momentos de sobrecarga de trabalho da rede a partir de um percentual de uso da banda total disponível. Uma diferença importante do esquema de precificação desta pesquisa está relacionada à predição do consumo futuro do usuário com base em seu comportamento. Ou seja, Wang e Schulzrinne (2006) não contemplam o padrão de uso da rede por parte dos usuários para definir a quantidade de *budget* que será utilizada para o consumo.

As próximas seções apresentam três esquemas de precificação de Internet que serão comparados com o esquema proposto neste trabalho de pesquisa. O primeiro é o esquema de precificação de tarifa plana que, pela sua simplicidade e facilidade de uso, tem sido praticado por muitos provedores de acesso à Internet. O segundo esquema, denominado *Paris Metro Pricing* (PMP), foi proposto por Odlyzko (1999) e sugere que classes de serviço diferenciadas podem ser determinadas a partir de preços diferenciados para o mesmo serviço prestado. O terceiro esquema de precificação, proposto por Wang e Schulzrinne (2006), parte da premissa que a precificação dinâmica de serviços de rede baseada em classes de serviço diferenciada, no uso e no nível de sobrecarga de trabalho da rede pode promover a utilização mais eficiente dos recursos disponíveis, principalmente, através da utilização de aplicações adaptativas.

2.4.1 Esquema de precificação de tarifa plana

No esquema de precificação com tarifa plana (FR), o preço pago pelo usuário para acessar a Internet por um determinado período, por exemplo por um mês, é determinado *a priori* e não sofre alteração em função do volume de dados enviados e recebidos. Geralmente, o preço é calculado com base no histórico de uso dos recursos do ISP e também no custo da infra-estrutura tecnológica necessária para prover tais recursos (Courcoubetis e Weber,

2003). Além disso, normalmente, os usuários contratam planos de acesso diferenciados pela velocidade máxima de transmissão, mas, sem diferenciação de classes de serviço.

As principais vantagens do esquema de precificação FR são: (i) a sua simplicidade de implementação por parte do provedor de acesso e (ii) a previsibilidade de custo que ele proporciona para os usuários dos serviços oferecidos pelo ISP (Courcoubetis e Weber, 2003). Como a cobrança dos serviços é feita *a priori*, o ISP não precisa contabilizar a quantidade de *bytes* transmitidos pelos usuários para efetuar uma cobrança baseada no uso (*usage-based charge*). Sendo assim, o faturamento do provedor é calculado a partir da quantidade de assinaturas de cada plano oferecido. A implementação deste esquema de precificação requer, basicamente, um controle de admissão dos usuários integrado com um banco de dados de assinaturas e um mecanismo de restrição da velocidade máxima de transmissão específica de cada plano. O tamanho do *backbone* do provedor é calculado com base na quantidade de banda vendida para os seus clientes (assinaturas) e também considerando a fração da velocidade máxima de transmissão garantida pelo ISP.

Sob o ponto de vista dos usuários do provedor, o FR não requer controle da quantidade de dados transmitidos ou de horário de utilização, pois, independente do volume de dados enviados e recebidos em qualquer momento do dia, o valor pago pelo serviço será sempre o mesmo, obviamente se o usuário permanecer com o mesmo plano de acesso. Ou seja, o gasto com o acesso à Internet torna-se previsível e, portanto, facilita a gestão do orçamento (*budget*) do usuário.

Entretanto, esse esquema de precificação pode promover o desperdício de recursos. Os usuários de um ISP de banda larga, que pratica o esquema de precificação com tarifa plana, competem pelo mesmo recurso do provedor: a largura de banda disponível para acesso à Internet. Neste ambiente, alguns usuários do ISP que não utilizam toda a capacidade de banda contratada subsidiam o uso de outros usuários que utilizam, por longos períodos, grande parte dos recursos disponíveis (Courcoubetis e Weber, 2003; Edell e Varaiya, 1999). Como esse esquema não prevê a oferta de incentivos para os usuários reduzirem o consumo dos recursos do provedor, e ainda pode conduzi-los a consumir todos os recursos disponíveis

(Courcoubetis e Weber, 2003), é possível que ocorra uma situação denominada pelos economistas como *Tragédia dos Comuns* (Hardin, 1968). Tal situação pode causar perda de faturamento do ISP, pois, usuários insatisfeitos tendem por cancelar suas respectivas assinaturas optando por um provedor com planos e serviços mais justos e/ou compatíveis com sua demanda e orçamento (Courcoubetis e Weber, 2003). Além disso, com o aumento da demanda dos usuários, o provedor precisa ampliar sua infra-estrutura tecnológica para manter a qualidade de serviço prestado.

2.4.2 Esquema de precificação *Paris Metro Pricing*

O esquema de precificação denominado *Paris Metro Pricing* (PMP) foi proposto por Odlyzko (1999) com o objetivo de prover serviços diferenciados em redes como a Internet. Este esquema foi inspirado no tempo em que o metrô de Paris diferenciava o preço de alguns vagões sem, entretanto, oferecer algum tipo de serviço adicional. No PMP, a rede é dividida em canais, cuja a única diferença é o preço de uso de cada um. De acordo com Odlyzko (1999), a precificação pode integrar o conjunto de ferramentas de gerenciamento de tráfego. Como os canais com preço mais alto terão um tráfego menor daqueles com preço mais baixo, o provedor de acesso pode oferecer um serviço diferenciado apenas ajustando o preço e a capacidade de transmissão de cada canal. O usuário de um ISP que pratica o PMP deve definir o canal que irá utilizar de acordo com seus requisitos, com suas restrições financeiras e com a qualidade de serviço da rede percebida e anunciada por outros usuários. Assim, a diferenciação de níveis de serviço é determinada tanto pelo preço de uso de cada canal quanto pelas escolhas dos usuários.

A principal vantagem do PMP é a sua simplicidade, pois, este esquema de precificação pode prover o controle de sobrecarga dos recursos do provedor sem a necessidade de investimentos ou mudanças significativas na infra-estrutura normalmente utilizada (Odlyzko, 1999). Além disso, o PMP pode aumentar o faturamento do ISP, pois, usuários com disponibilidade de *budget* e desejo de um serviço melhor irão pagar mais para utilizar o canal que possui o preço de uso mais elevado.

Entretanto, apesar de ser tecnicamente simples para prover a diferenciação de serviços, o PMP pode não alcançar o seu objetivo se os preços e as capacidades de cada canal não forem revisados periodicamente, pois, dependendo do estado geral de sobrecarga da rede muitos usuários podem escolher os canais mais caros, deixando os canais mais baratos com uma maior disponibilidade. Outro possível problema ocasionado pelo uso do PMP é a insatisfação do usuário em relação a socialização das informações utilizadas para escolha do canal mais adequado as suas necessidades. Como não há diferenciação de serviços entre canais, há apenas diferença de preço, um usuário pode escolher um canal com o preço mais alto e ter que competir pela largura de banda do canal com um grande conjunto de usuários que fizeram a mesma escolha com base nas mesmas informações. Além disso, ao criar condições para alguns usuários utilizarem um serviço de melhor qualidade, o PMP pode desencadear uma insatisfação por parte dos usuários que não conseguem utilizar o canal que possui o preço mais elevado. Se apenas um pequeno grupo de usuários resolver utilizar o canal com preço mais elevado, o canal que tem o menor preço ficará ainda mais congestionado por causa da divisão da infra-estrutura com o outro canal. Sendo assim, percebe-se que o o PMP pode não ser justo sob o ponto de vista de alguns usuários.

2.4.3 Esquema de precificação proposto por *Wang & Schulzrinne*

Wang e Schulzrinne (2006) propõem um esquema de precificação de recursos de rede para aplicações adaptativas (WSS) baseado tanto no custo do provimento de diferentes níveis de serviço quanto na demanda de recursos das possíveis classes de serviço. Neste esquema, a atualização do preço é feita periodicamente considerando os níveis de serviço oferecidos, bem como o uso e o estado de sobrecarga de trabalho da rede para incentivar as aplicações adaptarem a sua taxa de envio de requisições. Algumas aplicações, como por exemplo aplicações utilizadas para realização de videoconferência através da Internet, são capazes de ajustar periodicamente a taxa requisições e, por isso, podem ser denominadas *aplicações adaptativas* (Wang e Schulzrinne, 2006). Os sistemas par-a-par (*peer-to-peer*) também podem ser classificados como aplicações adaptativas, principalmente, porque são capazes de

ajustar as taxa de *download* e *upload* de acordo com as condições da rede percebida no nó onde o cliente P2P está sendo executado.

Em um esquema de precificação dependente da sobrecarga dos recursos, aplicações adaptativas com restrições de orçamento (*budget*) precisam ajustar suas requisições em resposta à variação do preço de uso da rede para maximizar o saldo decorrente do desejo de pagar (*willingness to pay*) do usuário e o que é cobrado pelo serviço prestado. Wang e Schulzrinne (2006) definem a *função utilidade* de um usuário a partir da largura de banda necessária para o uso das suas aplicações e, também, das restrições de *budget* e dos requisitos de qualidade do serviço percebido pelo usuário, como por exemplo, a sua “sensibilidade” em relação ao tempo de resposta para suas requisições. A precificação realizada com base na escassez de recursos para acesso a rede pode modificar a noção de custo/benefício do usuário que paga pelo uso de tais recursos com um orçamento definido.

A estratégia de preço utilizada pelo WSS é baseada na quantidade de *bytes* transferidos (*volume-based pricing*), dependente das classes de serviços existentes e o preço é atualizado periodicamente de acordo com o estado de sobrecarga de trabalho da rede (*congestion-price-based*), independente da “hora do dia”. O preço é decomposto em (i) preço de retenção (*holding price*), utilizado para cobrar a conexão dos usuários, provendo um controle de admissão, (ii) preço de uso dos serviços do provedor (*usage price*) e (iii) preço de congestionamento (*congestion price*), determinado a partir de um percentual da quantidade total da banda e também pelo uso do espaço de memória dos roteadores, e utilizado para incentivar os usuários escolherem um plano de acesso compatível com sua demanda real (Wang e Schulzrinne, 2006). Como a precificação está baseada no volume de dados transmitidos, o WSS é mais justo do que o FR (*Flat Rate Pricing Scheme*), pois, o valor pago por cada usuário é proporcional à quantidade de *bytes* transferidos por ele durante as conexões estabelecidas com o provedor de acesso. Dessa forma, usuários que fazem poucas requisições não precisam pagar preços mais para subsidiar usuários que utilizam intensamente os recursos disponíveis.

Capítulo 3

Caracterização do comportamento de usuários de Internet de banda larga

Este capítulo apresenta uma metodologia de caracterização do comportamento de usuários de Internet de banda larga sob o ponto de vista de um provedor de acesso. Entender as características do comportamento desses usuários é uma tarefa que pode melhorar a qualidade de serviço do ambiente criado pela Internet de banda larga e, além disso, contribuir para o desenvolvimento e evolução das aplicações utilizadas nesse ambiente. A caracterização do comportamento de usuários pode facilitar o entendimento da interação entre usuários e provedor, bem como ajudar no projeto de sistemas com melhores métricas de qualidade de serviço, tais como, desempenho, disponibilidade de acesso, segurança e custo.

Estudos com análises quantitativas sobre o comportamento de usuários de Internet de banda larga são difíceis de serem encontrados na literatura. Alguns estudos, como por exemplo os realizados pela *Pew Internet & American Life* (Horrigan e Smith, 2007), se concentram em análises qualitativas baseadas em entrevistas com os usuários. Talvez a escassez de estudos quantitativos ocorra por causa da dificuldade em se obter *logs*¹ dos ISPs. Além disso, quando tais arquivos estão disponíveis, a dificuldade para manipulá-los, principalmente, por questões de segurança, privacidade e volume de dados, também torna difícil a realização de análises quantitativas sobre o comportamento de usuários.

¹Arquivos com o registros de operações realizadas em um sistema.

Para entender o comportamento de usuários de Internet de banda larga, este trabalho propõe uma metodologia de caracterização específica para esse contexto, a qual foi aplicada com dados reais de acesso a um ISP de banda larga. Tal provedor oferece o serviço de acesso à Internet via cabo, utilizando a mesma infra-estrutura de sua rede de TV por assinatura. Esse ISP classifica seus usuários em duas categorias: assinantes residenciais e assinantes de pequenas e médias empresas (SOHO – *Small Office / Home Office*).

Basicamente, o comportamento de usuários é definido como uma função que considera a frequência com a qual estabelecem suas conexões com o provedor, o tempo que ficam conectados criando as suas sessões de uso, a quantidade de *bytes* que transferem e os serviços ou aplicações que utilizam. Com isso, o processo de caracterização é realizado levando-se em consideração quatro critérios: (i) a identificação do processo de chegada das sessões na infra-estrutura do ISP; (ii) a identificação da duração das sessões; (iii) a contabilização da quantidade de *bytes* transferidos dentro das sessões e (iv) a identificação do padrão de requisição de serviços dos usuários em cada uma de suas sessões (*user request pattern*). A caracterização do comportamento de usuários do provedor de acesso à Internet de banda larga foi realizada com base em *logs* coletados tanto no servidor de autenticação quanto em um dos roteadores do ISP através do Netflow (Netflow, 2007). A arquitetura da coleta de dados implementada no ISP permitiu a identificação dos serviços utilizados por cada uma das categorias de usuários: residencial ou SOHO.

Para analisar os padrões de requisição de serviços dos usuários do ISP é utilizado um grafo de transição de estados denominado CBMG (*Customer Behavior Model Graph*), proposto em Menascé e Almeida (2000). O CBMG permite a descrição de grupos de usuários que apresentam padrões navegacionais similares. Tais grupos são determinados a partir do uso de um algoritmo de agrupamento (*clustering*) executado com os dados das sessões dos usuários de ambas categorias (residencial ou SOHO).

Os principais resultados encontrados com o uso da metodologia de caracterização do comportamento de usuários de Internet de banda larga são:

- Os tempos entre chegadas das sessões dos usuários residenciais e SOHO são exponencialmente distribuídos durante períodos de estabilidade. As taxas de chegada de sessões de usuários residenciais permanecem relativamente altas durante o dia, enquanto as taxas das sessões dos usuários SOHO variam significativamente.
- A duração das sessões dos usuários residenciais se aproxima bastante de uma distribuição do tipo Lognormal, enquanto a duração das sessões de usuários SOHO é melhor modelada com a combinação de uma distribuição Lognormal em seu corpo e Pareto em sua cauda.
- A quantidade de *bytes* enviados e recebidos nas sessões dos usuários residenciais e nas sessões dos usuários SOHO são modeladas por distribuições do tipo Lognormal. Além disso, a razão típica da média de *bytes* recebidos por *bytes* enviados por sessão está entre 3 (três) e 5 (cinco) para ambas as categorias de usuários.
- O uso de um grafo de transição de estado para representação do comportamento de usuários (*Customer Behavior Model Graph* – CBMG) permite descrever diferentes classes significativas de padrões de comportamento dos usuários residenciais e dos usuários SOHO. Percebe-se, em ambas as categorias, a existência de uma classe onde há predominância de requisições de serviços HTTP. Outras duas classes merecem destaque. A primeira possui muitas requisições HTTP, mas, também contém várias requisições de outros serviços, tais como, *e-mail*, P2P e *Instant Messengers*. A outra classe possui predominantemente requisições de sistemas *peer-to-peer*, com sessões bem mais extensas do que sessões tipicamente de serviços HTTP.

A metodologia de caracterização de comportamento de usuários proposta para o contexto do uso da Internet de banda larga e o processo de coleta de dados são descritos na seção 3.1. Na seção 3.2, os resultados do uso da metodologia proposta com os *logs* do provedor de acesso à Internet de banda larga via cabo são analisados e discutidos. Por fim, a seção 3.3 apresenta as conclusões deste capítulo.

3.1 Metodologia de caracterização

Esta seção apresenta a metodologia de caracterização proposta e descreve como ela é aplicada no ambiente do provedor de acesso à Internet de banda larga. O objetivo principal da metodologia é delinear um processo sistemático para analisar as atividades dos usuários enquanto estão conectados na infra-estrutura do ISP, quantificando e qualificando a carga de trabalho (*workload*) gerada por eles.

A metodologia está baseada em quatro critérios: (i) a identificação do processo de chegada das sessões na infra-estrutura do ISP; (ii) a identificação da duração das sessões; (iii) a contabilização da quantidade de *bytes* transferidos dentro das sessões e (iv) a identificação do padrão de requisição de serviços dos usuários em cada uma de suas sessões (*user request pattern*). O processo de chegada de sessões e suas respectivas durações provêm informações temporais sobre a carga de trabalho gerada pelos usuários do provedor, uma vez que é possível estimar com qual frequência os usuários estabelecem suas conexões e por quanto tempo ficam conectados. O volume do tráfego de dados (*bytes* transferidos em uma sessão) influencia diretamente na gestão de um recurso crítico para qualquer ISP: largura de banda (*bandwidth*). Por fim, o padrão de requisição dos usuários (*user request pattern*) apresenta quais os serviços estão sendo requisitados e como tais requisições ocorrem ao longo do tempo de conexão de cada usuário.

As três fontes de dados para uso da metodologia de caracterização de comportamento são: (i) o *log* de autenticação dos usuários, (ii) o banco de dados com informações sobre a assinatura dos usuários e (iii) os *logs* com o tráfego de dados gerado nas sessões estabelecidas pelos usuários. O *log* de autenticação utilizado na aplicação da metodologia é compatível com o protocolo RADIUS (Rigney et al., 2000; Rigney, 2000). Depois de consolidado, este *log* deve ter um registro para cada sessão do usuário contendo basicamente os seguintes dados: (a) identificação do usuário² (b) data e hora de início da sessão; (c) duração da sessão; (d) número de *bytes* transferidos (*incoming* e *outgoing*) e (e) o IP real atribuído dinamicamente para a sessão pelo ISP. O banco de dados com informações sobre a assinatura

²Código gerado com um algoritmo de “anonimização” para garantir a privacidade do usuário.

dos usuários é constituído por uma tabela que contém para cada código “anonimizado” de usuário a sua categoria: residencial ou SOHO. A terceira fonte de dados é o *log* gerado pela coleta realizada com o Netflow (Netflow, 2007) em um dos roteadores de borda do ISP. O tráfego é dividido em fluxos (*flows*) e cada fluxo é caracterizado por um identificador de tempo (*timestamp*) que indica quando o fluxo foi gerado, os IPs de origem e destino, os protocolos (TCP ou UDP) com suas respectivas portas (TCP *port* ou UDP *port*) e, por fim, a quantidade de *bytes* transferida. O *log* que contém o tráfego de dados foi coletado em um dos três roteadores da infra-estrutura do ISP e corresponde a 30% de todo o tráfego. A partir do instante que a população dos usuários é igualmente distribuída nos três roteadores, os dados obtidos em um único roteador não afetam qualitativamente os resultados.

A Figura 3.1 apresenta a metodologia de caracterização proposta. Os dados de autenticação e os dados das assinaturas dos usuários, e também os dados sobre o tráfego coletados pelo Netflow passam por processos independentes de limpeza, tratamento e transformação para serem analisados separadamente. Depois da limpeza, tratamento e transformação das fontes de dados realiza-se uma integração desses dados e uma nova análise. O comportamento de usuários da Internet de banda larga é estabelecido a partir dessas três análises.

