

Universidade Federal de Juiz de Fora  
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação  
Mestrado em Ciência da Computação

Francisco Henrique Cerdeira Ferreira

**CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA DE PARTICIPANTES E COMUNIDADES EM  
UM SISTEMA P2P DE TRANSMISSÃO DE VÍDEO AO VIVO**

Juiz de Fora  
2013



Francisco Henrique Cerdeira Ferreira

**Caracterização da dinâmica de participantes e Comunidades em um sistema  
P2P de transmissão de vídeo ao vivo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. D.Sc. Alex Borges Vieira

Coorientadora: Profa. D.Sc. Ana Paula Couto da Silva

Juiz de Fora

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Ferreira, Francisco Henrique Cerdeira.

Caracterização da dinâmica de participantes e comunidades em um sistema P2P de transmissão de vídeo ao vivo / Francisco Henrique Cerdeira Ferreira. -- 2013.

75 p.

Orientador: Alex Borges Vieira

Coorientadora: Ana Paula Couto da Silva

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, 2013.

1. P2P. 2. Vídeo ao vivo. 3. SopCast. 4. Redes complexas. I. Vieira, Alex Borges, orient. II. Silva, Ana Paula Couto da, coorient. III. Título.

Francisco Henrique Cerdeira Ferreira

**Caracterização da dinâmica de participantes e Comunidades em um sistema  
P2P de transmissão de vídeo ao vivo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Aprovada em 11 de Março de 2013.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. D.Sc. Alex Borges Vieira - Orientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Profa. D.Sc. Ana Paula Couto da Silva  
Universidade Federal de Minas Gerais

---

Prof. D.Sc. Magnos Martinello  
Universidade Federal do Espírito Santo

---

Prof. D.Sc. Marcelo Ferreira Moreno  
Universidade Federal de Juiz de Fora

*Agradeço a Deus, pelo amparo.  
Aos meus pais e irmãos, pelo  
carinho. À minha noiva, pela  
cumplicidade. Aos meus amigos,  
pelo apoio.*

## AGRADECIMENTOS

A conclusão do mestrado marca o fim de uma importante etapa na minha vida. Esta vitória, no entanto, não seria possível sem a contribuição de todos aqueles que estiveram próximos a mim nesse período.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela minha saúde e equilíbrio, que permitiram que eu chegasse até aqui.

Agradeço aos meus pais, Expedito e Calmesina, e aos meus irmãos, Júlio e Luis. Sem o carinho e a motivação passada por vocês, isso jamais seria possível.

À minha noiva, Thais, pela compreensão e paciência interminável.

Aos meus amigos e familiares pelo incentivo em todos os momentos.

Aos professores do Departamento de Ciência da Computação pelos conhecimentos transmitidos. Em especial, aos meus orientadores, Alex e Ana. Pessoas maravilhosas, que confiaram em mim e estiveram sempre à disposição, de forma atenciosa, para ouvir e aconselhar.

À Universidade Federal de Juiz de Fora, principalmente os companheiros de CGCO, que me deram apoio e liberdade para que essa etapa fosse concluída.

Aos professores Marco Antônio Araújo e Ely Matos, que me ajudaram a expandir meu horizonte e acreditaram em mim.

Aos meus amigos do grupo de redes, por compartilharem o conhecimento e pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu eterno amigo, Glauber Antônio Garcia Brilhante.



*"Nós fazemos o nosso mundo  
significativo pela coragem de  
nossas perguntas e pela  
profundidade de nossas  
respostas"*

*Carl Sagan*



## RESUMO

Nos últimos anos, as aplicações P2P de transmissão de vídeo ao vivo despertaram um grande interesse na comunidade científica. Essas aplicações geram um grande volume de dados que afetam diretamente o desempenho da rede. Apesar de existir um grande número de trabalhos dedicados a entender as aplicações P2P de transmissão de vídeo ao vivo, a maioria deles se baseia em uma visão estática desses sistemas. Estes trabalhos não se preocupam em entender a dinâmica do sistema, ou seja, como eles evoluem ao longo do tempo.

Através de experimentos realizados na plataforma PlanetLab, este trabalho apresenta uma caracterização da aplicação SopCast, um dos mais importantes sistemas P2P de transmissão de vídeo ao vivo. O estudo é realizado levando-se em consideração a dinamicidade da topologia construída. Também é investigada a formação de comunidades na rede sobreposta e a correlação dessas comunidades com os Sistemas Autônomos da Internet (AS).

Os resultados mostram que a formação de comunidades é bem definida pela troca de tráfego e uma pequena porção de participantes desses grupos é responsável por sustentar toda a comunidade. Além disso, não existe indícios que os participantes se agrupam de acordo com seus Sistemas Autônomos. De fato, a probabilidade de uma comunidade ser formada com mais da metade de membros pertencentes a um mesmo AS é inferior a 10%.

Finalmente, as caracterizações apresentadas fornecem informações importantes para o desenvolvimento de novas aplicações P2P de transmissão de vídeo ao vivo. Mais que isso, será possível algoritmos de formação de parcerias e grupos de tal forma que seja possível reduzir os custos de transmissão entre redes diferentes.

**Palavras-chave:** P2P. Vídeo ao vivo. SopCast. Redes complexas.



## ABSTRACT

P2P live streaming systems have attracted a lot of attention from the research community in the last years. Such systems generate a large amount of data which impacts the network performance. Despite large number of works devoted to understand P2P live streaming applications, most of them rely on characterizing the static view of these systems. These works do not worry about either understanding the systems dynamics or analyzing how it evolves over time.

Through experiments in PlanetLab platform, we present a characterization of the SopCast application, one of the most important P2P live streaming system. We focus on characterizing the dynamics of P2P overlay topology. We also investigated the community formation process in SopCast overlay and the correlation of these communities with the Autonomous Systems of the Internet (AS).

Our results show that the formation of communities is well defined by the exchange of traffic and a small portion of peers of these groups is responsible for supporting the entire community. Furthermore, there is a evidence that peers are not grouped according to their Autonomous Systems. Indeed, the probability of a community be formed with more 50% of members belonging to the same AS is less than 10%.

Finally, the characterizations we conduct provide important information to new P2P live streaming protocols and membership algorithms design. Moreover, the presented characterization may be useful to developers create algorithms that reduces the transmission cost on the P2P network.

**Keywords:** P2P. Live streaming. SopCast. Complex networks.



## SUMÁRIO

1	Introdução .....	15
1.1	Contribuições do trabalho .....	17
1.2	Organização da Dissertação .....	18
2	Conceitos Teóricos .....	19
2.1	Sistemas P2P .....	19
2.1.1	<i>Estruturadas</i> .....	21
2.1.2	<i>Não-estruturadas</i> .....	22
2.2	Sistemas P2P de distribuição de vídeo .....	23
2.2.1	<i>Topologia baseada em árvore</i> .....	24
2.2.2	<i>Topologia baseada em malha</i> .....	25
2.2.3	<i>Aplicações P2P de transmissão de vídeo</i> .....	26
3	Trabalhos relacionados .....	29
3.1	Caracterização considerando a abordagem tradicional .....	29
3.1.1	<i>Participantes estáveis</i> .....	30
3.2	Caracterização considerando dinâmica .....	31
3.3	Estudo através de métricas de redes complexas .....	32
3.3.1	<i>Identificação de comunidades em P2P</i> .....	33
4	Metodologia e modelagem .....	35
4.1	Metodologia de coleta de dados .....	35
4.1.1	<i>PlanetLab</i> .....	35
4.1.2	<i>Coleta de dados</i> .....	36
4.2	Modelo .....	38
4.3	Identificação de comunidades .....	39
4.4	Métricas utilizadas .....	41
4.4.1	<i>Caminho mínimo</i> .....	42
4.4.2	<i>Diâmetro</i> .....	42
4.4.3	<i>Grau</i> .....	43

4.4.4	<i>Coeficiente de agrupamento</i> .....	43
4.5	Distribuições .....	44
5	Caracterização de um sistema de transmissão ao vivo em P2P .....	46
5.1	Rede sobreposta .....	46
6	Formação de comunidades em sistemas P2P de vídeo ao vivo .....	52
6.1	Evolução das comunidades .....	52
6.2	Caracterização do tráfego .....	58
6.2.1	<i>Nodos estáveis e líderes de comunidade</i> .....	60
6.2.2	<i>Relação com Sistemas Autônomos</i> .....	63
7	Conclusões e trabalhos futuros .....	68
	REFERÊNCIAS .....	70
	Referências Bibliográficas .....	70

# 1 Introdução

As transmissões de vídeo pela Internet se tornaram muito populares na última década. Simples usuários conseguem criar conteúdo e disponibilizá-lo na grande rede de forma rápida e fácil. Essa nova alternativa a TV tradicional possibilita que pessoas, mesmo a milhares de quilômetros de distância da área de cobertura de uma antena, acessem o conteúdo de uma programação local. Assim, até mesmo grandes emissoras se beneficiam com o crescimento desse segmento de difusão de vídeo pela Internet. Por exemplo, grandes empresas como NBC<sup>1</sup> e ESPN<sup>2</sup> transmitem sua programação ao vivo pela Internet. No Brasil, existem emissoras que também utilizam esse recurso.

A maior parte desse conteúdo audiovisual ainda é consumida através da tradicional arquitetura cliente/servidor. Nesse modelo, um servidor centralizado provê o vídeo a qualquer usuário que o queira assistir. No entanto, este cenário pode não ser o ideal a medida que a quantidade de usuários assistindo a uma determinada programação aumenta. Por não ser flexível e pouco escalável, a arquitetura cliente/servidor torna-se frágil e limitada quando o conteúdo transmitido é um evento de grande apelo, como por exemplo, a final do *Super Bowl*<sup>3</sup> (Campeonato de futebol americano), que em 2012 atingiu a marca recorde de 113.3 milhões de telespectadores ao redor do mundo<sup>4</sup>.

A transmissão de vídeo via *multicast* seria uma alternativa viável para esse cenário, pois permite que um servidor envie informação a vários clientes através de um fluxo único de dados, economizando largura de banda e recursos dos servidores de multimídia. Porém, a infraestrutura atual dificulta esse tipo de solução, dado que a maioria dos dispositivos conectados à Internet ainda utilizam o protocolo IPv4, onde o suporte a *multicast* é opcional. No IPv6, todos os nós devem ter suporte a *multicast*.

Por causa dessa demanda, surgiram alternativas para a entrega de conteúdo, como as CDNs (*Content Delivery Networks*). Empresas como a Akamai<sup>5</sup> e LimeLight<sup>6</sup> são exemplos de provedores desse tipo de serviço. Porém, esta é uma opção extremamente

---

<sup>1</sup><http://www.nbc.com>

<sup>2</sup><http://espn.go.com/>

<sup>3</sup><http://www.nfl.com/superbowl>

<sup>4</sup>*Super Bowl 2012 sets US TV ratings record for third year running*

- <http://www.guardian.co.uk/media/2012/feb/07/super-bowl-2012-tv-ratings-record>

<sup>5</sup><http://www.akamai.com>

<sup>6</sup><http://www.limelightnetworks.com>

cara. Estima-se que, em 2007, o YouTube<sup>7</sup> gastou aproximadamente 1 milhão de dólares por dia para custear a utilização de banda necessária para transmissão de vídeo, sendo responsável por 3% dos custos de operação do Google<sup>8</sup> neste ano<sup>9</sup>.