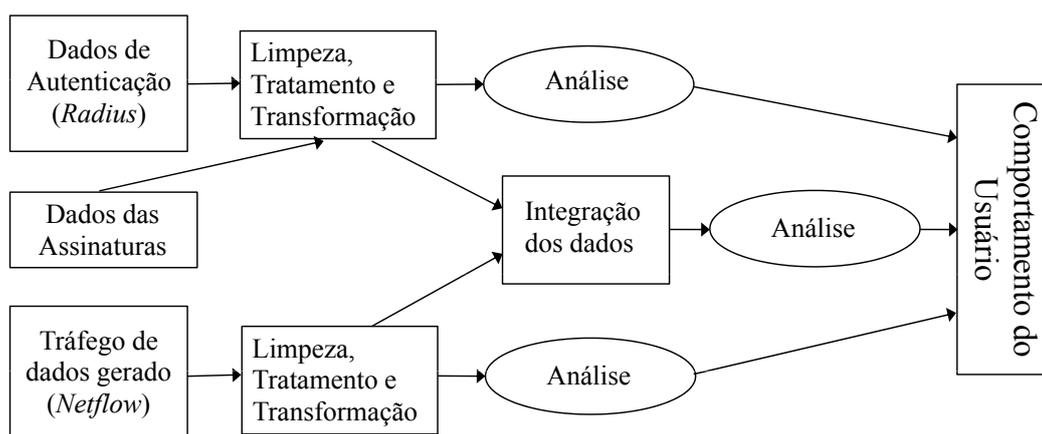


Figura 3.1: Metodologia de caracterização.

Antes de caracterizar a carga de trabalho de acordo com os quatro critérios propostos na metodologia, os dados devem ser divididos em vários conjuntos de acordo com o número

de categorias dos usuários do provedor, como por exemplo, residencial e SOHO. Após a geração das cargas de trabalho específicas de cada categoria de usuários, a identificação do processo de chegada de sessões, a identificação de suas respectivas durações e a contabilização do volume de dados trafegado em cada uma delas são caracterizados com base no *log* de autenticação. Para garantir a precisão da análise, apenas as sessões que iniciaram e finalizaram durante o intervalo de coleta são consideradas na caracterização. A quantidade de dados transferidos em cada sessão de usuário é caracterizado de acordo com a sua “direção” sob o ponto de vista do usuário: dados de chegada (*incoming*) e dados de saída (*outgoing*). O passo seguinte é a determinação da distribuição estatística de cada critério analisado que mais se aproxima dos dados coletados utilizando tanto o método *least-square fit* (Trivedi, 2002) quanto a análise dos gráficos das distribuições.

O padrão de requisição de serviços é caracterizado a partir do *log* que contém o tráfego gerado pelos usuários em suas respectivas sessões de uso da Internet de banda larga. Considera-se *serviço* uma requisição realizada para uso de uma aplicação ou classe de aplicações, tais como HTTP, e-mail e sistemas par-a-par (*peer-to-peer*). Um serviço é usualmente identificado por uma ou mais portas TCP/UDP nas quais os servidores respondem às requisições. A tradução dos protocolos/portas presentes no *log* gerado pelo Netflow é realizada a partir de uma versão estendida da tabela da IANA³ (*Internet Assigned Numbers Authority*). A extensão é necessária, pois, alguns protocolos/portas, normalmente utilizados no tráfego de aplicações P2P, não são bem-definidos e por isso não fazem parte da tabela da IANA.

O tráfego gerado pelos sistemas P2P precisa ser cuidadosamente identificado nas fontes de dados utilizadas na caracterização do comportamento de usuários. Geralmente, as aplicações par-a-par não seguem um padrão bem-definido, ou seja, não utilizam portas TCP ou UDP conhecidas para encontrar os *peers* participantes da rede P2P ou até mesmo para realizar a comunicação e a transferência de arquivos entre os *peers* do sistema. A identificação do tráfego gerado pelas aplicações P2P pode ser feita (i) analisando a carga útil do pacote TCP ou UDP para verificar a existência de assinaturas de aplicações conhecidas, como proposto

³<http://www.iana.org/assignments/port-numbers>

em Sen et al. (2004), ou (ii) através do uso de heurísticas para entender e modelar a dinâmica do fluxo de pacotes gerados pelos sistemas par-a-par (*peer-to-peer*) (Dang et al., 2006; Kargiannis et al., 2004; Sen e Wang, 2004). Além da tabela IANA estendida, a metodologia de caracterização proposta neste trabalho utiliza uma heurística similar à apresentada por Dang et al. (2006) para identificação do tráfego P2P. Tal heurística implica na verificação da presença das características abaixo nas sessões analisadas:

- Existência de vários fluxos UDP na sessão, pois, tal protocolo é freqüentemente utilizado em sistemas par-a-par (*peer-to-peer*);
- Existência de fluxos com portas de aplicações P2P conhecidas, como por exemplo, a porta 1214 utilizada pelo Kazaa (Kazaa, 2006);
- Existência de vários fluxos com portas distintas aparentemente sem algum tipo de relacionamento.

Para cada sessão de usuário identificada é construído um CBMG (*Customer Behavior Model Graph*) proposto por Menascé e Almeida (2000). O CBMG é um grafo de transição de estado onde cada nó representa um possível serviço. As transições entre os nós contêm a probabilidade do usuário requisitar um serviço representado pelo nó destino após requisitar o serviço correspondente ao nó origem. O CBMG é simples, compacto e semanticamente rico para representação do comportamento de usuários. Sessões típicas são identificadas a partir do agrupamento dos CBMGs das sessões dos usuários. A metodologia proposta emprega o algoritmo k -means, onde o número de grupos (*clusters*) é definido pela métrica β_{CV} definida por Menascé e Almeida (2000). O algoritmo k -means agrupa um conjunto de sessões em k grupos. Dadas k sessões escolhidas dentro do conjunto, para cada sessão restante verifica-se qual a menor distância Euclidiana entre a sessão em análise e as k sessões escolhidas inicialmente. Identificada a sessão k_j que mais se aproxima da sessão em análise, k_j é recalculado para ajuste do centróide do grupo. O número de grupos é calculado pela razão entre o coeficiente de variação CV de duas métricas: (i) distância intra-cluster, dada pela distância média entre os pontos que compõem o *cluster* (CV_{intra}) e (ii) distância inter-cluster, dada pela média

das distâncias entre os centróides de cada *cluster* (CV_{inter}). O número adequado de grupos é aquele que gera o menor intra-cluster e o maior inter-cluster. A métrica β_{CV} é a razão entre o CV_{intra} e o CV_{inter} .

3.2 Análise dos resultados

Esta seção apresenta os resultados mais relevantes da caracterização do comportamento de usuários de Internet de banda larga seguindo a metodologia proposta e utilizando dados reais de um provedor de acesso. A seção 3.2.1 apresenta uma visão geral da carga de trabalho (*workload*) gerada tanto pelos usuários residenciais do provedor quanto pelos usuários SOHO. A identificação do processo de chegada das sessões e a identificação das suas respectivas durações, bem como a identificação da quantidade de *bytes* de chegada e de saída em cada sessão residencial ou SOHO são caracterizadas na seção 3.2.2. A seção 3.2.3 identifica e analisa o padrão de requisições de serviços dos usuários de Internet de banda larga.

3.2.1 Visão geral da carga de trabalho

A Tabela 3.1 apresenta uma visão geral da carga de trabalho (*workload*) gerada pelos usuários residenciais e SOHO. Os *logs* coletados correspondem ao período de 28 (vinte e oito) dias (23/12/2003 a 21/01/2004), no qual 310.000 sessões de usuários foram finalizadas. Mais de 80% das sessões são criadas por usuários residenciais. Similarmente, mais de 73% de todo o tráfego (*bytes*) de chegada e 78% de todo o tráfego (*bytes*) de saída também pertence a sessões de usuários residenciais. Tais números são condizentes com aqueles apresentados em pesquisas que mostram a penetração da Internet de banda larga no Brasil (Peres, 2007).

Um usuário inicia uma sessão se autenticando no servidor de controle de acesso do ISP, como por exemplo um servidor RADIUS (Rigney et al., 2000). Uma sessão pode ser finalizada explicitamente pelo usuário ou automaticamente após um período de inatividade (*timeout*). No caso do ISP estudado, a inatividade de um usuário é caracterizada após um período de 4 (quatro) horas sem nenhuma transferência de dados.

| | <i>Residencial</i> | <i>SOHO</i> |
|---|---------------------|---------------------|
| Período | 23/12/03 - 21/01/04 | 23/12/03 - 21/01/04 |
| Total # sessões de usuários finalizadas | 256.239 | 61.112 |
| Total # bytes de chegada (GB) | 11.422 | 4.135 |
| Total # bytes de saída (GB) | 4.135 | 1.128 |
| Média (CV) # de sessões finalizadas por usuário | 45 (0,76) | 36 (0,74) |
| Média (CV) # da duração de sessões (horas) | 9,80 (5,00) | 13,41 (4,29) |
| Média (CV) # dos bytes de chegada por sessão (MB) | 46 (5,02) | 70 (3,79) |
| Média (CV) # dos bytes de saída por sessão (MB) | 20 (8,47) | 18 (7,89) |

Tabela 3.1: Síntese da carga de trabalho (CV = Coeficiente de Variação.)

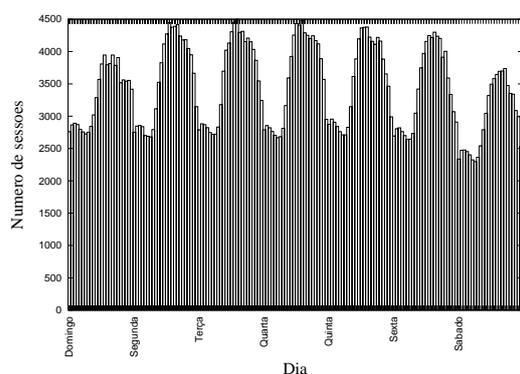


Figura 3.2: Sessões residenciais simultaneamente ativas durante a semana.

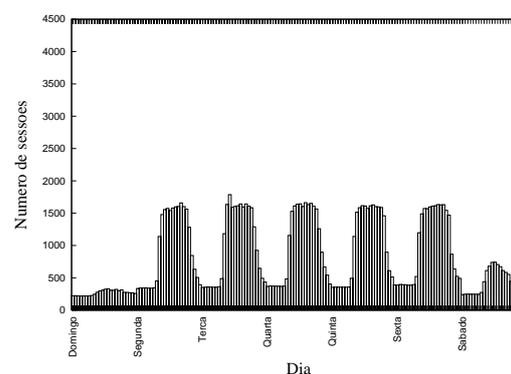


Figura 3.3: Sessões SOHO simultaneamente ativas durante a semana.

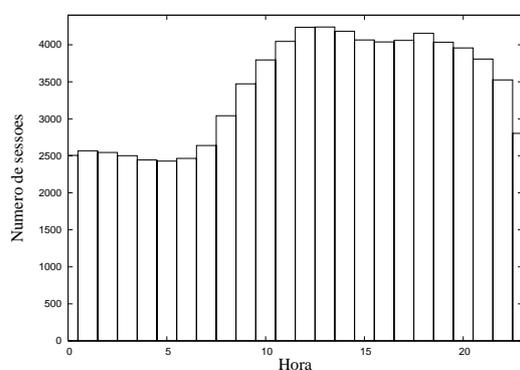


Figura 3.4: Sessões residenciais simultaneamente ativas em um dia.

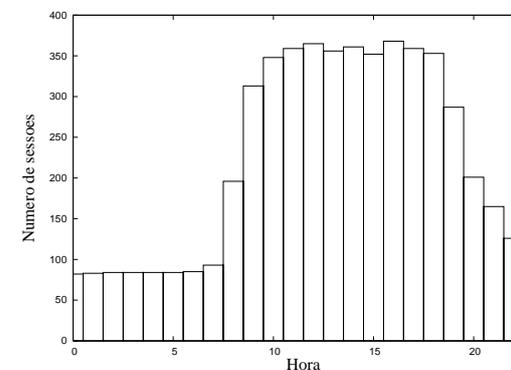


Figura 3.5: Sessões SOHO simultaneamente ativas em um dia.

As Figuras 3.2 e 3.3 apresentam, respectivamente, o número de sessões de usuários residenciais e SOHO que estão simultaneamente ativas durante uma semana. A mesma métrica é exibida nas Figuras 3.4 e 3.5, todavia, considerando um único dia, nesse caso, uma quarta-feira. Percebe-se nos gráficos das Figuras 3.4 e 3.5 que a razão entre o menor e o maior número de sessões residenciais simultaneamente ativas é maior que a mesma razão das ses-

sões SOHO. Ou seja, os usuários SOHO concentram suas atividades durante o dia, vide Figura 3.5, e de segunda a sexta-feira, vide Figura 3.3. Por outro lado, de acordo com as Figuras 3.2 e 3.4, nota-se que a queda da quantidade de sessões residenciais simultaneamente ativas durante a noite e em finais de semana não é tão significativa se comparada com a simultaneidade das sessões dos usuários SOHO. Tal fato mostra a continuidade do uso dos recursos do ISP de banda larga por parte dos usuários classificados como residenciais.

Em média, os usuários residenciais realizam 1,62 sessões por dia enquanto os usuários SOHO realizam 1,28 sessões. Isto indica que as sessões dos usuários residenciais são finalizadas por eles ou por tempo de inatividade (*timeout*) mais vezes durante um dia típico. Em média, as sessões dos usuários residenciais duram aproximadamente 9,8 horas, trafegam 46 MB de dados no sentido do usuário que por sua vez envia, em média, 20 MB. As sessões dos usuários SOHO são mais extensas e tais usuários trafegam mais dados. Em média, os usuários SOHO permanecem conectados por aproximadamente 13 horas, recebem 70 MB e enviam 18 MB de dados.

Nota-se uma alta variabilidade (alto coeficiente de variação – CV) no número de sessões bem como no número de *bytes* transferidos nas sessões de usuários residenciais e SOHO. Isto indica a existência de heterogeneidade dentro das sessões dos usuários de uma mesma categoria (residencial ou SOHO).

3.2.2 Características das sessões

Esta seção analisa os três primeiros critérios propostos na metodologia de caracterização de comportamento de usuários de Internet de banda larga:

1. identificação do processo de chegada das sessões;
2. identificação da duração das sessões;
3. contabilização da quantidade de *bytes* transferidos dentro das sessões.

3.2.2.1 Identificação do processo de chegada de sessões

Esta subseção caracteriza o processo de chegada de sessões dos usuários na infra-estrutura do ISP durante períodos com taxas de chegada com certa estabilidade para evitar erros de análise devido à agregação de dados. Um grande número de períodos estáveis foram selecionados de tal forma a cobrir diferentes horas do dia, em diferentes dias da semana, incluindo os finais de semana.

Os tempos entre chegadas das sessões dos usuários são exponencialmente distribuídos tanto para os usuários residenciais quanto para os usuários SOHO em períodos com taxa de chegada estáveis. A Tabela 3.2 apresenta as faixas de média e os coeficientes de variação (CV) dos tempos entre chegadas de sessões dos usuários, bem como as faixas de valores do parâmetro λ (taxa de chegada de sessões) das distribuições de probabilidade que mais se aproximam, para todos os períodos analisados, das distribuições de cada categoria de usuários (residencial e SOHO). As Figuras 3.6 e 3.7 apresentam as distribuições de ambas as categorias. Esses resultados estão coerentes com outras análises de processo de chegada de sessões existentes na literatura (Floyd e Paxson, 2001; Veloso et al., 2006).

| Categoria | Tempos entre chegada de sessões | | Parâmetro λ (lambda) |
|-------------|---------------------------------|-------------|---------------------------------|
| | Média (seg) | CV | |
| Residencial | 4.81 – 10.20 | 1.02 – 1.05 | 0.10 – 0.21 |
| SOHO | 4.63 – 42.19 | 0.98 – 0.99 | 0.02 – 0.22 |

$$\text{Exponencial (PDF): } p_X(x) = \lambda e^{-\lambda x}$$

Tabela 3.2: Síntese das distribuições de tempos entre chegadas de sessões.

O intervalo de valores observado para os usuários residenciais indica que as sessões desses usuários são iniciadas muito frequentemente durante as mais variadas horas da semana (uma sessão entre 4 e 10 segundos, em média). Já os usuários SOHO usualmente iniciam suas respectivas sessões durante o horário de trabalho (como discutido na seção anterior). Sendo assim, pode-se apontar que o padrão de acesso diário com picos no meio dos dias da semana útil (segunda a sexta-feira), apontado por Floyd e Paxson (2001), é mais característico para os usuários SOHO.

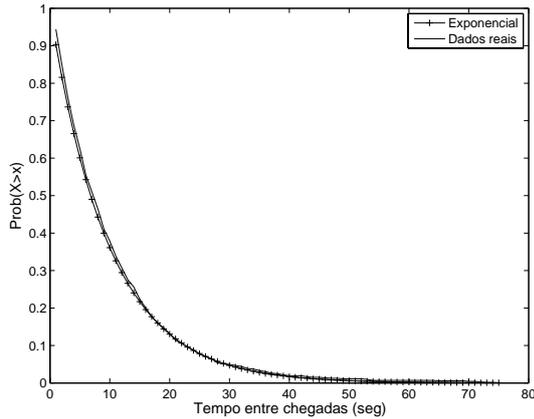


Figura 3.6: Distribuição do tempo de chegada entre sessões residenciais.

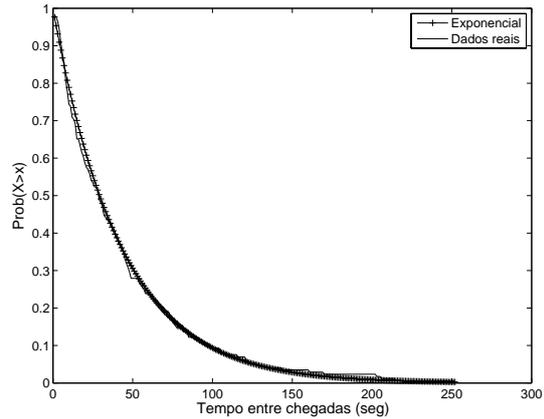


Figura 3.7: Distribuição do tempo de chegada entre sessões SOHO.

3.2.2.2 Identificação da duração das sessões

Para cada uma das categorias (residencial e SOHO), a distribuição das durações de todas as sessões iniciadas em um determinado dia foram caracterizadas separadamente em vários dias dos logs analisados. A Tabela 3.3 sintetiza os resultados encontrados. Observa-se que, em média, os usuários residenciais permanecem conectados entre 5 e 13 horas, enquanto os usuários SOHO criam sessões com duração entre 7 e 19 horas.

| Categoria | Média (horas) | CV | Parâmetros LogNormal | | Parâmetros Pareto | |
|-------------|---------------|-------------|----------------------|-------------|-------------------|-------------|
| | | | μ | σ | k | α |
| Residencial | 4.71 - 13.09 | 1.75 - 2.47 | 0.48 - 1.86 | 1.18 - 1.52 | - | - |
| SOHO | 6.95 - 19.21 | 1.53 - 1.62 | 1.04 - 2.30 | 0.92 - 1.45 | 1.82 - 7.18 | 1.28 - 1.95 |

Lognormal (PDF): $p_X(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ Pareto (PDF): $p_X(x) = \frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}}$, where $x \geq k$.

Tabela 3.3: Síntese das distribuições das durações das sessões em horas.

A duração das sessões dos usuários residenciais, tanto no corpo quanto na cauda dos dados medidos, se aproxima bastante de uma distribuição do tipo Lognormal, como pode ser observado no gráfico de um dia típico apresentado na Figura 3.8. Isto é coerente com os resultados apresentados por Floyd e Paxson (2001) e Veloso et al. (2006).