Por sua vez, a arquitetura *peer-to-peer* ou P2P oferece uma arquitetura mais apropriada para este tipo de cenário, onde existe uma demanda crescente por largura de banda. Dado que, na arquitetura P2P os usuários compartilham os recursos disponíveis de forma distribuída. Não há necessidade de servidores centralizados, diminuindo consideravelmente a carga nos geradores de vídeo ao vivo. Ao contrário da arquitetura cliente/servidor, onde o poder de processamento e largura de banda podem se tornar um gargalo, em um sistema P2P todos os participantes assumem dois papéis: o de cliente, que consome recurso, e o de servidor, que fornece recurso a outros interessados. Por esse motivo, sistemas P2P distribuem o custo de se compartilhar informação e tendem a ser escaláveis, não só com aplicações para disseminação de conteúdo em vídeo, mas também voz, texto, arquivos e jogos.

Devido a essas características, na última década surgiu um grande interesse nas redes P2P. Porém, algumas deficiências fazem parte dessa solução. Dentre os principais fatores que afetam as redes P2P estão a segurança, como ataques de poluição de conteúdo e a dinamicidade com que participantes ingressam e deixam a rede (*churning*) [Stutzbach, 2006]. Além disso, a maior parte desses sistemas possui uma dinâmica associada ao próprio protocolo, uma vez que a disposição e importância dos nós e parcerias evoluem durante a transmissão à medida que as conexões são feitas e desfeitas [Horvath, 2008].

Diante disso, a caracterização de aplicações P2P de transmissão de vídeo ao vivo se tornou um tópico muito importante em redes de computadores. No entanto, essa tarefa se mostra desafiadora, uma vez que a maioria dessas aplicações, incluindo o SopCast<sup>10</sup>, tem protocolos proprietários e algoritmos desconhecidos até então [Bermudez, 2011], além de alta dinamicidade na formação de parcerias [Vieira, 2013].

A caracterização de sistemas P2P pode fornecer informações para auxiliar no projeto de novos algoritmos, principalmente no que diz respeito à estratégia de seleção de parcerias e encaminhamento de pacotes. Os resultados também podem ser utilizados para o dimensionamento de redes, identificando possíveis gargalos e outros pontos de falha que

---

<sup>7</sup><http://www.youtube.com>

<sup>8</sup><http://www.google.com>

<sup>9</sup><http://tech.fortune.cnn.com/2008/03/25/youtube-looks-for-the-money-clip/>

<sup>10</sup><http://www.sopcast.com>

podem impactar negativamente no desempenho da rede. Além disso, é possível definir estratégias de incentivo otimizadas, como por exemplo o aumento na largura de banda para um conjunto de nós que desempenham papéis importantes no sistema [Ferreira, 2012].

Embora exista um grande esforço com a finalidade de entender aplicações P2P de transmissão de vídeo ao vivo, a maior parte dos trabalhos focam em uma visão estática da rede [Bermudez, 2011, Ciullo, 2010, Vu, 2007, Borges, 2012]. Estes trabalhos não se preocupam em entender a dinâmica do sistema ou analisar como elas evoluem durante o tempo de transmissão.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma caracterização do comportamento da aplicação SopCast. Além disso, é realizada a identificação de participantes estáveis e líderes de comunidades e a possível relação das comunidades formadas com os Sistemas Autônomos da Internet.

## 1.1 Contribuições do trabalho

Este trabalho tem como objetivo entender, através do tratamento e análise de dados coletados, o comportamento do protocolo SopCast. Conhecer as características e o impacto do tráfego que essa aplicação gera na rede pode auxiliar no projeto e desenvolvimento de algoritmos mais eficientes, tendo em vista que esse tipo de sistema é sensível ao atraso, *jitter*, perda de pacotes e outros fatores que afetam a Qualidade de Experiência do usuário. Nesse sentido, as principais contribuições dessa dissertação são:

- Caracterizar, através de métricas bem conhecidas de redes complexas, a dinâmica da rede sobreposta formada pelo SopCast.
- Analisar a formação de comunidades de participantes, definidas pela troca de informação de pacotes de vídeo (*chunks*), e discutir o comportamento desses grupos.
- Identificar participantes estáveis e que contribuem de forma significativa para uma comunidade.
- Estudar o tráfego relacionado com a troca de pacotes de vídeo dentro e fora das comunidades. Além disso, correlacionar a formação de comunidades com os Sistemas Autônomos da Internet, a fim de discutir a eficácia na formação de parceria entre os participantes.

## 1.2 Organização da Dissertação

Este trabalho está organizado da seguinte forma: No capítulo 2 são descritos os conceitos teóricos a cerca da arquitetura e operação dos sistemas P2P de distribuição de vídeo ao vivo, importantes para a compreensão da proposta do trabalho e dos resultados alcançados. O capítulo 3 apresenta os trabalhos que serviram como base de conhecimento para a caracterização proposta no presente trabalho. Os métodos e ferramentas utilizados para coleta e modelagem dos dados estão descritos no capítulo 4. No capítulo 5 são discutidas, com base no uso de métricas de redes complexas, as propriedades da topologia sobreposta criada pela aplicação SopCast. O capítulo 6 apresenta um detalhamento das características das comunidades encontradas na rede sobreposta do SopCast, bem como a análise do tráfego e a apresentação de uma métrica para caracterização de participantes estáveis. Além disso, é feito um estudo a respeito da alocação dos participantes em uma comunidade e a relação com os Sistemas Autônomos. As conclusões do trabalho e a discussão sobre trabalhos futuros são apresentados no capítulo 6.