Em contraste aos resultados encontrados para os usuários residenciais, a duração das sessões dos usuários SOHO é melhor modelada com a combinação da distribuição Lognormal

para o corpo da curva e a distribuição de Pareto para a cauda. Como ilustrado na Figura 3.9, o ponto de troca de uma distribuição para outra ocorre por volta de 12 horas.

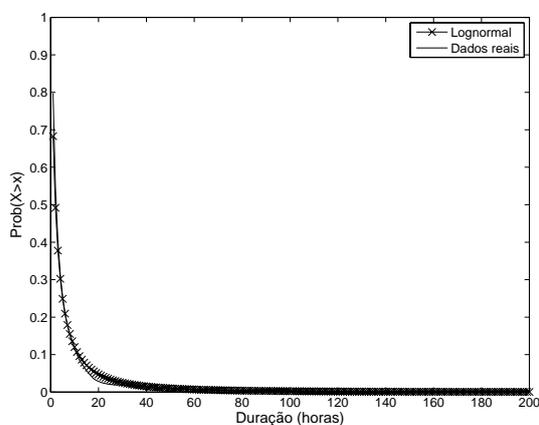


Figura 3.8: Distribuição da duração das sessões dos usuários residenciais em horas.

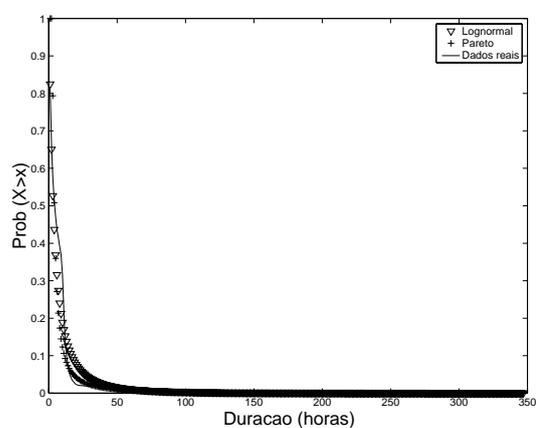


Figura 3.9: Distribuição da duração das sessões dos usuários SOHO em horas.

3.2.2.3 Contabilização quantidade de *bytes* transferidos dentro das sessões

Esta seção caracteriza o total de *bytes* de chegada e de saída de cada sessão de usuário. Como nas seções anteriores, a análise foi realizada para diferentes dias separadamente e para cada categoria de usuários (residencial e SOHO). A Tabela 3.4 sintetiza os resultados encontrados. As Figuras 3.10, 3.11, 3.12 e 3.13 apresentam as distribuições do tráfego de dados de entrada e de saída das sessões de ambas as categorias de usuários de Internet de banda larga. Todas as distribuições são bem modeladas com uma distribuição Lognormal. Os resultados confirmam outros apresentados em Arlitt et al. (1999), Barford et al. (1999) e Floyd e Paxson (2001).

| Categoria | Métrica | Bytes transferidos | | Parâmetros Lognormal | |
|-------------|---------|--------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | | Média(MB) | CV | μ | σ |
| Residencial | Chegada | 28 - 44 | 3.95 - 4.63 | 1.76 - 2.46 | 1.62 - 1.83 |
| SOHO | Chegada | 47 - 80 | 3.31 - 3.40 | 2.39 - 3.27 | 1.47 - 1.70 |
| Residencial | Saída | 10 - 16 | 6.82 - 8.27 | 0.31 - 1.09 | 1.84 - 2.09 |
| SOHO | Saída | 9 - 23 | 2.98 - 6.82 | 0.41 - 1.31 | 1.51 - 2.09 |

Tabela 3.4: Síntese das distribuições do tráfego de dados das sessões em *bytes*.

Comparando os resultados das duas categorias, residencial e SOHO, percebe-se que os usuários SOHO transferem um grande volume de dados, muito provavelmente devido às longas durações das sessões. Além disso, observa-se que a razão entre a média dos dados de entrada sobre os dados de saída não é muito alta, ficando na faixa de 3 a 5. Esses resultados sinalizam a utilização de sistemas par-a-par (*peer-to-peer*) onde há transferência de um grande volume de dados tanto de entrada quanto de saída, sejam nas longas sessões SOHO ou nas várias sessões residenciais.

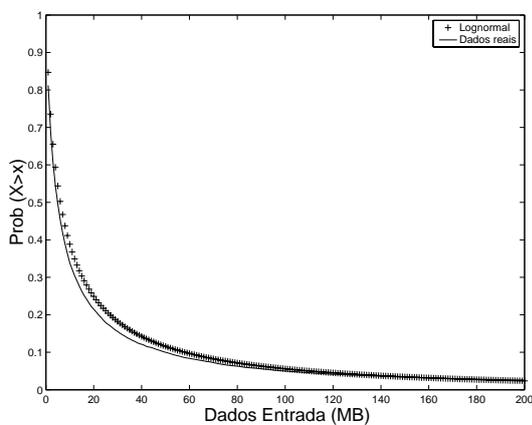


Figura 3.10: Distribuição do tráfego de dados de *entrada* das sessões dos usuários residenciais em *megabytes*.

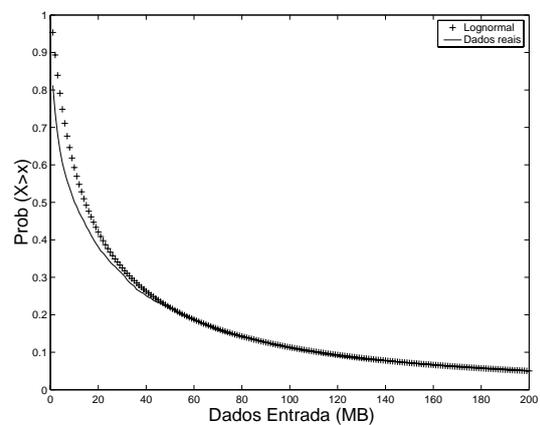


Figura 3.11: Distribuição do tráfego de dados de *entrada* das sessões dos usuários SOHO em *megabytes*.

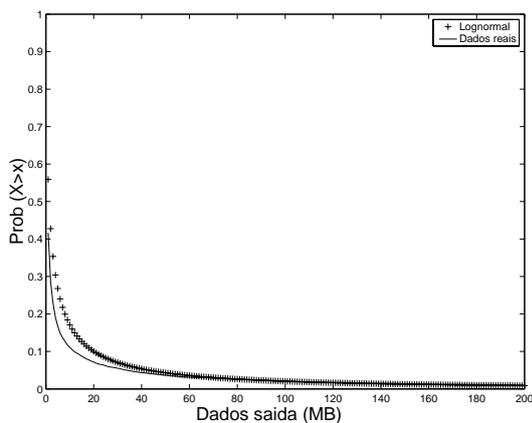


Figura 3.12: Distribuição do tráfego de dados de *saída* das sessões dos usuários residenciais em *megabytes*.

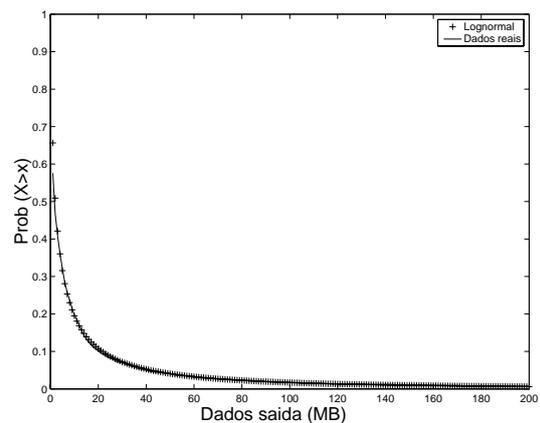


Figura 3.13: Distribuição do tráfego de dados de *saída* das sessões dos usuários SOHO em *megabytes*.

3.2.3 Padrão de requisição dos usuários (*User Request Pattern*)

Nesta seção é realizada a análise do quarto e último critério proposto na metodologia de caracterização de comportamento de usuários de Internet de banda larga. Este critério, denominado padrão de requisição dos usuários (*user request pattern*), é observado nas sessões de ambas as categorias: residencial e SOHO. O foco dessa análise são os serviços Internet, como por exemplo HTTP, POP3 e P2P, requisitados pelos usuários.

3.2.3.1 Popularidade dos serviços requisitados

Inicialmente observa-se a popularidade dos diferentes serviços nas sessões das duas categorias de usuários. A popularidade de um serviço é calculada a partir da porcentagem de sessões que incluem pelo menos uma requisição de uma conexão TCP ou UDP em uma porta que identifica o serviço (porta 80 identifica o serviço HTTP).

As Figuras 3.14 e 3.15 apresentam a popularidade dos diferentes serviços nas sessões dos usuários residenciais e SOHO. O serviço HTTP está presente em 95% de todas as sessões de ambas as categorias de usuários (residencial e SOHO). Contudo, e-mail (POP3 e SMTP), bem como aplicações interativas tais como *Instant Messenger* e ICQ também são populares entre os usuários das duas categorias. Também é importante destacar a fração significativa de sessões que incluem requisições de serviços P2P (*peer-to-peer*), tais como o Kazaa (Kazaa, 2006). Em particular, cerca de 23% das sessões residenciais e 12% das sessões SOHO contêm requisições endereçadas para serviços P2P, apontando o crescimento da popularidade desse tipo de aplicação entre os usuários de Internet de banda larga, como previamente discutido por Hamada et al. (2004) e Lakshminarayanan et al. (2004). A próxima subseção caracteriza os padrões dos serviços de Internet requisitados dentro das sessões dos usuários.

3.2.3.2 Padrão de requisição de serviços

O padrão de requisição de serviços é caracterizado nos termos da frequência de requisições de cada serviço e da frequência com que o usuário alterna o uso entre serviços em uma mesma sessão. A seqüência de requisições de serviços de cada sessão de usuário é represen-

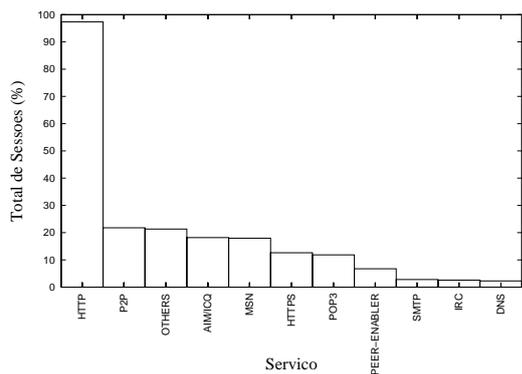


Figura 3.14: Popularidade dos serviços nas sessões dos usuários residenciais.

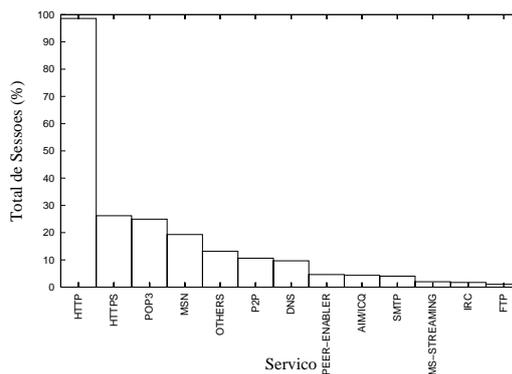


Figura 3.15: Popularidade dos serviços nas sessões dos usuários SOHO.

tada por um CBMG, como descrito na Seção 3.1. Para encontrar os padrões de requisição de serviços mais representativos por sessão, técnicas básicas de agrupamento são utilizadas.

| | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 |
|-----------------------------------|---|------------------------|--|-----------------------|
| Serviços requisitados nas sessões | HTTP(43%) P2P(24%) MS-DS(19%) EPMAP(14%) | HTTP(97%) HTTPS(3%) | HTTP(73%) MSN(18%) ICQ(6%) POP3(3%) | P2P(68%) HTTP(32%) |
| Total # sessões (%) | 3.249 (4%) | 51.606 (66%) | 9.797 (13%) | 10.640 (14%) |
| Total # bytes de chegada (GB) (%) | 214 (7%) | 1.436 (47%) | 361 (12%) | 806 (26%) |
| Total # bytes de saída (GB) (%) | 75 (6,5%) | 451,6(39%) | 111 (10%) | 405 (35%) |
| Média (CV) duração (horas) | 9,01 (2,16) | 6,06 (2,61) | 8,13 (2,48) | 10,43 (2,24) |
| Média (CV) bytes de chegada (MB) | 65,88 (3,76) | 27,82 (5,09) | 36,80 (4,37) | 75,79 (3,69) |
| Média (CV) bytes de saída (MB) | 23,14 (4,89) | 8,75 (10,33) | 11,29 (8,18) | 38,06 (4,99) |

Tabela 3.5: Síntese das classes de padrões de requisição de usuários residenciais.

| | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 | Classe 5 |
|-----------------------------------|---|------------------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------|
| Serviços requisitados nas sessões | HTTP(77%) POP3(13%) P2P(6%) SMTP(4%) | HTTP(96%) HTTPS(3%) POP3(1%) | HTTP(60%) MSN(34%) POP3(4%) | HTTP(56%) DNS(22%) HTTPS(18%) POP3(4%) | P2P(64%) HTTP(36%) |
| Total # sessões (%) | 1.644 (7%) | 16.010 (67%) | 2.458 (10%) | 1.603 (7%) | 1.572 (7%) |
| Total # bytes de chegada (GB) (%) | 162,8 (12%) | 573,6 (44%) | 199,3 (15%) | 122,7 (9%) | 235,7 (18%) |
| Total # bytes de saída (GB) (%) | 36,9 (11%) | 134,2 (38%) | 35,3 (10%) | 39,1 (11%) | 101,4 (29%) |
| Média (CV) duração (horas) | 12,23 (2,07) | 7,89 (2,53) | 11,99 (1,50) | 11,40 (3,51) | 14,82 (1,98) |
| Média (CV) bytes de chegada (MB) | 99,03 (2,60) | 35,83 (3,60) | 81,08 (2,70) | 76,56 (3,26) | 149,92 (2,58) |
| Média (CV) bytes de saída (MB) | 22,44 (4,81) | 8,38 (11,35) | 14,37 (3,02) | 24,37 (6,85) | 64,5 (3,91) |

Tabela 3.6: Síntese das principais classes de padrões de requisição de usuários SOHO.

A caracterização realizada com base nos logs reais do provedor de Internet de banda larga apresenta, para cada categoria de usuário, 6 (seis) classes de padrões de requisição de serviços significativamente diferentes. As Tabelas 3.5 e 3.6 sintetizam os dados de cada classe. Para facilitar a análise dos dados, duas classes de usuários residenciais e uma classe

de usuário SOHO estão omitidas, pois, em conjunto não representam 3% de todas as sessões de cada categoria.

Dentro de ambas as categorias de usuários, residencial e SOHO, as classes de sessões podem ser agrupadas em duas “super-classes”. A primeira delas representa as sessões nas quais há predominância de requisições HTTP, mas, também inclui requisições de outros serviços tais como *e-mail*, *Instant Messenger*, ICQ e serviços P2P. Este grupo contém as classes 1, 2 e 3 da categoria de usuários residenciais e as classes 1, 2, 3 e 4 da categoria de usuários SOHO. Comparado com as sessões com dominância absoluta de requisições HTTP (classe 2 em ambas as categorias), o uso do *e-mail* e aplicações de comunicação *on-line* (classe 3 em ambas as categorias) aumenta significativamente a média da duração das sessões e também a média do tráfego de dados de entrada e saída. Isto demonstra o potencial da Internet enquanto um meio de comunicação e criação de redes de relacionamento. As sessões que incluem algumas requisições de serviços P2P (classe 1 em ambas as categorias) também são mais longas e impõem uma maior carga de trabalho que as sessões com predominância das requisições HTTP.

Na segunda “super-classe” (classe 4 da categoria residencial e classe 5 da categoria SOHO) há predominância de requisições P2P. A principal diferença entre esta “super-classe” e a primeira que possui as sessões com predominância de HTTP está no tamanho das sessões e na quantidade de *bytes* transferidos. As sessões tipicamente P2P têm longa duração e transferem um grande volume de dados em ambas as direções (entrada e saída).

A diminuição dos coeficientes de variação para a duração das sessões e também para o número de *bytes* de entrada e de saída de cada classe comparado com as variações observadas nos dados agregados apresentados na Tabela 3.1 deve ser destacada. Tal fato, indica que a categorização dos usuários com base nos padrões de requisição é uma estratégia mais eficiente para análise da qualidade de serviço prestada pelo ISP do que simplesmente o uso de dados gerais do banco de dados de usuários.

As Figuras 3.16 a 3.24 exibem os CBMGs das classes dos padrões de requisição tanto para as sessões de usuários residenciais (Figuras 3.16 a 3.19) quanto para sessões de usuá-

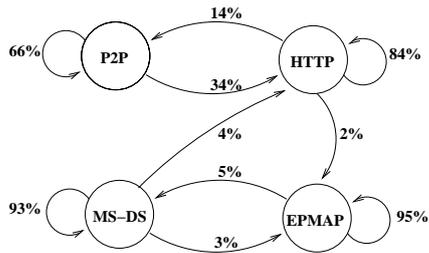


Figura 3.16: Classe 1 dos usuários residenciais.

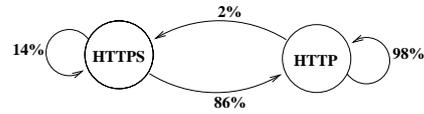


Figura 3.17: Classe 2 dos usuários residenciais.

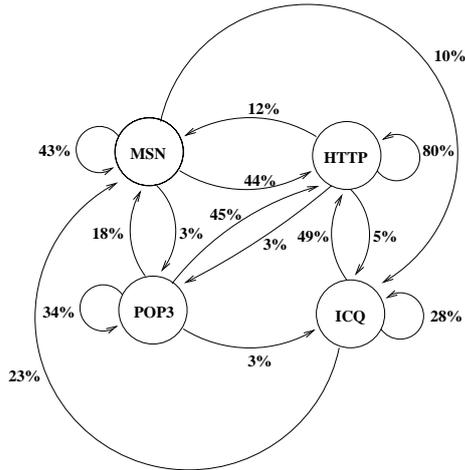


Figura 3.18: Classe 3 dos usuários residenciais.

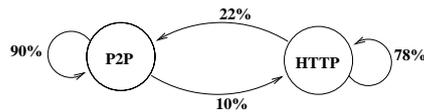


Figura 3.19: Classe 4 dos usuários residenciais.

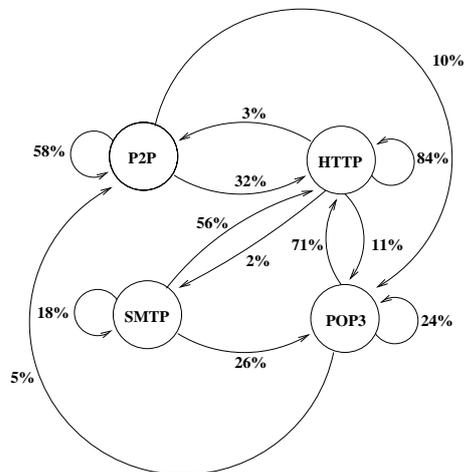


Figura 3.20: Classe 1 dos usuários SOHO.

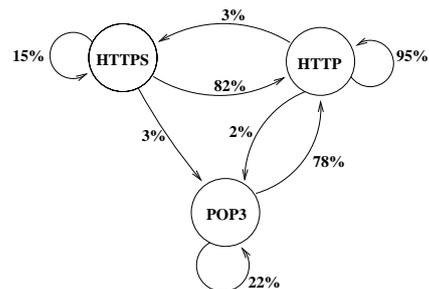


Figura 3.21: Classe 2 dos usuários SOHO.

rios SOHO (Figuras 3.20 a 3.24). Como exemplo, a Figura 3.18 mostra que os usuários residenciais da classe 3 requisitando serviços HTTP passarão a requisitar serviços POP3 com probabilidade 0,03, requisitarão serviços relacionados ao ICQ com probabilidade 0,05, começarão a utilizar o MSN com probabilidade 0,12 e permanecerão requisitando serviços

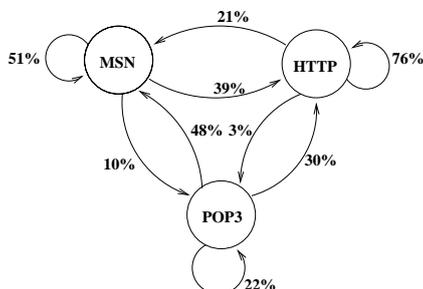


Figura 3.22: Classe 3 dos usuários SOHO.

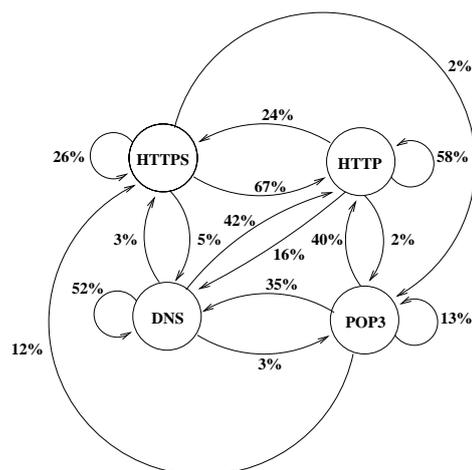


Figura 3.23: Classe 4 dos usuários SOHO.

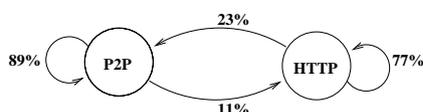


Figura 3.24: Classe 5 dos usuários SOHO.

HTTP com probabilidade 0,80. Nota-se que, em cada classe, para cada categoria de usuários, as auto-transições ocorrem com alta probabilidade, ou seja, os usuários tendem a requisitar o mesmo tipo de serviço repetidamente por um intervalo de tempo.

3.3 Conclusões

Este capítulo apresentou uma metodologia de caracterização de comportamento de usuários de Internet de banda larga e sua respectiva aplicação com dados reais de um provedor de acesso. As fontes de dados utilizadas para caracterização são os *logs* de autenticação, o banco de dados dos usuários do ISP e os *logs* com o tráfego de dados gerado pelos usuários durante um determinado período de coleta. A metodologia propõe a caracterização das sessões dos usuários, bem como das requisições realizadas, tanto por parte dos usuários residenciais quanto pelos usuários de pequenas e médias empresas (SOHO – *Small Office / Home Office*).

A caracterização realizada com base na metodologia proposta mostrou que (i) os tempos entre chegada das sessões dos usuários são exponencialmente distribuídos; (ii) a duração das sessões dos usuários residenciais é bem modelada com uma distribuição do tipo Lognormal,

enquanto a combinação de distribuições Lognormal e Pareto modelam melhor a duração das sessões SOHO; (iii) para ambas as categorias de usuários (residencial e SOHO) o tráfego de dados de chegada e de saída podem ser modelados com uma distribuição Lognormal; e (iv) o uso de um grafo de transição de estado, mais especificamente o CBMG (*Customer Behavior Model Graph*), é uma ferramenta útil para representação dos diferentes padrões de requisição de serviços de Internet por parte dos usuários de Internet de banda larga.

Os diferentes padrões de requisição de serviços (*user request pattern*) identificados apontam uma necessidade de diferenciação do preço do serviço de acesso à Internet de banda larga. Grupos de usuários que utilizam os serviços do ISP de banda larga para navegar na *Web* e se comunicar não deveriam pagar o mesmo valor pela mesma classe de assinatura que grupos de usuários que utilizam a rede para fazer *download* e *upload* de arquivos por longos períodos a partir do uso de sistemas P2P. O grupo de usuários que mais utiliza os sistemas P2P transferem muitos *bytes* por longos períodos e por isso consomem mais recursos do ISP. Se o mesmo preço pelo acesso à Internet com uma limitação de transmissão máxima é cobrado de dois grupos que impõem cargas de trabalho diferenciadas, o grupo que utiliza menos recursos subsidia o outro grupo. A caracterização do comportamento de usuários cria condições para os ISPs de banda larga aprimorarem o gerenciamento da sua infra-estrutura tecnológica e o planejamento da prestação do serviço de acesso à Internet, por exemplo, através da diferenciação de preço baseada no comportamento do usuário ao longo do tempo.

Capítulo 4

Precificação de tráfego de Internet de banda larga

Para cumprirem os acordos de níveis de serviço estabelecidos com os seus respectivos clientes (SLA – *Service Level Agreement*), os ISPs precisam gerenciar o uso dos recursos utilizados para acesso a Internet. A saturação de tais recursos implicaria em novos investimentos sem um retorno garantido, pois, parte dos novos recursos já poderia ser utilizado de imediato para atender uma demanda reprimida e desconhecida. Os recursos advindos da infraestrutura tecnológica dos provedores são finitos e precisam ser utilizados racionalmente para garantir a prestação de um serviço de qualidade. Portanto, a precificação de grupos de usuários com o padrões de comportamento diferentes, como aqueles apresentados no Seção 3.2.3, poderia ser diferenciada para se tornar mais justa.

Este capítulo propõe um esquema de precificação de tráfego de Internet de banda larga (BPS – *Broadband Pricing Scheme*) capaz de auxiliar um provedor de acesso tanto no gerenciamento da sua infra-estrutura quanto no planejamento da capacidade de recursos necessários para alcançar seus objetivos. Além disso, do ponto de vista de que quem consome mais recursos deve pagar mais por este comportamento, o BPS é mais justo que o esquema de precificação com tarifa plana (*Flat Rate Pricing Scheme*), principalmente, porque períodos tipicamente de alta demanda, como o final da manhã de dias comerciais (Cho et al., 2006), têm um preço de uso superior ao preço para utilização dos recursos do ISP em momentos ti-

picamente de ociosidade do *backbone* do provedor, como por exemplo na madrugada. Dessa forma, o BPS incentiva o uso de aplicações que impõem uma grande carga de trabalho no *backbone* do provedor em períodos de baixa demanda de recursos do ISP, promovendo uma re-distribuição da carga de trabalho ao longo do dia.

Além de serem aplicados no uso da metodologia de caracterização proposta na Seção 3.1, os dados reais do ISP também indicam que a cobrança única para todos os usuários de uma mesma classe de assinatura pode não ser justa sob o ponto de vista dos usuários. Entre aproximadamente 78.000 sessões de usuários residenciais analisadas na Seção 3.1, 66% são sessões com 97% de requisições HTTP (Classe 2) e 14% contém 68% de sistemas P2P (Classe 4) – vide Tabela 3.5.

Re-analisando os *logs* utilizados na caracterização do comportamento dos usuários de Internet de banda larga, nota-se que 92% de todos os usuários residenciais criaram sessões tipicamente Web (Classe 2) e 51% criaram sessões caracterizadas pelo uso de sistemas P2P (Classe 4). Mesmo pagando uma tarifa mensal plana, 49% não utilizam serviços de aplicações par-a-par, ou seja, não foram agrupados na Classe 4 detalhada na Tabela 3.5 da Seção 3.1. Ressalta-se que as sessões da Classe 4 (14% das sessões analisadas) são responsáveis por 26% do tráfego de entrada e 35% do tráfego de saída do ISP. Além disso, essas sessões, onde há predominância do uso de sistemas P2P (Classe 4), são 1,7 vezes maiores (em horas), recebem 2,7 e enviam 4,4 vezes mais *bytes* que as sessões da Classe 2. Sendo assim, do ponto de vista de que quem consome mais recursos deve pagar mais, não é justo cobrar o mesmo valor dos usuários que criam sessões P2P do valor cobrado dos usuários que não utilizam este tipo de serviço.

Ainda analisando os dados reais do provedor de acesso a Internet de banda larga, percebe-se que 90% dos usuários optam pelas classes de assinatura que possuem o menor preço e, conseqüentemente, possuem os menores valores de transmissão máxima de dados. Os usuários de Internet de banda larga, mais especificamente os clientes residenciais de um provedor de acesso, desejam pagar o mínimo possível para utilizar os recursos do provedor, de preferência sem filtros ou limitações de acesso. O valor que um cliente do ISP está disposto a

pagar pelo uso da Internet, o que Varian (2006) denomina *preço de reserva*, está diretamente relacionado com a qualidade do serviço percebido por ele. O desejo de pagar (*Willingness to pay* – WTP) do usuário de Internet é diretamente proporcional à quantidade de banda disponível e à diferença de qualidade percebida a partir do uso do serviço contratado (Kamoto e Ayashi, 2002; Yamori e Tanaka, 2004). Ao utilizar as suas aplicações através dos recursos contratados junto ao provedor de acesso, o usuário pode aumentar o seu WTP em busca de uma melhor qualidade de serviço. Entretanto, atraso da entrega de requisições e indisponibilidades do acesso podem deixar esse mesmo usuário insatisfeito com o ISP, conduzindo-o a uma rescisão de contrato, principalmente, se perceber que a qualidade do serviço contratado não é compatível com o preço que está pagando para acessar a Internet de banda larga.

Um esquema de precificação justo, no qual os usuários são cobrados de acordo com o seu comportamento, poderia evitar o desperdício de recursos e, conseqüentemente, aumentar o faturamento do ISP, bem como a difusão da Internet de banda larga. Além disso, os usuários poderiam obter benefícios configurando algumas de suas aplicações para aumentar suas respectivas taxas de transmissão de dados para períodos tipicamente de baixa demanda dos recursos do provedor, como por exemplo, na madrugada. Normalmente, durante a madrugada, a navegação em busca de informações, o envio/recebimento de mensagens eletrônicas, bem como a troca de mensagens instantâneas não são utilizados intensamente, pois, requerem a interação humana.

No BPS, os usuários do ISP recebem uma verba (*budget*) proporcional a sua classe de assinatura para utilizar o *backbone* do provedor. As aplicações adaptativas do usuário são configuradas para ajustarem sua taxa de transmissão de dados com base no (i) *budget* do usuário disponível para viabilizar o uso da Internet por um determinado período de tempo, (ii) na estimativa de uso até o próximo instante em que o usuário receberá mais verba para usar a Internet e (iii) no preço de uso da Internet em cada hora do dia calculado pelo ISP com base no histórico de utilização do seu *backbone*. Os usuários que desejam aumentar os seus benefícios, usando a maior quantidade de banda e gastando o mínimo possível do seu *budget*, evitariam desperdício de recursos e teriam incentivos para configurar a utilização das

suas aplicações adaptativas em períodos historicamente de baixa demanda do *backbone* do provedor.

O restante deste capítulo descreve, na seção 4.1, o esquema de precificação de Internet de banda larga proposto (BPS – *Broadband Pricing Scheme*) e compara, na seção 4.2, esse esquema com os esquemas de precificação apresentados nas seções 2.4.1 a 2.4.3.

4.1 Descrição do esquema de precificação

O esquema de precificação de Internet de banda larga BPS foi projetado com o propósito de promover um uso justo da Internet de banda larga residencial e, conseqüentemente, criar condições para o crescimento do índice de penetração dessa tecnologia. Este esquema pode auxiliar o provedor de acesso no controle de seus recursos, pois, possibilita uma predição mais acurada do comportamento de seus usuários o que, conseqüentemente, permita o ISP realizar de uma maneira mais eficiente o gerenciamento de sua capacidade, bem como o planejamento de suas atividades enquanto prestador de serviços. A construção do BPS foi motivada pela análise dos resultados obtidos com o uso da metodologia de caracterização proposta no Capítulo 3 e também inspirada no trabalho de Wang e Schulzrinne (2006), que propõem um esquema para precificação de recursos de rede para aplicações adaptativas, tais como os sistemas par-a-par (P2P). Todavia, ao contrário desse trabalho, o BPS propõe a precificação diferenciada para cada hora do dia (*pricing time-of-day*), considera períodos para recarga do *budget* dos usuários e, além disso, estimula o ajuste do consumo com base no preço de uso do *backbone* do ISP, no valor do *budget* do usuário e na estimativa de *budget* necessário para o usuário utilizar a Internet até o final de intervalo de tempo onde ocorre a recarga dos *budgets*. O uso do BPS pode promover a redistribuição da carga de trabalho ao longo do dia, o que minimizaria os períodos de sobrecarga de trabalho da rede. A Figura 4.1 exibe a arquitetura do BPS.

Os usuários de Internet de banda larga residencial contratam os serviços de um provedor de acesso escolhendo uma classe de assinatura que tem como principal característica o valor da velocidade máxima que pode ser alcançada pelo usuário, tais como, 1, 2, 4 e 8 Mbps

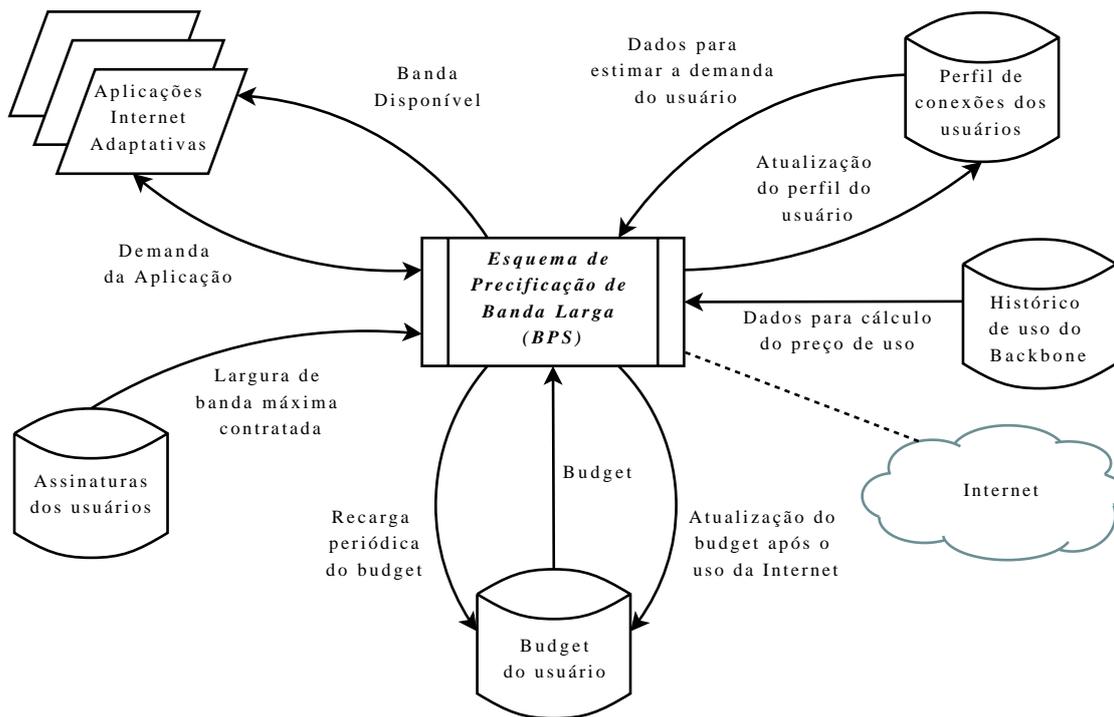


Figura 4.1: Arquitetura do BPS (*Broadband Pricing Scheme*).

(*megabits* por segundo). O banco de dados de assinaturas do ISP é utilizado para calcular o *budget* de cada usuário. Para cada intervalo de tempo T , por exemplo as 24 horas de um dia, cada usuário recebe uma verba proporcional ao seu desejo de consumo, ou seja, o limite de velocidade de acesso à Internet correspondente a sua respectiva classe de assinatura. Caso o usuário i contrate a classe de assinatura de 1 Mbps e o intervalo de tempo entre duas recargas de *budget* seja de 24 horas, a cada dia o usuário i receberá uma verba de aproximadamente 10 GB (*gigabytes*)¹. O preço em cada unidade de tempo $t \in T$, por exemplo uma das 24 horas de um dia, é calculado com base no histórico de uso do *backbone* do provedor. O preço será maior em períodos com sobrecarga de uso, como, por exemplo, no início da noite (entre 19 e 21 horas). Para acessar os serviços de Internet contratado, o usuário deverá gastar parte do seu *budget*, pagando, para cada *byte* transferido, um valor proporcional ao preço da unidade de tempo t na qual ocorreu o uso. Para garantir que o usuário não fique sem “dinheiro” até o fim do intervalo de tempo T , a taxa de transmissão das aplicações adaptativas é configurada com base (i) no *budget* do usuário, (ii) na estimativa de “dinheiro”

¹ 1 Mbps equivale a 86.400 *megabits* em 24 horas.

necessário até a próxima recarga do *budget*, calculada a partir do histórico de conexões e do preço médio pago pelo usuário até o momento, e (iii) no preço divulgado pelo ISP para uso do *backbone* em cada unidade de tempo t . A Tabela 4.1 apresenta os parâmetros utilizados no esquema de precificação BPS que é detalhado nas sub-seções a seguir.

| Parâmetro | Descrição |
|-------------|--|
| B | Capacidade do <i>backbone</i> do ISP (bytes) |
| β_i^t | <i>Budget</i> do usuário i para o intervalo de tempo T |
| d_i^t | Demanda do usuário i em t (bytes) |
| D^t | Total de demanda em t (bytes) |
| δ_i | Estimativa de <i>budget</i> para o usuário i até o final de T |
| H_i | Conjunto com o número de conexões do usuário i |
| Ω | Fração de q_i^t que é garantida pelo ISP |
| p^t | Preço de uso da Internet de banda larga em t |
| P | Conjunto de preços de uso em T |
| q_i^t | Largura de banda contratada pelo usuário i para T |
| m_i | Preço médio pago pelo usuário i |
| μ^t | Média de uso do <i>backbone</i> em unidades de tempo t passadas |
| N | Número de usuários do provedor |
| S | Total de banda contratada por todos os usuários do ISP (bytes) |
| θ^t | Ajusta o preço p^t com base em $tsh1$ e $tsh2$ |
| t | Unidade de tempo, por exemplo, uma hora ou um minuto |
| T | Intervalo de tempo, por exemplo, uma semana ou um dia |
| $tsh1$ | Límiar que caracteriza um sobrecarga de trabalho muito alta do <i>backbone</i> |
| $tsh2$ | Límiar que caracteriza um sobrecarga de trabalho alta do <i>backbone</i> |
| u_i | Função utilidade do usuário i |
| w | Número de unidades do intervalo de tempo T |

Tabela 4.1: Parâmetros utilizados no BPS.

4.1.1 Banco de dados de assinaturas

O banco de dados de assinaturas contém a identificação de cada um dos N usuários do provedor de acesso à Internet de banda larga, bem como a sua respectiva classe de assinatura. Para o funcionamento do BPS, a principal característica da classe de assinatura de um usuário do ISP é o valor da velocidade máxima de transmissão que pode ser alcançada em suas conexões à Internet, pois, o BPS utiliza esse banco de dados para construir e atualizar o banco de dados com os *budgets* dos usuários, o qual será definido a seguir.

Além disso, o banco de dados de assinaturas permite calcular o total de assinaturas do provedor: $S = \sum_{i=1}^N q_i^T$, onde, q_i^T é a velocidade máxima de transmissão da classe de assinatura do usuário i para cada intervalo de tempo T , por exemplo as 24 horas de um dia.