## 2 Conceitos Teóricos

Este capítulo discorre sobre os principais conceitos relacionados às redes P2P, destacando as redes de transmissão de vídeo ao vivo. Na seção 2.1 são apresentadas as características fundamentais dos sistemas P2P. A seção 2.2 descreve os principais aspectos associados aos sistemas P2P de distribuição de vídeo ao vivo.

### 2.1 Sistemas P2P

Redes P2P são descentralizadas, cada nó da rede é responsável por repassar a informação que recebeu, assumindo um papel de cliente, interessado no conteúdo, e servidor, provendo dados para outros nós da rede. [Milojicic, 2003] se refere a P2P como "uma classe de sistemas e aplicações que utilizam recursos distribuídos para desempenhar uma função de maneira descentralizada". Para [Shirky, 2000], "P2P é uma classe de aplicações que aproveitam recursos, tais como processamento e armazenamento, disponíveis na Internet".

A tradicional arquitetura cliente/servidor é um modelo onde os dispositivos interligados pela rede têm papéis específicos e bem definidos. O cliente, que é o interessado na informação faz uma ou mais requisições aos servidores e aguarda pela resposta. O servidor tem a função de disponibilizar conteúdo aos clientes interessados, sendo o responsável por armazenar dados, receber requisições, processá-las e retorná-las ou não para o requisitante. Embora o papel de servidor possa ser distribuído a um conjunto específico de computadores, a arquitetura e o modo de funcionamento são exatamente os mesmos. Aplicações como e-mail, banco de dados e páginas web são exemplos de funcionalidades construídas sobre o modelo cliente/servidor. As vantagens desse modelo é que como a organização é centralizada, o gerenciamento é facilitado. Porém, o custo de manutenção de um sistema cliente/servidor é diretamente proporcional à demanda de utilização desse sistema.

As redes P2P, no entanto, são redes compostas por diversos dispositivos distribuídos capazes de se auto organizarem. Cada um desses dispositivos, também conhecidos como nós ou participantes, assume, ao mesmo tempo, os papéis de cliente e servidor. Esses sistemas geralmente implementam circuitos lógicos que são criados sobre a camada de

aplicação, chamados redes sobrepostas. Esta topologia permite que a descoberta e identificação dos participantes da rede sejam independentes da topologia física. Serviços de telefonia IP, compartilhamento de arquivos e difusão de conteúdo audiovisual são exemplos de aplicações que tiram grande proveito dessa arquitetura.

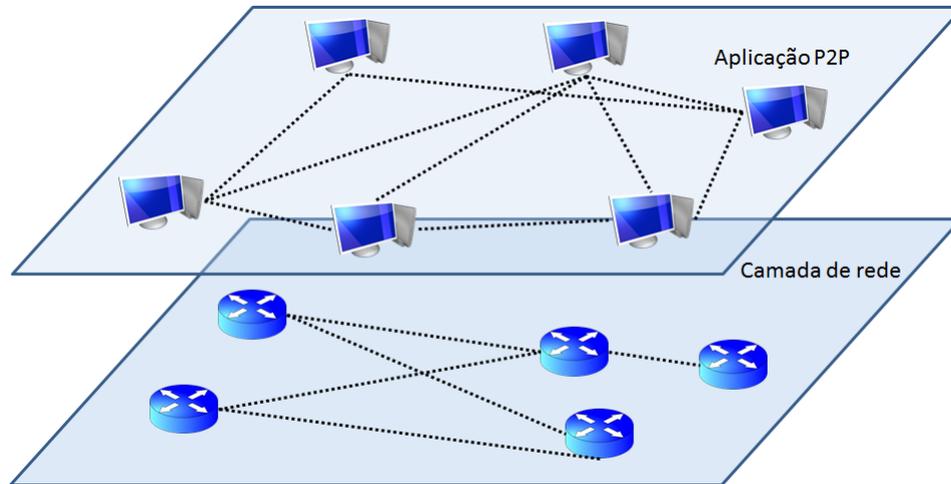


Figura 2.1: Rede sobreposta formada pelas aplicações P2P

Com o modelo P2P é possível aumentar o poder computacional do sistema e, ao mesmo tempo, reduzir o custo de se disponibilizar informação através da utilização de recursos ociosos dos dispositivos que fazem parte da rede.

Dentre as principais características que tornam essa arquitetura atrativa estão:

- **Baixo custo:** Por conta da arquitetura distribuída, os custos de processamento e largura de banda são dissolvidos entre os participantes da rede. Cada participante contribui proporcionalmente com a disponibilidade de recursos.
- **Autonomia:** Por ser um modelo descentralizado, os sistemas P2P permitem que seus participantes tenham autonomia a ponto de tomar decisões como entrar e deixar a rede, de acordo com seus interesses e necessidades, sem que o serviço seja interrompido.
- **Tolerância a falhas:** A estrutura P2P pode ser mais resistente a alguns incidentes. Um participante pode assumir o papel de outro que deixou a rede. Alguns tipos de ataque, como o de negação de serviço, são inviáveis, pois seria necessário atacar todos os participantes da rede para indisponibilizar o serviço.

- Escalabilidade: Os sistemas P2P conseguem lidar de forma eficiente com o crescimento da rede. Como todos os participantes são também provedores de conteúdo, é possível operar tanto com pequenos quanto grandes grupos de usuários.

Embora a arquitetura P2P tenha surgido há décadas, essa modalidade se tornou muito popular no final da década de 1990 com a aplicação Napster, que possibilitava a troca de arquivos no formato MP3. Como era necessário um servidor que armazenava o registro das músicas e fazia a associação de cada arquivo a uma máquina, o sistema era dependente de um ponto central e a justiça norte-americana conseguiu interromper o serviço por infringir a lei de propriedade e direitos autorais<sup>1</sup>.