Tal definição pode ser utilizada pelo ISP para estimar a possibilidade de congestionamento do seu *backbone*, sendo que, quanto menor a diferença entre o total de assinaturas S e a capacidade do *backbone*, maior será a possibilidade de congestionamento.

4.1.2 Banco de dados de *budgets*

Periodicamente, em um intervalo de tempo T , cada usuário do provedor recebe uma verba, proporcional à velocidade máxima de transmissão da sua respectiva classe de assinatura, que forma o seu *budget*. O *budget* do usuário é o “dinheiro” que ele possui para pagar pela transmissão de cada *byte* recebido da Internet de banda larga oferecida pelo ISP no intervalo de tempo T . O *budget* de cada usuário é atualizado no banco de dados quando (i) ocorre o uso da Internet por parte desse usuário, (ii) na recarga realizada antes de cada intervalo de tempo T ou (iii) quando esse usuário resolve adquirir mais créditos além daqueles correspondentes a sua classe de assinatura. No BPS, o *budget* só é válido em T , ou seja, antes de uma recarga para um novo intervalo de tempo T , o valor residual é anulado. O acúmulo de *budget* por um período indeterminado aumentaria a possibilidade de congestionamento do *backbone* do provedor, pois, também aumentaria a capacidade de consumo futuro dos usuários. Conseqüentemente, essa situação dificultaria tanto o gerenciamento da capacidade do ISP quanto o planejamento de suas atividades enquanto prestador de serviços.

O *budget* β do usuário i para o intervalo de tempo T é definido por

$$\beta_i^T = q_i^T \Omega \quad (4.1)$$

onde Ω é a fração de q_i^T que será garantida pelo ISP. O valor de Ω depende do total de assinaturas do provedor (S) e do total de banda disponível (B), sendo proporcional a razão entre S e B . Como o ISP não consegue garantir que apenas um grupo de usuários utilizarão a Internet em um determinado momento, ele não pode garantir o uso de toda a banda contratada pelo usuário.

4.1.3 Cálculo do preço de uso

O total da demanda gerada por todos os usuários em uma unidade de tempo t é definida por $D^t = \sum_{i=1}^N d_i^t$, onde d_i^t é a demanda do usuário i em t . O congestionamento do *backbone* do ISP e, conseqüentemente o aumento da perda e do atraso dos pacotes, pode ocorrer quando $D^t \geq B$, onde B é a capacidade do *backbone* em *bytes*. Isto pode acontecer quando o total de assinaturas (S) e a demanda dos usuários que estão utilizando simultaneamente os recursos do provedor de acesso à Internet de banda larga são superiores à capacidade do *backbone* (B) do ISP.

Em um intervalo de tempo T , formado por w sub-intervalos, $\{t_0, t_1, t_2, \dots, t_{w-1}\}$, para cada $t \in T$, como por exemplo para cada hora de um dia, um preço de uso p^t é definido. Cada p^t é proporcional à média de todos os valores de D^t em valores anteriores de t . Por exemplo, se $w = 24$ e t_{11} correspondesse ao período entre 11:00 e 11:59, o valor de p^{11} seria proporcional à média da demanda D^{11} de todos os períodos t_{11} dos dias anteriores, ou seja, a média da carga de trabalho do *backbone* do ISP entre 11:00 e 11:59. Portanto, $p^{t_x} < p^{t_y}$ implica em $D^{t_x} < D^{t_y}$.

O conjunto de preços de uso do *backbone*, $P = \{p^0, p^1, p^2, \dots, p^{w-1}\}$, é calculado e publicado pelo BPS para todos os usuários antes do início de t_0 de cada T . Cada p^t é determinado por

$$p^t = \left(\theta^t + \frac{\mu^t}{B} \right) \quad (4.2)$$

onde, μ^t é a média de uso do *backbone* e θ^t é o parâmetro para ajuste do preço proporcionalmente à carga de trabalho passada. O valor de θ^t , tal que $0 \leq \theta^t \leq 1$, é definido com base em dois limiares de B , $tsh1$ e $tsh2$, que indicam níveis de sobrecarga dos recursos do ISP: (i) sobrecarga de trabalho muito alta que ocorre quando $(\mu^t/B) \geq tsh1$, (ii) sobrecarga de trabalho alta caracterizada quando $tsh2 \leq (\mu^t/B) < tsh1$ e (iii) não há sobrecarga de trabalho em situações onde $(\mu^t/B) < tsh2$. A Figura 4.2 apresenta uma curva de carga de trabalho com a representação dos dois limiares, $tsh1$ e $tsh2$, com os valores 0,9 e 0,7, respectivamente.

Quando a sobrecarga de trabalho é alta, ou seja, $(\mu^t/B) \geq tsh1$, $\theta = 1$ e $1 < p^t \leq 2$. O valor de $\theta = 1 - (\mu^t/B)$ e $p^t = 1$ quando $tsh2 \leq (\mu^t/B) < tsh1$. Por fim, quando não há

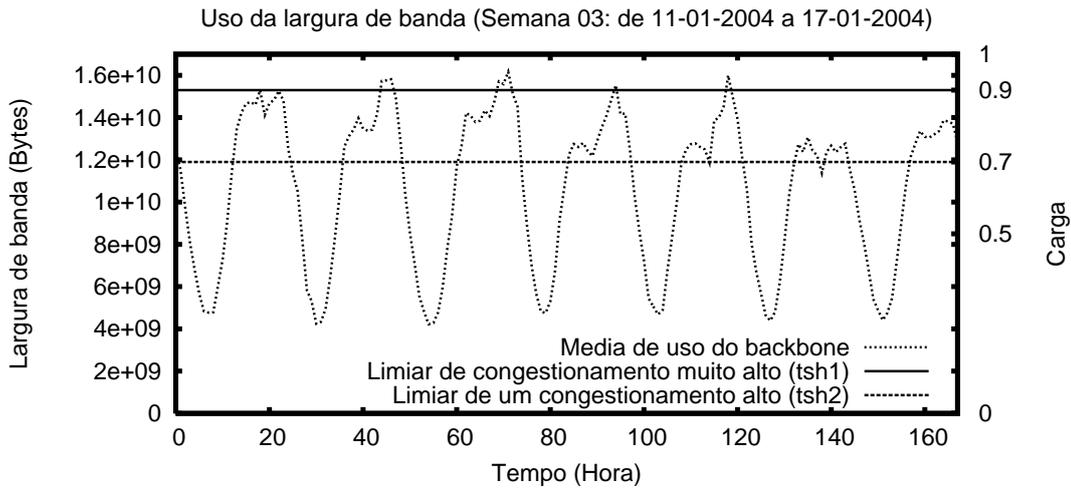


Figura 4.2: Limiões utilizados no cálculo do preço de uso.

sobrecarga de trabalho, $\theta = 0$ e $0 \leq p^t < 1$. O preço p^t é um valor entre zero e dois, ou seja, $0 \leq p^t \leq 2$. Esse valor é utilizado para incrementar ou diminuir a quantidade de *budget* que o usuário precisa gastar para utilizar a Internet em t .

4.1.4 Estimativa de *budget* futuro

Como os *budgets* dos usuários são válidos apenas no intervalo de tempo T , os usuários precisam gastar racionalmente frações do seu respectivo *budget* para não precisarem pagar uma taxa extra com o propósito de incrementar o seu *budget* com mais créditos. No BPS, o *budget* necessário para o usuário i utilizar os recursos do provedor até a próxima recarga é estimado com base no seu histórico de conexões em cada unidade de tempo $t \in T$ (H_i), no preço médio pago (m_i) por ele até o momento t_x e no tempo restante para a próxima recarga de *budget* ($\frac{(w-t_x)}{w}$). O preço médio pago pelo usuário i é a média ponderada dos preços praticados pelo ISP em cada unidade de tempo t , sendo que a quantidade de conexões desse usuário em cada t estabelece a importância relativa do preço. Considerando que w é o número de unidades do intervalo de tempo T , t_x é a unidade de tempo corrente tal que $t_x \in T$ e $(w - t_x)$ é o tempo para a próxima recarga, o *budget* futuro necessário para o usuário i é estimado por

$$\delta_i = \beta_i^T \frac{(w - t_x)}{w} m_i \left(\sum_{k=0}^w H_i^k \right) \quad (4.3)$$

onde, a razão $\frac{(w-t_x)}{w}$ é utilizada para determinar a fração do *budget* β_i^T necessário para que o usuário i utilize os recursos do ISP de banda larga até o final do intervalo de tempo T , caso continue seguindo o seu padrão de conexões determinado pelo preço médio pago (m_i) até o momento t_x e pelo histórico de conexões do usuário (H_i). Ou seja, δ_i é a quantidade de “dinheiro” que o usuário i precisa para utilizar os recursos do provedor de acesso à Internet de banda larga até a próxima recarga de *budget*.

4.1.5 Cobrança do uso da Internet de banda larga

Os usuários precisam utilizar frações do seu *budget* para acessar a Internet de banda larga oferecida pelo provedor de acesso. O custo do uso para o usuário é dado por $p^t d_i^t$, onde, d_i^t é a quantidade de *bytes* recebida por suas aplicações em uma unidade de tempo t . Quando $p^t = 1$, cada *byte* recebido pelo usuário é trocado por uma unidade que compõe o seu *budget*. Se $p^t > 1$, o usuário deverá pagar mais por cada *byte* recebido, e quando $p^t < 1$, o usuário acumula o correspondente a $(1 - p^t) d^t$ unidades de seu *budget*. Levando em consideração que o preço de cada unidade de tempo (p^t) é diretamente proporcional à carga de trabalho do *backbone* do ISP em unidades de tempo t passadas, essa prática de precificação pode incentivar o deslocamento da demanda dos usuários para períodos nos quais, historicamente, há ociosidade de recursos, pois, os preços de uso nestes períodos são menor do que um.

No BPS (*Broadband Pricing Scheme*), o deslocamento da demanda com base no preço de uso dos recursos do provedor é realizado a partir da configuração de aplicações adaptativas do usuário i . As taxas de transmissão de tais aplicações são configuradas com base na “tabela de preços” (P) publicada pelo ISP, no *budget* do usuário i (β_i) e na estimativa de *budget* (δ_i) necessário até o final de T , de tal forma que o usuário i não precise adquirir mais unidades para compor o seu *budget*. Se houver *budget* suficiente para realizar tanto a demanda em t quanto a demanda estimada até a próxima recarga de *budget*, então o *budget* do usuário i é atualizado de tal forma que: $\beta_i \leftarrow \beta_i - p^t d_i^t$. Caso contrário, ou seja, quando não há *budget* suficiente para o uso presente e nem para o uso futuro, d_i^t é ajustada de tal forma que o *budget* do usuário i seja igual à sua estimativa de *budget* futuro. Ou seja, β_i deverá

ser igual a δ_i após a atualização do *budget* do usuário i . Todo esse processo de adaptação das taxas de transmissão das aplicações adaptativas para adequação da demanda em função do *budget* existente e da estimativa de uso futuro é transparente para o usuário, que precisa apenas definir se irá ou não seguir a política de precificação.

4.1.6 Benefícios do usuário de Internet de banda larga

O usuário incrementa sua função utilidade quando utiliza os serviços prestados pelo provedor em períodos de baixa demanda do *backbone*. Nesses períodos o usuário gasta uma fração menor do seu respectivo *budget*, pois, no BPS, o preço de uso da Internet em períodos de baixa demanda é menor que o preço do uso em períodos nos quais o *backbone* do ISP fica, normalmente, sobrecarregado. Sendo assim, a função utilidade do usuário i pode ser definida como

$$u_i = \sum_{t=0}^w (1 - p^t) d_i^t \quad (4.4)$$

Caso a utilização dos recursos advindos do provedor ocorrer quando $0 \leq p^t < 1$, o usuário gastará menos unidades de *budget* na troca pelos *bytes* recebidos e, conseqüentemente, não aumentará o seu custo de acesso à Internet de banda larga. Esse tipo de comportamento do usuário transfere a carga de trabalho dos recursos do provedor de períodos de alta demanda para períodos de baixa demanda. Tal transferência poderá viabilizar o aumento das taxas de transferência das aplicações adaptativas a partir do uso das economias feitas em períodos de alta demanda se o uso ocorrer em períodos nos quais, tipicamente, ocorre ociosidade do *backbone* do ISP.

4.1.7 Benefícios do provedor de Internet de banda larga

No esquema de precificação proposto (BPS), o provedor de acesso à Internet de banda larga pode recuperar seus custos e investimentos, principalmente, através dos valores das assinaturas pagos pelos seus usuários. Os recursos do ISP são estimados, normalmente, com base

na quantidade da largura de banda contratada pelos usuários. A remuneração do ISP no BPS não é menor que a remuneração alcançada com o esquema de precificação de tarifa mensal plana. Contudo, no BPS o provedor pode aumentar a sua remuneração quando os usuários pagam mais para utilizar o seu *backbone* em períodos de alta demanda e ainda oferecer os seus serviços para mais usuários de Internet que estariam utilizando as economias de banda alcançadas com a transferência da carga de trabalho para os períodos de baixa demanda, como por exemplo, as primeiras horas do dia.

O esquema de precificação proposto pode evitar o desperdício de recursos, otimizando o seu uso a partir da distribuição da carga de trabalho do *backbone* ao longo do dia e da criação de um ambiente no qual o ISP possa aumentar racionalmente o seu número de assinantes. Além disso, o provedor poderá ter melhores condições para gerenciar os seus recursos e melhorar continuamente a qualidade do serviço prestado.

4.2 Diferentes arquiteturas de precificação de tráfego

Esta seção compara a arquitetura do BPS (*Broadband Pricing Scheme*) com a arquitetura de outros três esquemas de precificação. O primeiro esquema comparado com o BPS é o esquema de tarifa plana, ou *flat rate pricing*, descrito em Courcoubetis e Weber (2003). O esquema proposto em Odlyzko (1999), conhecido como *Paris Metro Pricing* (PMP), também é comparado com o BPS. A terceira comparação é realizada com um esquema adaptado da proposta apresentada por Wang e Schulzrinne (2006), que, ao invés de simular o comportamento dos usuários como feito em Wang e Schulzrinne (2006), utiliza os mesmos dados dos *logs* reais utilizados nas demais simulações. Esses três esquemas foram detalhados nas seções 2.4.1, 2.4.2 e 2.4.3, respectivamente.

4.2.1 Arquiteturas: BPS e *Flat Rate* (FR)

A principal diferença entre o BPS e o FR é a cobrança baseada no histórico de uso do *backbone* do provedor em determinados intervalos de tempo, por exemplo, em cada hora de um

dia da semana (*time-of-day pricing* (Courcoubetis e Weber, 2003)). Como no FR, os usuários de um ISP, que pratica o esquema de precificação BPS, precisam assinar um plano de acesso cuja característica principal é a velocidade máxima de transmissão. No BPS, os usuários têm um orçamento (*budget*) para acessar a Internet no período contemplado pela assinatura, por exemplo, um mês. O *budget* do usuário é formado por uma verba proporcional à velocidade máxima de transmissão do seu plano e deve ser utilizado na troca pela banda a ser utilizada.

Como o valor do acesso é diferente em cada intervalo de tempo, os usuários do BPS têm incentivos para utilizar racionalmente os recursos do provedor, por exemplo, gastando o seu “dinheiro” em momentos historicamente de baixa demanda e conseqüentemente com preço de uso inferior a períodos com alta sobrecarga de acesso. De acordo com Courcoubetis e Weber (2003), a precificação baseada em horários de uso, e seus respectivos históricos de sobrecarga de trabalho, traz mais benefícios do que do que o serviço de “melhor esforço” (*best-effort*) tanto para os usuários quanto para o provedor de acesso, pois, a diferenciação de preço pode evitar a degradação do desempenho em momentos de alta demanda.

4.2.2 Arquiteturas: BPS e *Paris Metro Pricing* (PMP)

O BPS não utiliza canais lógicos para estabelecer a diferenciação de serviços como o PMP. Todavia, o esquema proposto neste trabalho utiliza preços diferentes para períodos de sobrecarga de trabalho historicamente diferentes. Dessa forma, pode-se incentivar as aplicações adaptativas dos usuários do ISP de banda larga definirem a quantidade do orçamento do usuário que irão gastar para utilizarem os recursos da rede do provedor de acesso. Como no PMP, a precificação diferenciada do BPS pode integrar o conjunto de ferramentas de gerenciamento de tráfego.

4.2.3 Arquiteturas: BPS e *Wang & Schulzrinne Scheme* (WSS)

Ao contrário do WSS, o BPS propõe a precificação diferenciada para cada intervalo de tempo de um dia, por exemplo, um preço para cada hora (*pricing time-of-day*). A atualização do

preço de cada intervalo de tempo também é realizada periodicamente, contudo, considerando o valor histórico da sobrecarga de trabalho da rede do intervalo. No BPS, a precificação é dependente da sobrecarga de trabalho típica de cada intervalo de tempo definido pelo provedor. As classes de serviço propostas no WSS não são utilizadas no BPS devido a dificuldade da oferta e garantia de níveis de serviço diferenciados em um ambiente como a Internet. No BPS, o usuário recebe periodicamente uma verba proporcional à taxa máxima de transmissão do seu plano de acesso para utilizar os recursos do provedor. Dessa forma, não há necessidade de utilização de um mecanismo de apuração dos *bytes* transmitidos (*billing*) para contabilizar o uso dos recursos, pois, cada usuário é responsável por administrar o seu próprio *budget*.

Capítulo 5

Simulação dos esquemas de precificação

Com o propósito de validar o esquema proposto (BPS) e analisar a economia de recursos do ISP, bem com os benefícios alcançados pelos seus usuários, foi construído um simulador determinístico capaz de reproduzir o BPS, o esquema de precificação de tarifa plana (*flat rate pricing*) e outros dois esquemas precificação de serviços de Internet apresentados na literatura: (i) PMP de Odlyzko (1999) e (ii) WSS de Wang e Schulzrinne (2006). A simulação desses esquemas permitiu a comparação dos benefícios dos usuários e da economia de banda gerada para o ISP de cada esquema em um cenário no qual todas as aplicações dos usuários são adaptativas. As simulações foram realizadas com base nos mesmos *logs* de autenticação utilizados no capítulo 3.

5.1 Simulação com dados artificiais

Além de utilizar os dados reais do provedor de acesso à Internet de banda larga, o simulador também é capaz de gerar a carga de trabalho a partir dos parâmetros das distribuições de probabilidade da duração das sessões e da quantidade de *bytes* enviados e recebidos nas sessões dos usuários, também identificadas no Capítulo 3. Como a simulação do uso da largura de banda é realizada para cada entrada do *log* de autenticação, preservando os horários de geração da carga de trabalho, a distribuição que caracteriza o processo de chegada não foi utilizada. Esta seção apresenta a simulação da carga de trabalho de um ISP de banda

larga gerada a partir de distribuições de probabilidade, ou seja, uma simulação com dados artificiais.

A Figura 5.1 apresenta as curvas da carga de trabalho real e das cargas de trabalho simuladas com os parâmetros das Tabelas 3.3 e 3.4. Tais tabelas, apresentam os valores mínimo e máximo para os parâmetros μ e σ das distribuições Lognormal que caracterizam a duração e a quantidade de *bytes* transferidos nas sessões dos usuários. A terceira carga de trabalho simulada – carga de trabalho simulada (Med) – foi gerada a partir da média aritmética dos valores mínimo e máximo dos parâmetros das distribuições.

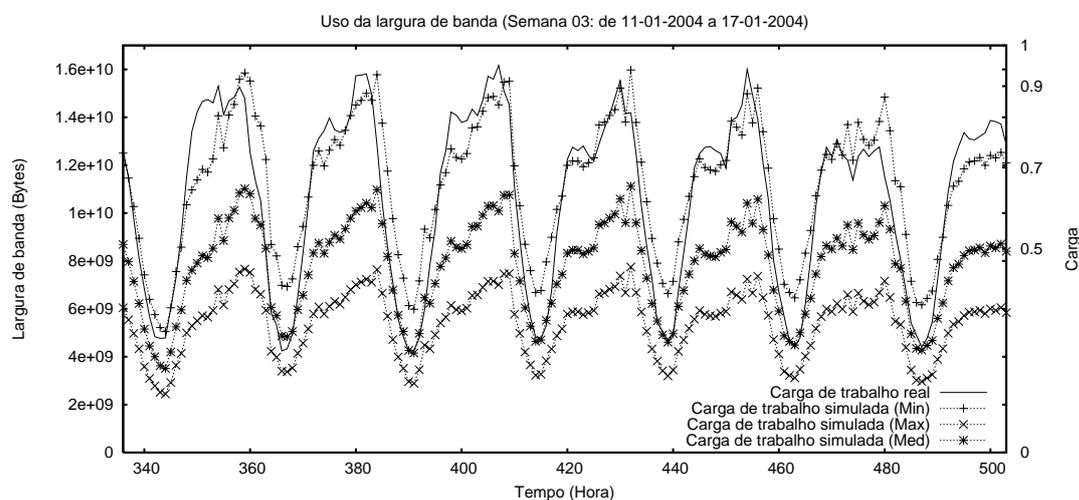


Figura 5.1: Simulação do uso da largura de banda na semana 03.

Percebe-se que a simulação que mais se aproxima do uso real do *backbone* do ISP é a simulação com os valores mínimos (Min) dos parâmetros da distribuição de Lognormal. Isto ocorre tanto por causa dos altos valores dos coeficientes de variação (CV), que indicam uma forte heterogeneidade dos dados, quanto em consequência da relação entre os mínimos e máximos da duração e da quantidade de *bytes* transferidos nas sessões. Neste trabalho, somente serão analisados os resultados gerados pela simulação com dados reais, principalmente, devido à similaridade dos resultados da simulação com dados artificiais. Ressalta-se que os *logs* utilizados contêm uma amostra de quatro semanas de tráfego, o que é considerado suficiente para validação do esquema de precificação proposto.

5.2 Simulação com dados reais

Esta seção apresenta a simulação dos esquemas de precificação analisados realizada com dados dos *logs* de autenticação utilizados na caracterização apresentada no Capítulo 3, ou seja, uma simulação com dados reais. Na simulação do BPS, para cada usuário i do *log* real, o simulador estima o *budget* necessário para o usuário chegar até a próxima recarga de orçamento e verifica o preço (p^t) do uso dos recursos do ISP no intervalo de tempo t . Para cada $t \in T$, o preço p^t é calculado com base no histórico de uso do *backbone* do provedor e nos limiares $tsh1$ e $tsh2$, como explicado na seção 4.1. Se há *budget* suficiente para realização da demanda estimada do usuário i , o *budget* é atualizado e a simulação continua. Se o *budget* não é suficiente para cobrir toda a demanda, somente parte desta é realizada. A parte da demanda que não foi realizada é armazenada para ser realizada após a próxima recarga de orçamento ou quando houver *budget* suficiente. A Figura 5.2 apresenta uma visão geral da simulação do BPS.

A simulação do esquema de precificação de tarifa plana (*Flat Rate Pricing*) é tão simples quanto o próprio esquema. Esta simulação reproduz o padrão de uso diurno e o uso comum da Internet de banda larga. Na simulação do PMP (*Paris Metro Pricing*), para cada entrada do *log* de autenticação, a sobrecarga de trabalho do *backbone* do ISP é verificado. As aplicações dos usuários decidem utilizar o canal *premium* se o uso do *backbone* está acima do segundo limiar $tsh2$ que indica momentos de uma certa sobrecarga de trabalho do *backbone* do provedor. Na simulação do esquema inspirado no trabalho de Wang e Schulzrinne (2006), para cada $t \in T$, o preço de acesso à Internet é composto pelo (i) preço de retenção (*holding price*), utilizado para cobrar a conexão dos usuários, (ii) preço de uso dos serviços do provedor (*usage price*) e (iii) preço de congestionamento (*congestion price*), determinado a partir de um percentual da quantidade total da banda e utilizado para incentivar os usuários escolherem um plano de acesso compatível com sua demanda real. Como a análise não contempla o controle de admissão dos usuários, para o propósito da simulação desse esquema, o preço de retenção foi ajustado para zero. Os demais preços são calculados tais como são apresentados em Wang e Schulzrinne (2006).

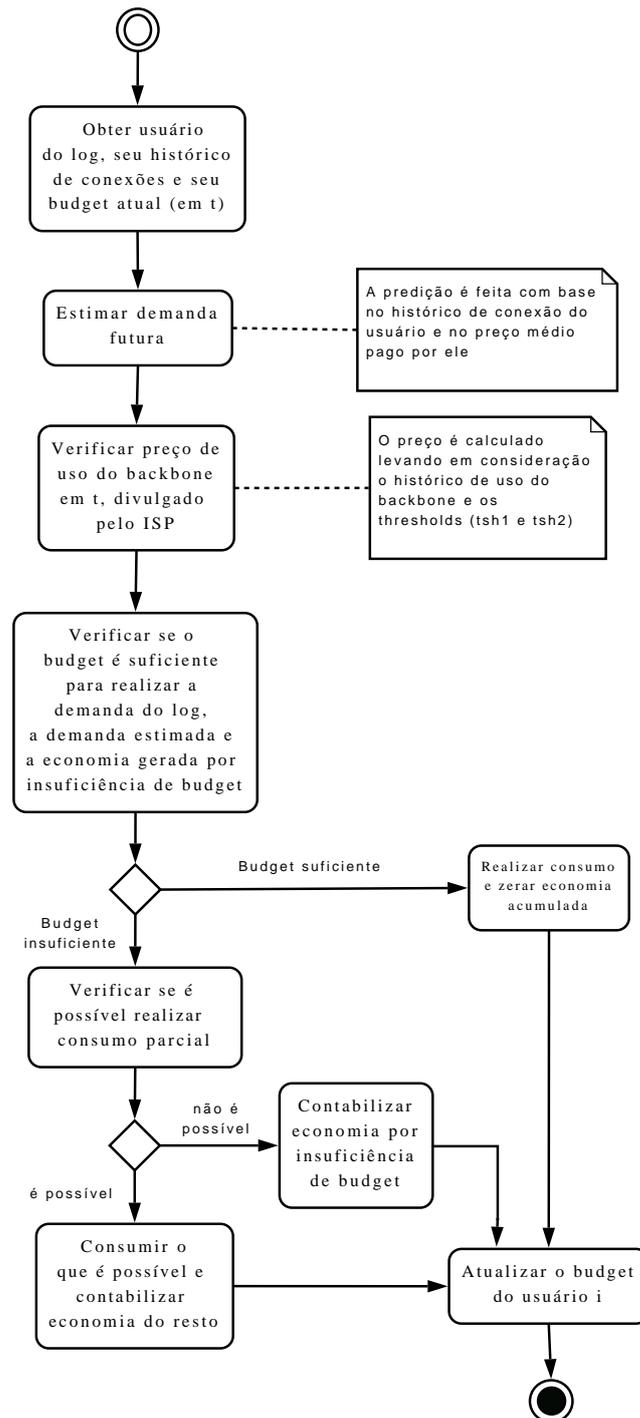


Figura 5.2: Simulação do uso do BPS pelo usuário i em uma unidade de tempo t .

5.3 Análise quantitativa dos resultados das simulações

Os parâmetros do simulador construído são os limiares (*thresholds*) $tsh1$ e $tsh2$, que identificam os níveis de sobrecarga dos recursos do ISP, a fração da banda máxima contratada pelo

usuário que é garantida pelo provedor (Ω), o intervalo entre duas recargas do *budget* (w) dos usuários e classes de assinaturas praticadas pelo ISP. Foram realizadas diversas simulações, variando os valores de $tsh1$ e $tsh2$, de w e de Ω .

No cenário de simulação apresentado neste trabalho, os limiares de sobrecarga de trabalho foram ajustados para $tsh1 = 0,9$ e $tsh2 = 0,7$. Isto significa que períodos passados com média de uso de banda superior a 90% do total da largura de banda do ISP são períodos de alta demanda e, por isso, têm um preço de uso mais elevado no BPS. No PMP, as aplicações dos usuários utilizam a Internet de banda larga através do canal *premium* quando a média da banda é superior a 70% da largura de banda total. Esses dois parâmetros não interferem na simulação WSS. Ainda nesse cenário, $\Omega = 0,15$ e $w = 24$, ou seja, o ISP garante 15% da largura de banda contratada pelos usuários cujos *budgets* são atualizados em intervalos de 24 horas. Tais parâmetros afetam apenas a simulação do BPS e do WSS.

A Figura 5.3 apresenta a simulação do BPS com outros dois pares de $tsh1$ e $tsh2$ – (0,9;0,6) e (0,7;0,5). Nota-se que a melhor utilização dos períodos de ociosidade da carga de trabalho gerada pelo uso do esquema de tarifa plana ocorre quando $tsh1 = 0,9$ e $tsh2 = 0,7$. Esta configuração dos *thresholds* $tsh1$ e $tsh2$ beneficia mais usuários que, através do uso de suas aplicações adaptativas, transferem sua demanda para períodos com preço de uso menor, economizando seu *budget*.

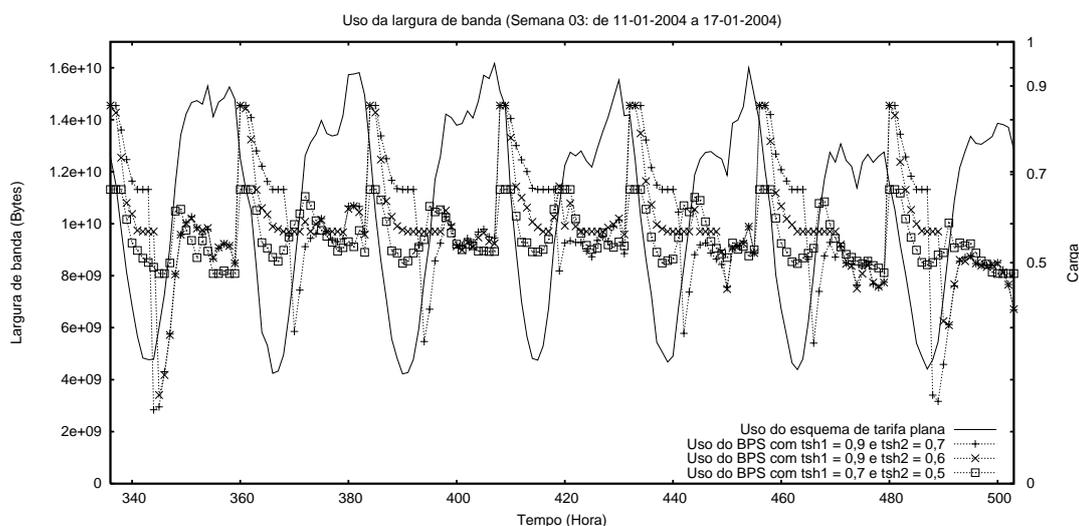


Figura 5.3: Influência dos parâmetros $tsh1$ e $tsh2$ no uso do BPS (Semana 03).

O valor de Ω foi definido como 0,15 porque, em 60% das sessões dos *logs* reais analisados, os usuários utilizam menos de 15% da taxa máxima de transmissão das respectivas assinaturas. A Figura 5.4 mostra a simulação do BPS com quatro valores distintos de Ω : 0,15, 0,30, 0,60 e 0,90. Observa-se no gráfico da Figura 5.4 uma queda da economia de banda quando Ω passa de 0,15 para 0,30 e também uma semelhança da carga de trabalho gerada quando $\Omega = 0,60$ e $\Omega = 0,90$. Como o *budget* do usuário é proporcional a Ω , quando o valor deste parâmetro aumenta, as restrições de uso diminuem. Entretanto, a partir de um determinado valor de Ω , a interferência do percentual de garantia da banda contratada no BPS não é grande, pois, não importa se há banda disponível para os usuários se eles não utilizam tudo aquilo que contratam. O ajuste desse parâmetro depende da relação entre o somatório da taxa máxima de transmissão das assinaturas dos usuários e a capacidade do *backbone* do ISP, bem como do comportamento dos usuários.

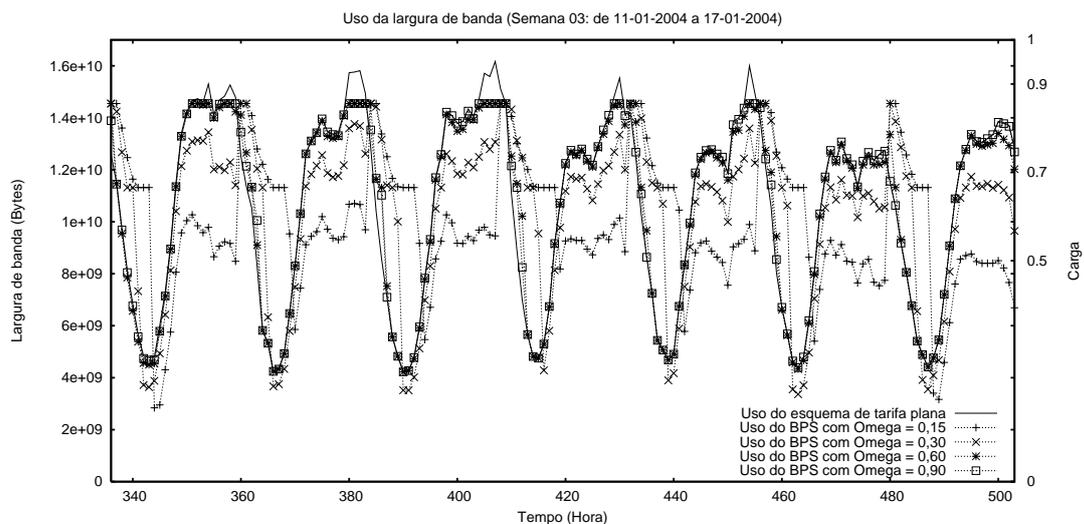


Figura 5.4: Influência do parâmetro Ω no uso do BPS (Semana 03).

As simulações do BPS com $w = 72$ e $w = 168$ adiaram o consumo para períodos próximos do momento de recarga dos orçamentos dos usuários, ou seja, de três em três dias ($w = 72$) ou no início de uma nova semana ($w = 168$). A Figura 5.5 apresenta uma comparação da simulação do BPS com $w = 24$, utilizada no cenário discutido a seguir, com uma simulação onde $w = 168$. Observa-se que quando a recarga de *budget* ocorre semanalmente, a economia de banda é menor em alguns momentos de maior utilização do *backbone* do

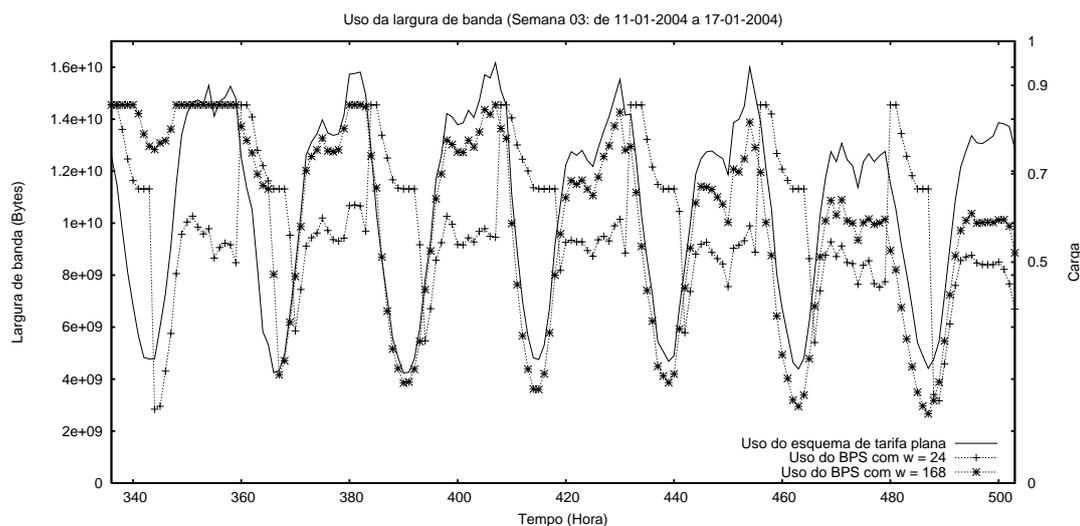


Figura 5.5: Influência do parâmetro w no uso do BPS (Semana 03).

provedor e ainda pode ocasionar uma sobrecarga de trabalho no início da semana, quando os orçamentos dos usuários são atualizados. Percebe-se que o uso de valores altos para w pode ocasionar retenção de tráfego e alta sobrecarga de trabalho nos momentos de recarga de *budget*. Ou seja, o momento e a periodicidade da recarga do *budget* dos usuários interfere na re-distribuição da carga de trabalho ao longo do dia e, conseqüentemente, no desempenho do esquema de precificação proposto.

As Figuras 5.6, 5.7 e 5.8 apresentam a carga de trabalho real, correspondente ao esquema de precificação de tarifa plana praticado pelo ISP, e banda utilizada em cada um dos outros três esquemas simulados: BPS, WSS e PMP. Observa-se nas duas curvas das Figuras 5.6 e 5.7 que, nos respectivos esquemas, os períodos com uma grande carga de trabalho estão distribuídos ao longo das horas do dia. Tal distribuição não ocorre na simulação do esquema PMP (Figura 5.8). Tanto no BPS quanto no WSS, a carga de trabalho dos usuários é transferida para o futuro com pequenas mudanças no preço de uso. Este resultado aponta a viabilidade de aumentar o número de assinaturas sem a necessidade de investimentos para expansão da infra-estrutura tecnológica do provedor. Além disso, verificou-se que em 35% das horas da semana analisada, o ISP terá um faturamento superior ao faturamento obtido com o esquema de precificação de tarifa plana se todas as aplicações forem cobradas pelo WSS. Na simulação do BPS, observa-se o aumento do faturamento do provedor em apenas

4% das horas. Entretanto, no BPS, o risco do ISP perder receita é menor, pois, apenas um pequeno grupo de usuários não têm benefícios satisfatórios com o esquema proposto. A análise dos benefícios dos usuários será realizada ao longo desta seção.