A partir desta aplicação surgiram outras mais robustas, que eliminaram a necessidade de um servidor central para se realizar buscas. No Gnutella [Ripeanu, 2002], essa pesquisa se tornou distribuída através do mecanismo de *query flooding*, onde cada *peer* enviava uma lista de conexões ativas a seus parceiros. Isso fazia com que a rede pudesse crescer em questão de segundos.

Dependendo de como os nós são conectados, as redes P2P podem ser classificadas como estruturadas e não estruturadas. Sua organização reflete diretamente no comportamento da rede como um todo.

### 2.1.1 Estruturadas

Em redes estruturadas as ações são controladas seguindo critérios específicos. A topologia é, portanto, construída de forma determinística. Os protocolos utilizados nessas redes asseguram que o processo de busca seja eficiente e qualquer participante possa encaminhar uma busca para outro que tem o recurso/arquivo desejado. Tipicamente, as redes estruturadas utilizam um mecanismo de roteamento de consultas chamado DHT (*Distributed Hash Table*) [Carriero, 1986], que faz o mapeamento de chaves para participantes da rede utilizando algum algoritmo de *hash*. Para uma chave  $k$ , um nó  $X$  ou é dono da chave ou tem uma ligação para um nó perto de  $k$ . O limite superior de saltos necessários para encontrar uma chave nessa estrutura é  $O(\log N)$  [Stoica, 2001], dado que para uma chave  $k$  pesquisada, a requisição é direcionada para o nó que possui o maior identificador menor que  $k$  na tabela de roteamento do nó de origem. Esse tipo de roteamento é conhecido como roteamento baseado em chave (*key based routing*). A responsabilidade

---

<sup>1</sup>*Napster shut down* - <http://news.bbc.co.uk/2/hi/entertainment/852283.stm>

de manter esse mapeamento é distribuída entre os nós da rede de tal forma que uma mudança topológica cause o mínimo de interferência. Essa propriedade permite que a topologia se organize de forma eficiente mesmo com um número extenso de participantes, uma vez que as mensagens são encaminhadas de forma progressiva, facilitando a localização de recursos. Entretanto, a manutenção da topologia ideal para que o roteamento das mensagens seja eficiente é difícil, especialmente pela necessidade de se remapear os ponteiros de conteúdo. Em um cenário onde há uma alta taxa de entrada e saída de participantes do sistema, esse remapeamento pode ser comprometido devido ao elevado custo computacional.

Dentre as aplicações P2P que são estruturadas estão o Chord [Stoica, 2001], Tapestry [Zhao, 2001], CAN (*Counter Addressable Network*) [Ratnasamy, 2001] e Pastry [Rowstron, 2001].

### 2.1.2 Não-estruturadas

As redes P2P não-estruturadas não utilizam mecanismos especiais para organizar a topologia. Quando um participante ingressa na rede ele simplesmente copia as parcerias de algum outro nó. Nos primeiros sistemas, o mecanismo de busca mais comum era realizado por *flooding*, ou seja, um nó envia uma mensagem para todos os outros nós como forma de encontrar o maior número de participantes que tem um determinado recurso [Valduriez, 2004]. Embora seja uma solução simples, ela é pouco escalável [Androutsellis-Theotokis, 2004]. Em função disso, surgiram outros mecanismos de encaminhamento, como o de caminhada aleatória [Gkantsidis, 2004] e de índices de roteamento [Tsoumakos, 2003]. Os sistemas P2P não-estruturados são adequados quando os participantes tem grande dinamicidade, ou seja, entram e saem do sistema a todo momento.

Essas redes podem ser divididas em pura, centralizada ou híbrida:

- Pura ou descentralizada: Todos os nós da rede são iguais, possuem o mesmo papel de cliente e servidor, não existe um servidor central. Sua principal característica é a topologia completamente descentralizada, por isso, é o modelo que segue a risca o paradigma *peer-to-peer*. O sistema de busca é por *flooding*, que consiste em repassar a consulta a todos os nós da rede. Dependendo do sistema, para evitar que a rede fique sobrecarregada devido ao alto número de consultas, a quantidade de consultas é limitada. Cada participante é responsável por manter localmente informações

próprias como arquivos e índices, além de responder ou rotear consultas através da rede. Gnutella (até a versão 0.4) [Ripeanu, 2002], FreeNet <sup>2</sup> e Kazaa <sup>3</sup> são exemplos de sistemas com estrutura pura ou descentralizada.

- Centralizada: Nesse modelo existe um dispositivo servidor responsável por regular a entrada de nós na rede. Além disso, esse servidor pode ter a função de mapear os recursos na rede. Por essas características, esse modelo apresenta o gerenciamento simplificado. Porém, a rede apresenta um ponto único de falha. Um exemplo de sistema que utiliza esse modelo é o Napster<sup>4</sup>.
- Híbrida: Esse tipo de rede possui características de redes P2P centralizadas e descentralizadas. Nesse modelo alguns participantes agem como servidores centrais e são chamados de super-nós [Rocha, 2005] e os clientes "normais" se conectam a eles. Normalmente os super-nós são os que possuem mais recursos como poder de processamento e/ou largura de banda e são eles os responsáveis por gerenciar as buscas na rede P2P e o ingresso de novos participantes na rede. Cada super-nó se conecta a outros super-nós. Podemos destacar iMesh <sup>5</sup>, eMule <sup>6</sup>, Skype<sup>7</sup> e BitTorrent <sup>8</sup> [Cohen, 2003] como aplicações que seguem esse modelo.

## 2.2 Sistemas P2P de distribuição de vídeo

Os serviços de distribuição de conteúdo audiovisual se espalharam rapidamente através da Internet. Em uma arquitetura P2P, esses serviços encontram uma infraestrutura de baixo custo, com alta disponibilidade, e mais apropriada ao fazer com que os participantes também sejam responsáveis por repassar informações de vídeo.