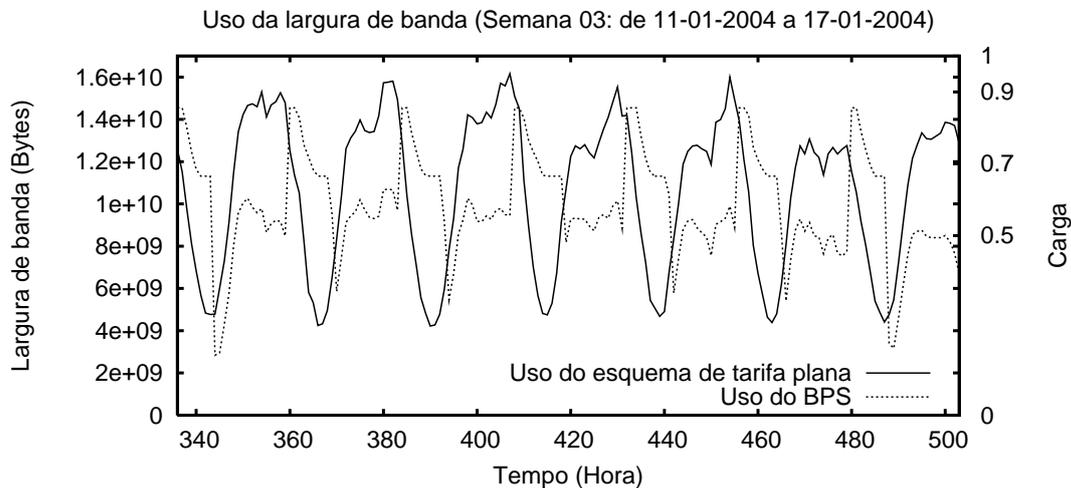


Figura 5.6: Uso da largura de banda na semana 03 (Flat rate versus BPS)

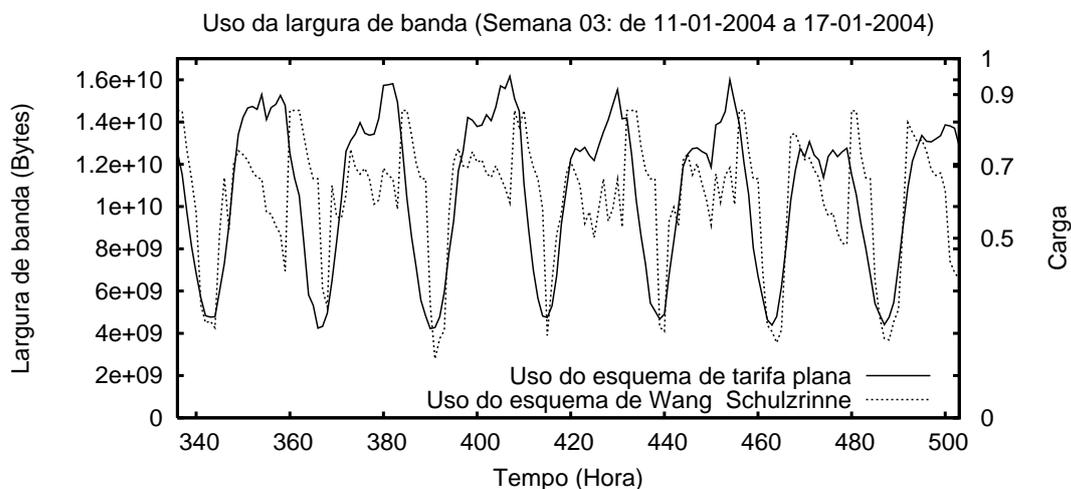


Figura 5.7: Uso da largura de banda na semana 03 (Flat rate versus WSS)

A Tabela 5.1 apresenta, para cada uma das quatro semanas simuladas, o percentual de economia de banda alcançada com o uso BPS, do PMP e do WSS em seis diferentes faixas de economia: menos que 10% de economias (0%-10%) em relação ao esquema de tarifa plana (FR), entre 10 e 20% de economia de banda (10%-20%), e assim sucessivamente. A economia de banda ocorre quando o consumo simulado é menor que o consumo real (esquema de tarifa plana – FR) e acontece em 61% do tempo do uso do BPS na semana 03 e

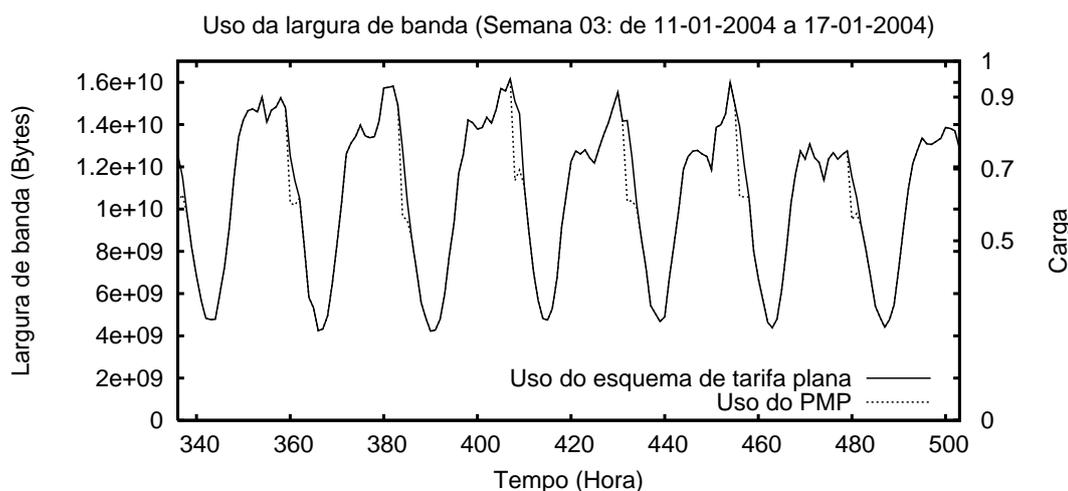


Figura 5.8: Uso da largura de banda na semana 03 (Flat rate versus PMP)

| Esquema | Faixa de economia | Semana 01 | Semana 02 | Semana 03 | Semana 04 |
|---------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| BPS | 0%-10% | 6% | 0% | 1% | 0% |
| | 10%-20% | 11% | 1% | 0% | 0% |
| | 20%-30% | 39% | 36% | 21% | 7% |
| | 30%-40% | 20% | 25% | 32% | 41% |
| | > 40% | 9% | 8% | 7% | 14% |
| PMP | 0%-10% | 98% | 96% | 93% | 95% |
| | 10%-20% | 1% | 2% | 4% | 3% |
| | 20%-30% | 1% | 2% | 3% | 2% |
| | 30%-40% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | > 40% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| WSS | 0%-10% | 45% | 12% | 15% | 23% |
| | 10%-20% | 9% | 17% | 17% | 12% |
| | 20%-30% | 8% | 12% | 15% | 11% |
| | 30%-40% | 7% | 12% | 9% | 9% |
| | > 40% | 10% | 7% | 3% | 3% |

Tabela 5.1: Percentual de horas da semana com economia de banda.

em 59% do tempo do uso do WSS na mesma semana. Observa-se que economias entre 30%-40% cresce a medida que a simulação do BPS avança, pois, os preços aumentam em períodos de alta demanda de carga de trabalho e, conseqüentemente, a demanda das aplicações dos usuários é transferida para períodos tipicamente de baixa carga de trabalho. Na simulação do WSS, isto não acontece da mesma maneira porque o preço do serviço no WSS varia muito freqüentemente de valores baixos para valores altos e vice-versa. Na simulação do PMP, há menos de 5% de horas das semanas com economia de banda superior a 10% porque todas as requisições são processadas nos dois canais e não há redistribuição significativa da carga de trabalho ao longo das horas do dia.

As Figuras 5.9 e 5.10 comparam o percentual de banda economizado pelos três esquemas simulados: BPS versus PMP e BPS versus WSS, respectivamente. Observa-se que as economias alcançadas pelo BPS são regulares e ocorrem em períodos de alta carga de trabalho. Ainda no BPS, nota-se que em períodos de pouco uso do *backbone*, uma banda extra poderia ser utilizada para melhorar o *download* e o *upload* realizado por usuários de sistemas *peer-to-peer*.

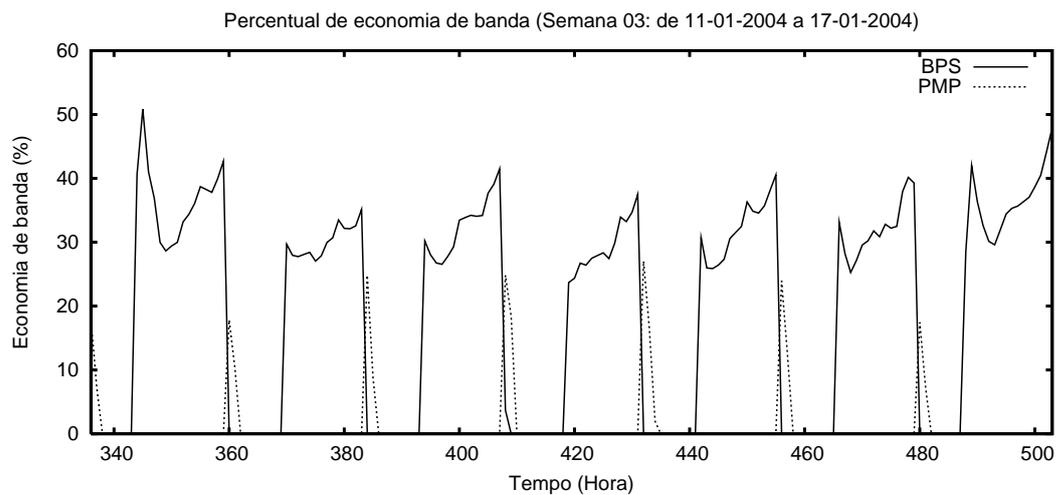


Figura 5.9: Economia de banda na semana 03 (BPS versus PMP)

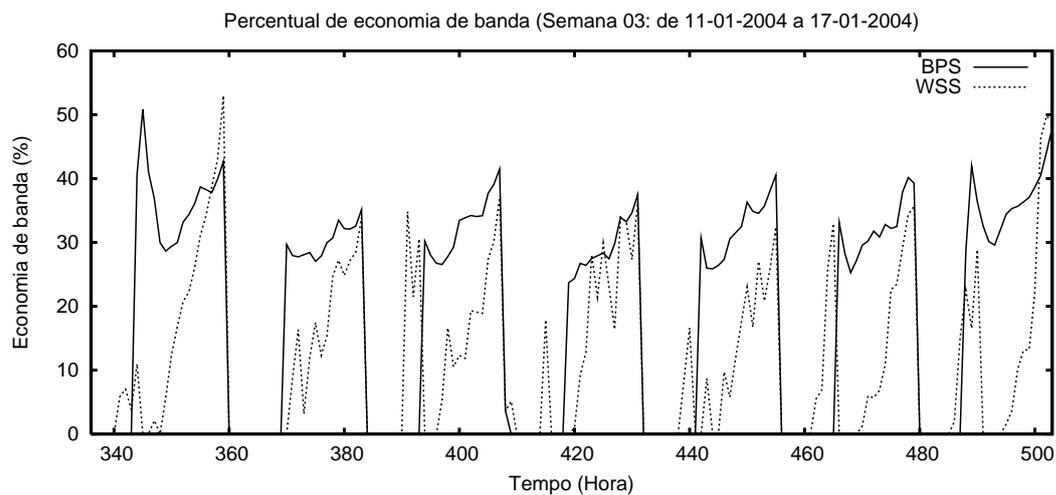


Figura 5.10: Economia de banda na semana 03 (BPS versus WSS)

Os benefícios para os usuários do ISP são calculados a partir da função utilidade definida pela equação 4.4). Caso u_i seja maior que zero, o benefício (*payoff*) do usuário também é

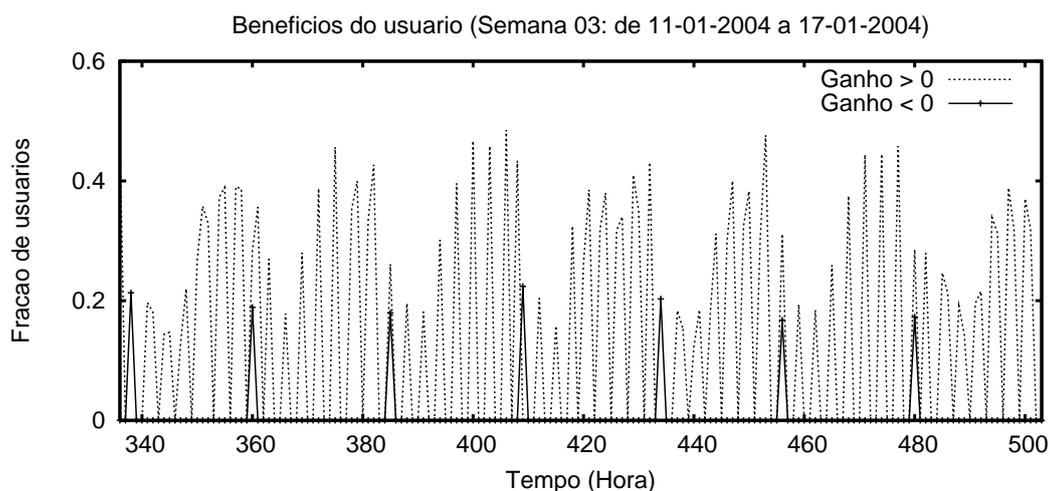


Figura 5.11: Benefícios do usuário na semana 03 (BPS).

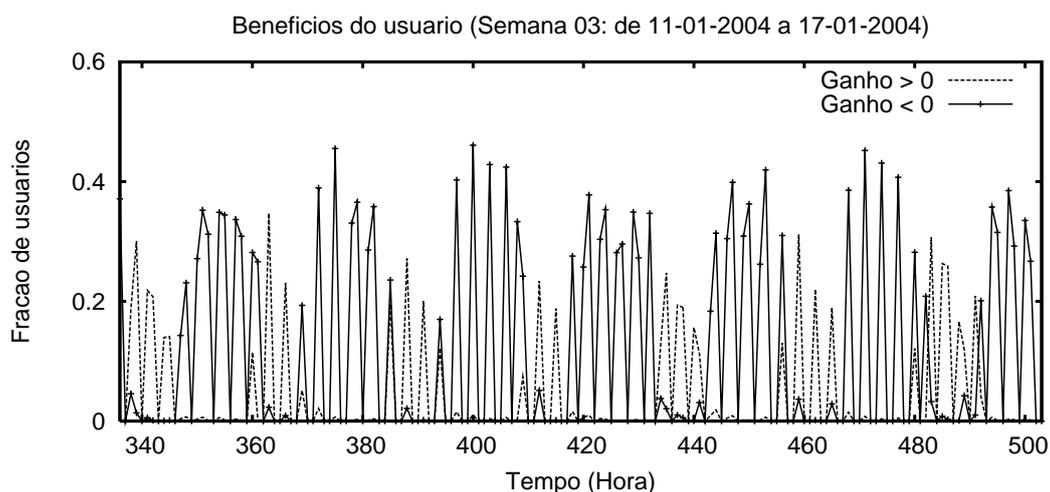


Figura 5.12: Benefícios do usuário na semana 03 (WSS).

maior que zero. Isto significa que o usuário gastou um valor menor que o valor definido pela sua classe de assinatura para acessar a Internet. Se o benefício é negativo, o usuário pagou um preço alto para acessar a Internet. Neste caso, o usuário teria que adquirir mais “créditos” para utilizar os recursos do ISP ou mudar para uma classe de assinatura superior. O benefício do usuário é igual a zero quando o uso que faz dos recursos do ISP ocorre em períodos com uma demanda histórica média entre os limiares $tsh1$ e $tsh2$. As Figuras 5.11, 5.12 e 5.13 apresentam o percentual de usuários nas três faixas de benefícios calculado na simulação do BPS, do WSS e do PMP, respectivamente.

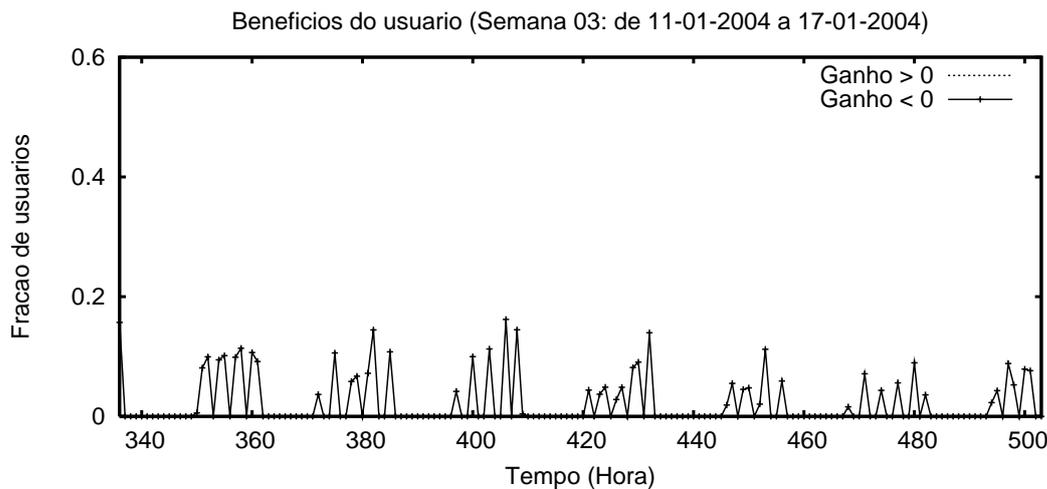


Figura 5.13: Benefícios do usuário na semana 03 (PMP).

No BPS, em média, 15% dos usuários tiveram benefícios enquanto 1% tiveram prejuízos. Os demais 84% tiveram a sua respectiva função utilidade igual a zero. Nenhum usuário conseguiu benefícios na simulação do PMP e poucos tiveram prejuízo. No WSS, em média, apenas 4% dos usuários tiveram benefícios e 11% tiveram prejuízo. Os demais 85% dos usuários não tiveram benefícios ou prejuízos. A instabilidade dos preços do WSS depende de quanto adequado é a hora do dia para os usuários. Isto poderia criar uma incerteza de faturamento para o ISP.

5.4 Conclusões

Com base nos resultados da caracterização de comportamento dos usuários de Internet de banda larga e de acordo com a literatura sobre precificação de serviços de Internet, observa-se que o esquema de precificação de tarifa plana não é justo, pois, alguns usuários acabam subsidiando o uso de usuários que consomem muitos recursos do provedor. Este capítulo apresenta um esquema de precificação, BPS – *Broadband Pricing Scheme*, para promover o uso justo da Internet de banda larga e assim otimizar os recursos do ISP.

O esquema proposto foi simulado com dados reais de um provedor de acesso à Internet de banda larga e comparado com três outros esquemas de precificação. A simulação mostrou

que o BPS poderia ser o esquema mais justo para os usuários, principalmente, porque a função utilidade utilizada para calcular os benefícios dos usuários é maior ou igual a zero na maioria das horas do dia. Além disso, os resultados da simulação também mostram que a economia de banda com o uso do BPS acontece, em média, em 60% do tempo, o melhor resultado entre os esquemas simulados. Enfim, o uso de um esquema de precificação justo pode trazer benefícios tanto para o ISP quanto para os seus usuários.

Capítulo 6

Conclusões e trabalhos futuros

O principal esquema de precificação praticado pelos provedores de acesso à Internet de banda larga é o esquema de tarifa plana (*flat rate pricing scheme*) atrelado ao valor máximo de transmissão. Sob o ponto de vista de alguns usuários, este esquema não é justo, pois, mesmo utilizando poucos recursos, esses usuários precisam subsidiar o uso de outros usuários da mesma classe de assinatura que utilizam grande parte da banda disponível. Ou seja, percebe-se uma competição de recursos entre usuários da mesma classe de assinaturas. Além disso, esse esquema não é vantajoso para o ISP, pois, com o seu uso observa-se ociosidade de recursos em alguns momentos do dia e sobrecarga de trabalho em outros períodos. Um esquema de precificação justo deve prever a diferenciação de preço para cada nível de serviço oferecido e ainda possibilitar a otimização do uso dos recursos do provedor de serviços.

Com o crescimento do uso da Internet de banda larga, principalmente no ambiente residencial, o entendimento e a identificação das diferentes classes de usuários é uma atividade importante para definição do esquema de precificação mais adequado para o provedor de acesso à Internet. Este trabalho apresenta uma metodologia de caracterização de comportamento de usuários de Internet de banda larga e sua respectiva aplicação com dados reais de um provedor de acesso. As fontes de dados utilizadas para caracterização são os *logs* de autenticação, o banco de dados dos usuários do ISP e os *logs* com o tráfego de dados gerado pelos usuários durante um determinado período de coleta. A metodologia propõe a caracterização das sessões dos usuários, inclusive das requisições realizadas.

A caracterização realizada com base na metodologia proposta mostrou que, no contexto da Internet de banda larga, existem diferentes grupos de usuários caracterizados pelos seus diferentes padrões de requisição de serviços (*user request pattern*). Tais padrões se diferenciam, principalmente, pela duração e pela quantidade de dados transferidos nas sessões dos usuários. Nota-se ainda que um grupo pequeno de usuários possui um padrão de comportamento caracterizado por longas sessões e um alto volume de transferência de *bytes*, sendo responsável por grande parte da carga de trabalho do ISP. Ressalta-se também que a identificação do processo de chegada e da duração das sessões dos usuários, bem como a contabilização dos *bytes* transferidos, realizadas a partir da caracterização do comportamento de usuários de banda larga seguem distribuições de probabilidade que caracterizam o uso da Internet (Floyd e Paxson, 2001) e também de aplicações específicas, como a transmissão de vídeo pela rede (Velooso et al., 2006).

Com base na análise dos resultados da caracterização de comportamento de usuários de Internet de banda larga e de acordo com a literatura sobre precificação de serviços de Internet que aponta que o esquema de precificação de tarifa plana não é justo, este trabalho apresenta um esquema de precificação de tráfego de Internet de banda larga, o BPS – *Broadband Pricing Scheme*. O BPS promove o uso justo da Internet de banda larga, o que, conseqüentemente, otimiza os recursos do ISP re-distribuindo a carga de trabalho ao longo do dia. O esquema proposto foi simulado com dados reais de um provedor de acesso à Internet de banda larga e comparado com três outros esquemas de precificação. A simulação mostrou que o BPS é o esquema mais justo para os usuários, principalmente, porque a função utilidade utilizada para calcular os benefícios dos usuários é maior ou igual a zero na maioria das horas do dia. Além disso, os resultados da simulação também mostram que a economia de banda com o uso do BPS acontece significativamente, em média, em 60% do tempo, o melhor resultado entre os esquemas simulados. O uso de um esquema de precificação justo traz benefícios tanto para o ISP quanto para os seus usuários, o que comprova a hipótese apresentada no início do trabalho.

6.1 Trabalhos futuros

Os resultados deste trabalho de pesquisa sugerem a realização de novos trabalhos. O esquema de precificação de tráfego de Internet de banda larga proposto cria a possibilidade de desenvolvimento de outros trabalhos, tais como:

- A construção dos modelos de otimização das funções que determinem os benefícios alcançados pelos usuários e pelo provedor é um trabalho importante para formalização do esquema de precificação proposto através da Teoria dos Jogos, como realizado em trabalhos discutidos no Capítulo 2. Esta formalização poderá apontar melhorias no modelo e/ou variações ainda não percebidas.
- A análise do inter-relacionamento entre os usuários de um mesmo provedor de acesso à Internet de banda larga para verificação da viabilidade de cooperação entre esses usuários é um trabalho que pode auxiliar os ISPs no controle da sobrecarga de seus recursos. Teorias que sustentam pesquisas sobre redes sociais podem contribuir na formulação de problemas que contemplem esse inter-relacionamento. Além disso, espera-se que a cooperação entre usuários da mesma rede crie benefícios tanto para os usuários quanto para o provedor.
- O desenvolvimento de uma arquitetura para construção de aplicações adaptativas pode contribuir para a construção de aplicações capazes de verificar os recursos disponíveis antes utilizá-los, como por exemplo, um sistema par-a-par que contemple também os recursos do provedor para promover um melhor desempenho do compartilhamento de arquivos entre os seus *peers*. Além dessa arquitetura, que auxiliaria o desenvolvimento de aplicações adaptativas, percebe-se que os provedores poderiam considerar que todas as aplicações do usuário são adaptativas se inserissem uma interface flexível e autônoma entre o computador do usuário de Internet de banda larga e a sua infra-estrutura tecnológica. Ou seja, se o controle de banda fosse deslocado do modem do usuário para um software do ISP, a adaptabilidade das aplicações poderia se tornar transpa-

rente e independente de configurações em hardwares ou de adaptações de aplicações de terceiros.

- Caso novos *logs* reais forem disponibilizados por um provedor de acesso à Internet de banda larga, a realização de uma nova caracterização do comportamento de usuários com essa nova fonte de dados, bem como a realização de uma nova simulação do uso do esquema de precificação baseado no comportamento dos usuários ao longo do dia, é uma tarefa que poderá consolidar os resultados encontrados neste trabalho.

6.2 Publicações

Seguem os artigos científicos que também descrevem as contribuições deste trabalho e que foram apresentados em conferências e periódicos internacionais:

- MARQUES NETO, H. T. ; ALMEIDA, Virgílio Augusto Fernandes ; ALMEIDA, Jussara Marques de . Pricing Broadband Internet Adaptive Services. In: MASCOTS 2007, 2007, Istanbul. *Proceedings of the Fifteenth IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS'07)*, 2007. p. 158-165.
- MARQUES NETO, H. T. ; ALMEIDA, Virgílio Augusto Fernandes ; ALMEIDA, Jussara Marques de . Pricing Residential Broadband Internet. In: CoNEXT'06 - 2nd Conference on Future Networking Technologies, 2006, Lisboa. *Proceedings of CoNEXT'06 - 2nd Conference on Future Networking Technologies*, 2006.
- MARQUES NETO, H. T. ; ROCHA, Leonardo Chaves Dutra da ; GUERRA, Pedro Henrique Calais ; ALMEIDA, Jussara Marques de ; MEIRA JR., Wagner ; ALMEIDA, Virgílio Augusto Fernandes . A Characterization of Broadband User Behavior and their E-business Activities. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, v. 32, p. 3-13, 2004.

- MARQUES NETO, H. T. ; ROCHA, Leonardo Chaves Dutra da ; GUERRA, Pedro Henrique Calais ; ALMEIDA, Jussara Marques de ; MEIRA JR., Wagner ; ALMEIDA, Virgílio Augusto Fernandes . Characterizing Broadband User Behavior. In: *ACM Workshop on Next-generation Residential Broadband Challenge*, 2004, New York. Proceedings of the ACM Workshop on Next-generation Residential Broadband Challenge. New York : ACM Press, 2004. p. 11-18.
- MARQUES NETO, H. T. ; ROCHA, Leonardo Chaves Dutra da ; GUERRA, Pedro Henrique Calais ; ALMEIDA, Jussara Marques de ; MEIRA JR., Wagner ; ALMEIDA, Virgílio Augusto Fernandes . Broadband User Behavior Characterization. In: Dwivedi Y.K.; Papazafeiropoulou, A.; Choudrie, J.. (Org.). *Handbook of Research in Global Diffusion of Broadband Data Transmission*. Hershey, PA: IGI Global, 2008, v. , p. 408-426.

Referências Bibliográficas

- Altmann, J.; Rupp, B. e Varaiya, P. (1999). Internet demand under different pricing schemes. In *EC '99: Proceedings of the 1st ACM conference on Electronic commerce*, pp. 9–14, New York, NY, USA. ACM Press.
- Arlitt, M. (2000). Characterizing web user sessions. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 28(2):50–56.
- Arlitt, M.; Friedrich, R. e Jin, T. (1999). Workload characterization of a web proxy in a cable modem environment. Technical Report HPL-1999-48, Internet Systems and Applications Laboratory - HP Laboratories Palo Alto.
- Arlitt, M. e Jin, T. (2000). Workload characterization of the 1998 world cup web site. *IEEE Network*, 14(3):30–37.
- Arlitt, M.; Krishnamurthy, D. e Rolia, J. (2001). Characterizing the scalability of a large web-based shopping system. *ACM Transactions on Internet Technology*, 1.
- Barford, P.; Bestavros, A.; Bradley, A. e Crovella, M. (1999). Changes in web client access patterns: Characteristics and caching implications. *World Wide Web, Special Issue on Characterization and Performance Evaluation*.
- Bhargava, H. K. e Sun, D. (2005). Performance-contingent pricing for broadband services. In *HICSS '05: Proceedings of the Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'05) - Track 8*, p. 211.2, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.

- Bitsaki, M.; Stamoulis, G. D. e Courcoubetis, C. (2005). A new strategy for bidding in the network-wide progressive second price auction for bandwidth. In *CoNEXT'05: Proceedings of the 2005 ACM conference on Emerging network experiment and technology*, pp. 146–155, New York, NY, USA. ACM Press.
- Blake, S.; Black, D.; Carlson, M.; Davies, E.; Wang, Z. e Weiss, W. (1998). An architecture for differentiated service. IETF RFC 2475.
- Cao, X.-R.; Shen, H.-X.; Milito, R. e Wirth, P. (2002). Internet pricing with a game theoretical approach: concepts and examples. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 10(2):208–216.
- Chaudhuri, A. e Flamm, K. (2005). An analysis of determinants of broadband access. *Telecommunications Policy*, 29:731–755.
- Cho, K.; Fukuda, K.; Esaki, H. e Kato, A. (2006). The impact and implications of the growth in residential user-to-user traffic. In *SIGCOMM '06: Proceedings of the 2006 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pp. 207–218, New York, NY, USA. ACM.
- Corbo, J. e Parkes, D. (2005). The price of selfish behavior in bilateral network formation. In *PODC '05: Proceedings of the twenty-fourth annual ACM symposium on Principles of distributed computing*, pp. 99–107, New York, NY, USA. ACM Press.
- Costa, C. P.; Cunha, I. S.; Borges, A.; Ramos, C. V.; Rocha, M. M.; Almeida, J. M. e Ribeiro-Neto, B. (2004). Analyzing client interactivity in streaming media. In *WWW '04: Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web*, pp. 534–543, New York, NY, USA. ACM Press.
- Courcoubetis, C. e Weber, R. (2003). *Pricing communication networks: economics, technology and modellig*. John Wiley & Sons Ltd.
- Crowcroft, J. (2007). Net neutrality: the technical side of the debate: a white paper. *SIGCOMM Computer Comm. Review*, 37(1):49–56.

- Cunha, C. R.; Bestavros, A. e Crovella, M. E. (1995). Characteristics of www client-based traces. Technical Report TR-95-010, Department of Computer Science - Boston University.
- Dang, T. D.; Perényi, M.; Gefferth, A. e Molnár, S. (2006). On the identification and analysis of p2p traffic aggregation. In *Networking 2006, LNCS 3976*, pp. 606–617, Coimbra, Portugal.
- Dischinger, M.; Haeberlen, A.; Gummadi, K. P. e Saroiu, S. (2007). Characterizing residential broadband networks. In *IMC '07: Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pp. 43–56, New York, NY, USA. ACM.
- Edell, R. J. e Varaiya, P. (1999). Providing internet access: What we learn from the index trial. Technical Report Index Project Report 99-010W, University of California, Berkeley.
- Floyd, S. e Paxson, V. (2001). Difficulties in simulating the internet. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 9(4).
- Fukuda, K.; Cho, K. e Esaki, H. (2005). The impact of residential broadband traffic on japanese isp backbones. *ACM SIGCOMM Computer Communications Review*, 35(1):15–21.
- Gerber, A.; Houle, J.; Nguyen, H.; Roughan, M. e Sen, S. (2003). P2p, the gorilla in the cable. *National Cable & Telecommunications Association (NCTA) 2003 National Show*.
- GOOGLE (2006). A guide to net neutrality for google users. *Google Help Center*. (www.google.com/help/netneutrality.html).
- Gummadi, K.; Dunn, R.; Saroiu, S.; Gribble, S.; Levy, H. e Zahorjan, J. (2003). Measurement, modeling, and analysis of a peer-to-peer file-sharing workload. In *Proceedings of the 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP-19)*.
- Gupta, A.; Stahl, D. O. e Whinston, A. B. (1999). The economics of network management. *Communications of the ACM*, 42(9):57–63.

- Hahn, R. e Wallsten, S. (2006). The economics of net neutrality. *The Economists' Voice*, 3(6).
- Hamada, T.; Chujo, K.; Chujo, T. e Yang, X. (2004). Peer-to-peer traffic in metro networks: analysis, modeling and policies. *IEEE/IFIP Network Operations & Management Symposium (NOMS 2004)*.
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science*, 162(3859):1243–1248.
- He, L. e Walrand, J. (2005a). Pricing and revenue sharing strategies for internet service providers. In *INFOCOM 2005*, volume 1, pp. 205–216. IEEE Press.
- He, L. e Walrand, J. (2005b). Pricing differentiated internet services. In *INFOCOM 2005*, volume 1, pp. 195–204. IEEE Press.
- Held, G. (2007). Net neutrality may be a necessity. *International Journal Network Management*, 17(1):1–1.
- Hlavacs, H.; Hotop, E. e Kotsis, G. (2000). Workload generation by modeling user behavior. In *Proceedings OPNETWORKS 2000*.
- Hlavacs, H. e Kotsis, G. (1999). Modeling user behavior: A layered approach. *IEEE / ACM International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS'99)*.
- Horrigan, J. B. e Smith, A. (2007). Home broadband adoption 2007.
- Jin, Y. e Kesidis, G. (2005). Dynamics of usage-priced communication networks: the case of a single bottleneck resource. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 13(5):1041–1053.
- Jurca, R. e Faltings, B. (2005). Reputation-based pricing of p2p services. In *P2PECON '05: Proceeding of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Economics of peer-to-peer systems*, pp. 144–149, New York, NY, USA. ACM Press.

- Kamoto, T. O. e Ayashi, T. H. (2002). Analysis of service provider's profit by modeling customer's willingness to pay for ip qos. In *Proceedings of Global Telecommunications Conference, 2002. GLOBECOM '02.*, pp. 1549–1553. IEEE Press.
- Karagiannis, T.; Broido, A.; Faloutsos, M. e claffy, K. (2004). Transport layer identification of p2p traffic. In *IMC '04: Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pp. 121–134, New York, NY, USA. ACM Press.
- Kazaa (2006). Kazaa web site.
- Krishnamurthy, B.; Wang, J. e Xie, Y. (2001). Early measurements of a cluster-based architecture for p2p systems. *ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop*.
- Lakshminarayanan, K.; Padmanabhan, V. N. e Padhye, J. (2004). Bandwidth estimation in broadband access networks. In *IMC '04: Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pp. 314–321, New York, NY, USA. ACM Press.
- Lang, K. R. e Vragov, R. (2005). A pricing mechanism for digital content distribution over peer-to-peer networks. In *HICSS '05: Proceedings of the Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'05) - Track 8*, p. 211.1, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Leibowitz, N.; Bergman, A.; Ben-Shaul, R. e Shavit, A. (2002). Are file swapping networks cacheable? characterizing p2p traffic. In *Proceedings of the 7th International WWW Caching Workshop*.
- Leibowitz, N.; Ripeanu, M. e Wierzbicki, A. (2003). Deconstructing the kazaa network. *3rd IEEE Workshop on Internet Applications (WIAPP'03)*.
- Marbach, P. (2004). Analysis of a static pricing scheme for priority services. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 12(2):312–325.
- Marbukh, V. (2004). A knowledge plane as a pricing mechanism for aggregate, user-centric utility maximization. *SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 32(2):22–24.

- Menascé, D. e Almeida, V. (2000). *Scaling for E-business: technologies, models, performance and capacity planning*. Prentice Hall, Upper Saddle River - NJ.
- MIT (2005). The broadband incentive problem. In *MIT Communications Futures Program (CFP) and Cambridge University Communications Research Network*.
- Netflow, C. (2007). Cisco ios netflow.
- Noll, A. M. (1997). Internet pricing vs. reality. *Communications of the ACM*, 40(8):118–121.
- Odlyzko, A. (1999). Paris metro pricing for the internet. In *EC '99: Proceedings of the 1st ACM conference on Electronic commerce*, pp. 140–147, New York, NY, USA. ACM Press.
- OECD (2007). Oecd broadband statistics (www.oecd.org/sti/ict/broadband).
- Peres, M. (2007). Barômetro cisco da banda larga brasil 2005 – 2010.
- Pitkow, J. (1998). Summary of WWW characterizations. *Computer Networks and ISDN Systems*, 30(1–7):551–558.
- Rigney, C. (2000). Radius accounting – rfc 2866.
- Rigney, C.; Willens, S.; Rubens, A. e Simpson, W. (2000). Remote authentication dial in user service (radius) – rfc 2865.
- Rodriguez, P.; Tan, S.-M. e Gkantsidis, C. (2006). On the feasibility of commercial, legal p2p content distribution. *SIGCOMM Computer Communication Review*, 36(1):75–78.
- Saroiu, S.; Gummadi, K.; Dunn, R.; Gribble, S. e Levy, H. (2002a). An analysis of internet content delivery systems. *ACM SIGOPS Operating Systems Review*.
- Saroiu, S.; Gummadi, K. e Gribble, S. (2002b). A measurement study of peer-to-peer file sharing systems. In *Proceedings of Multimedia Computing and Networking 2002 (MMCN'02)*.

- Sen, S.; Spatscheck, O. e Wang, D. (2004). Accurate, scalable in-network identification of p2p traffic using application signatures. In *WWW '04: Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web*, pp. 512–521, New York, NY, USA. ACM Press.
- Sen, S. e Wang, J. (2004). Analyzing peer-to-peer traffic across large networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 12(2):219–232.
- Shu, J. e Varaiya, P. (2003). Pricing network services. In *INFOCOM 2003*. IEEE Press.
- Tanenbaum, A. S. (2002). *Computer Networks*. Prentice Hall, 4 edição.
- Trivedi, K. (2002). *Probability & Statistics with Reliability, Queueing, and Computer Science Applications*. Prentice Hall, John Wiley & Sons, 2 edição.
- UNCTAD (2006). Information economy report: the development perspective. Technical report, United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD).
- Varian, H. R. (2006). *Microeconomia: conceitos básicos*. Elsevier, Rio de Janeiro.
- Veloso, E.; Almeida, V.; Wagner Meira, J.; Bestavros, A. e Jin, S. (2006). A hierarchical characterization of a live streaming media workload. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 14(1):133–146.
- Wang, J. H.; Chiu, D. M. e Lui, J. C. (2006). Modeling the peering and routing tussle between isps and p2p applications. In *Fourteenth IEEE International Workshop on Quality of Service (IWQoS)*, New Haven, CT, USA.
- Wang, X. e Schulzrinne, H. (2006). Pricing network resources for adaptive applications. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 14(3):506–519.
- Weiss, A. (2006). Net neutrality?: there's nothing neutral about it. *netWorker*, 10(2):18–25.
- Yaiche, H.; Mazumdar, R. R. e Rosenberg, C. (2000). A game theoretic framework for bandwidth allocation and pricing in broadband networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 8(5):667–678.

Yamori, K. e Tanaka, Y. (2004). Relation between willingness to pay and guaranteed minimum bandwidth in multiply-priority service. In *Communications, 2004 and the 5th International Symposium on Multi-Dimensional Mobile Communications Proceedings*, pp. 113–117. IEEE Press.

Yassini, R. (2004). *Planet broadband*. Cisco Press, Indianapolis - IN.

Yu, B.; Li, C.; Singh, M. P. e 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*, pp. 1426–1427, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.