Existem duas modalidades principais de transmissão de vídeo: sob demanda (*video-on-demand* ou VOD) e ao vivo. Em um sistema de transmissão sob demanda, o conteúdo está armazenado e disponível para ser assistido a qualquer momento. Os usuários são capazes de interagir com o sistema, executando ações como pausar e retomar a transmissão de um

---

<sup>2</sup><https://freenetproject.org>

<sup>3</sup><http://www.kazaa.com>

<sup>4</sup><http://napster.com>

<sup>5</sup><http://www.imesh.com>

<sup>6</sup><http://www.emule-project.net>

<sup>7</sup><http://www.skype.com>

<sup>8</sup><http://www.bittorrent.com>

vídeo ou escolher um ponto específico para execução, assim como é feito no YouTube ou no Netflix<sup>9</sup>.

Em transmissões ao vivo, a informação é consumida a medida que ela vai sendo produzida. Os pacotes de vídeo possuem um tempo de vida pequeno e devem chegar ao receptor em tempo suficiente para ser reproduzido [Zhou, 2007]. Ao contrário dos sistemas VOD, onde os usuários aceitam que o vídeo demore certo tempo para começar a ser reproduzido, em transmissões ao vivo, o espectador deve ter a mínima percepção de atraso possível, dado que o evento ocorre em tempo real. Essa propriedade é fundamental para a adoção da tecnologia. Atrasos, perda de pacotes e largura de banda insuficiente influenciam negativamente a transmissão de vídeo em tempo real e devem ser levados em consideração no projeto de sistemas P2P.

Quanto à sua organização, as topologias dos tipos de redes formadas pelas aplicações P2P de transmissão de vídeo podem ser classificadas em dois tipos: baseada em árvore e baseada em malha.

### 2.2.1 Topologia baseada em árvore

Nesse tipo de rede a organização é hierárquica, onde a origem da informação está na raiz da árvore e o conteúdo é transmitido sempre do “nó pai” para os “nós filhos” sem que estes tenham feito uma requisição. Esse mecanismo de encaminhamento automático, conhecido como *push*, é realizado por todos os nós da rede. Garantindo a transferência do conteúdo da raiz até as folhas. Essa organização topológica é também chamada de *Tree-push*.

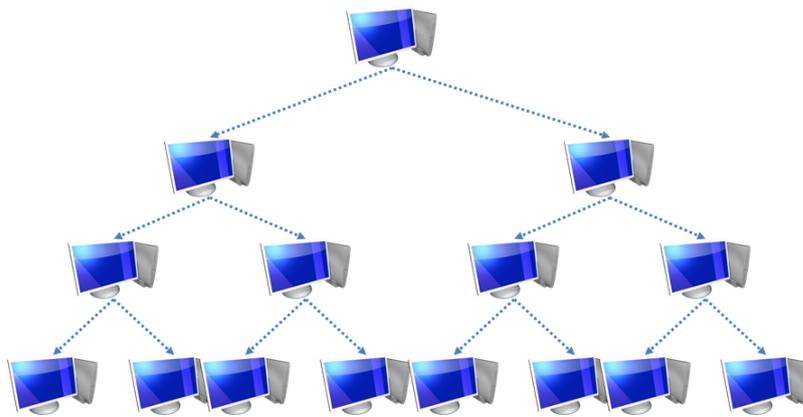


Figura 2.2: Rede sobreposta com organização em árvore

Apesar da sobrecarga na rede ser menor, dado que não existem pedidos explícitos de

<sup>9</sup><http://www.netflix.com>

pacotes de vídeo, essa abordagem apresenta algumas falhas. O sistema se torna muito exposto a falhas quando a dinamicidade na rede é grande, visto que as saídas e quedas de alguns pares representam interrupção do tráfego para os nós filhos. O fluxo só é retomado quando a árvore é reorganizada. Além disso, um nó próximo a raiz que sofra limitações de banda se torna um gargalo para o sistema e pode afetar a qualidade de serviço em uma parte da rede, pois a velocidade de transmissão da origem ao destino é limitada pela menor banda. Mais que isso, a capacidade de *upload* dos pares descendentes é desperdiçada.

Como exemplos de sistemas que organizam sua topologia em árvore, estão o Overcast [Jannotti, 2000] e o NICE [Banerjee, 2002].

### 2.2.2 Topologia baseada em malha

Em redes baseadas em malha, a construção topológica não é determinística, ou seja, na construção em malha os participantes formam um conjunto de conexões aleatórias. Nesta topologia, o conteúdo audiovisual é dividido em vários pedaços chamados *chunks* e a formação de parceria é aleatória e não existe um fluxo específico de distribuição de conteúdo. Cada par deve informar ao seu parceiro qual informação ele possui através de um mapa de *chunks*.

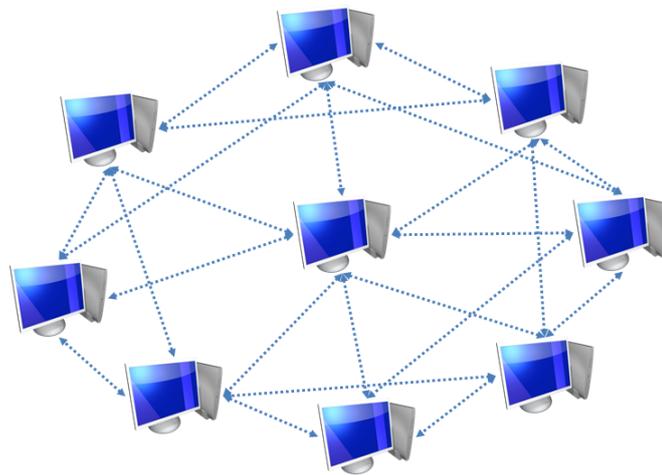


Figura 2.3: Rede sobreposta com organização em malha

Essa organização é altamente resistente ao *churning*, uma vez que os participantes podem ter diversos parceiros, ao contrário da topologia em árvore. Cada um dos participantes contribui ativamente com sua taxa de *upload*, diminuindo a possibilidade de existir um gargalo relacionado à largura de banda de um participante. Os interessados em uma

determinada informação devem requisitá-la a seus parceiros que a possuem. Esse mecanismo, onde o tráfego é orientado por requisições é conhecido como *pull*. Dessa forma, essa organização é também conhecida como *Mesh-pull*.

Da mesma forma que na topologia baseada em árvore, é possível utilizar o mecanismo *push* nas topologias baseadas em malha. Isso pode acontecer no caso dos vizinhos conhecerem as necessidades uns dos outros. Cada nó repassa informações aos seus vizinhos sem a necessidade de uma requisição.

Essa organização em malha é utilizada pela maioria dos sistemas P2P de transmissão de vídeo ao vivo, inclusive os mais populares como TVAnts<sup>10</sup>, SopCast, PPStream<sup>11</sup> e PPLive<sup>12</sup> [Moraes, 2008].

### 2.2.3 Aplicações P2P de transmissão de vídeo

Atualmente existem várias aplicações P2P de transmissão de vídeo que transmitem diferentes tipos de conteúdo em vários idiomas. Nesta parte do trabalho serão apresentadas algumas das mais populares.

O SopCast é uma das aplicações P2P mais importantes atualmente, atingindo a marca de milhares de usuários. Essa aplicação transmite conteúdo através de diversos canais abertos, que ficam disponíveis na janela da aplicação, e canais fechados, que não aparecem na grade de canais do SopCast e podem ser protegidos ou não por senha. Cada canal cria uma rede sobreposta chamada *swarm* (conjunto de participantes interessados em um conteúdo específico). O SopCast foi selecionado como objeto de estudo para o presente trabalho por se tratar, atualmente, da aplicação P2P de transmissão de vídeo mais popular, como mostrado na figura 2.4.

A estrutura topológica implementada pelo SopCast é do tipo malha [Tang, 2009] e é composta por clientes comuns, interessados na transmissão, e por um dispositivo que é a origem do conteúdo da transmissão ao vivo. Além disso, existe um servidor, conhecido como *bootstrap*, que é responsável por manter um banco de dados com registro de todos os participantes da rede. Quando um novo participante ingressa na rede, o *bootstrap* fornece a ele uma lista com possíveis parceiros (*peerlist*). Essa busca por novas conexões é constante. Os participantes podem se conectar a esses possíveis parceiros e consultar

---

<sup>10</sup><http://www.tvants.com>

<sup>11</sup><http://www.pps.tv>

<sup>12</sup><http://www.pplive.com>

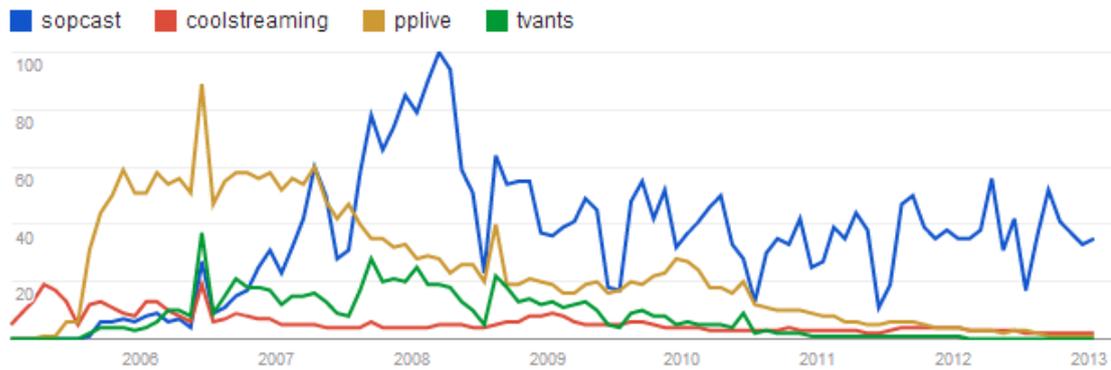


Figura 2.4: Pesquisa no Google de aplicações P2P de transmissão de vídeo ao vivo  
 Fonte: Google Trends

novamente o *bootstrap* em busca de novas parcerias após um período ou receber uma lista de *peers* diretamente de seus parceiros.

Apesar de ser de uso gratuito, o código do SopCast é fechado e proprietário. As informações contidas no site do SopCast são limitadas e o conhecimento do protocolo que controla a dinâmica da topologia formada pelo SopCast é restrito [Bermudez, 2011].

Outra aplicação bastante popular é o CoolStreaming, que foi o sistema P2P de transmissão de vídeo ao vivo pioneiro na utilização de difusão de conteúdo audiovisual orientado a *chunks*. Portanto, com topologia baseada em malha. Desenvolvido em Python, o CoolStreaming (*COoperative OverLay Streaming*) é um sistema P2P de código aberto e notável pelo uso de seu algoritmo de gerenciamento de parcerias junto com o algoritmo de agendamento inteligente, que lida bem com a diferença na largura de banda dos clientes [Zhang, 2005]. O CoolStreaming utiliza o algoritmo epidêmico *Gossip* para transmissão de conteúdo. Essa aplicação é hoje a base para o sistema de IPTV da RoxBeam [Zhang, 2007].

Criado na Universidade de Ciência e Tecnologia de Huazhong, o PPLive<sup>13</sup> é uma aplicação baseada na topologia *mesh-pull* que transmite vídeos gravados e ao vivo em uma taxa que, na maioria das vezes, está entre 250kbps e 400kbps [Hei, 2007]. Seu código também é fechado e existem diversos estudos na literatura que caracterizam esta aplicação [Li, 2011, Ciullo, 2010, Horvath, 2008].

Uma das aplicações mais importantes e populares no mundo, o TVAnts<sup>14</sup> foi desenvolvido pela Universidade de Zheijiang, na China. Devido ao grande conteúdo esportivo transmitido por essa aplicação, ela se tornou uma das favoritas para interessados em espor-

<sup>13</sup><http://www.pplive.com>

<sup>14</sup><http://www.tvants.com>

tes, principalmente futebol. O protocolo utiliza pacotes TCP e UDP, mas a maior parte dos pacotes (75%) é trafegada via TCP [Silvertson, 2007]. Assim como no SopCast, apesar do TVAnts ser uma aplicação gratuita, seu código não é aberto e seu comportamento é inferido a partir de trabalhos de caracterização.

## 3 Trabalhos relacionados

Compreender o funcionamento dos protocolos responsáveis pelo comportamento dos sistemas P2P não é uma tarefa simples. A dinamicidade e o fato de vários dessas aplicações serem proprietárias e de código fechado tornam essa tarefa ainda mais complexa. Além disso, considerando os sistemas P2P de transmissão de vídeo ao vivo, desafios mais específicos podem ser relacionados. Por exemplo, a má utilização de banda pode gerar atrasos que são sensíveis à percepção do usuário e geram desconfortos para o espectador durante a transmissão.

Na literatura existe um amplo conjunto de trabalhos que buscam compreender o comportamento de aplicações P2P de transmissão de vídeo ao vivo [Zhang, 2010, Tian, 2007, Vieira, 2009, Tang, 2009]. Alguns desses trabalhos são baseados em aspectos específicos, como o comportamento do usuário da aplicação, levando em consideração os interesses e até mesmo a localização desses participantes [Hei, 2007, Huang, 2008].

Em [Xiao, 2007], por exemplo, os autores examinam a regularidade dos nós durante o tempo e mostram que, ao contrário de aplicações de VoIP como o Skype, os usuários do PPLive utilizam o sistema P2P para assistir a transmissões fora do horário de trabalho, tendência seguida por usuários tradicionais de TV.

O estudo baseado somente em aspectos relacionados ao comportamento do usuário, no entanto, pode mascarar pontos cruciais a respeito das redes P2P de transmissão de vídeo ao vivo. A caracterização de aplicações de difusão de vídeo em tempo real pelo estudo do tráfego gerado pelos participantes é de grande importância para entender os mecanismos por detrás dos sistemas. Dentre os trabalhos de caracterização de tráfego, destacam-se os que seguem uma abordagem tradicional, com análise estática, e os que consideram a dinamicidade da rede.

### 3.1 Caracterização considerando a abordagem tradicional

A abordagem tradicional é utilizada por grande parte dos trabalhos que tratam caracterização de redes P2P. Esses trabalhos se baseiam em uma representação estática da rede,

na qual a evolução da topologia no tempo não é considerada.

Com o objetivo de compreender o comportamento do tráfego de dados gerado por aplicações P2P de transmissão de vídeo ao vivo, [Tang, 2009] discute a maneira como os nós se organizam na rede sobreposta do SopCast. Através de experimentos realizados no PlanetLab e da análise do tamanho e frequência dos pacotes, os autores sugerem que o tráfego pode ser dividido em tráfego de controle e tráfego de vídeo, formando, assim, uma topologia de duas camadas. Os pacotes de controle são utilizados para diferentes funcionalidades, que coordenam a operação de todo o sistema, como troca de sinalização e *peerlists*. Com base no grau dos nós que constroem a rede, os autores concluem que a topologia SopCast é altamente tolerante a falhas e a comunicação entre os participantes é descentralizada.

Outra caracterização do tráfego das aplicações populares de P2P é descrita em [Silverston, 2007b]. Com dados coletados das aplicações PPLive, PPStream, SopCast e TVAnts, durante a Copa do Mundo de 2006, foi apresentado um extenso estudo a respeito de vários aspectos da transmissão, bem como tamanho dos pacotes trafegados e taxas de *download* e *upload*. [Silverston, 2010] discutiu sobre as mesmas aplicações e concluiu que, dentre estas, no SopCast os participantes apresentaram taxas de *upload* maiores que as de *download* quando comparado com os outros sistemas.

### **3.1.1 Participantes estáveis**

Em ambientes P2P, existem participantes que podem se diferenciar e ganhar importância frente a outros nós [Wu, 2008]. Aspectos como a disponibilidade de recursos e também o período em que estes permanecem com atividade no sistema podem ser importantes para toda rede. Como consequência disso, surgiram trabalhos que focam justamente na identificação desses participantes.

Uma “métrica de utilidade“ que permite a descoberta de participantes que são chamados de "estáveis" em um sistema P2P de transmissão de vídeo é apresentada em [Sacha, 2006]. Nesse trabalho, os autores sugerem que os participantes façam uso dessa métrica para auto-avaliação de desempenho e estabilidade. Os valores das medições, então, são compartilhadas com os vizinhos, que se auto-organizam de modo a criar uma topologia mais eficiente para a difusão de conteúdo.

Em [Wang,2008], os autores desenvolvem uma métrica diferente para identificação

de nodos estáveis em sistemas P2P de transmissão de vídeo ao vivo. Esta métrica é baseada no tempo de vida do nó durante uma transmissão. Uma vez que esses nós são identificados, é proposta uma arquitetura em árvore, onde os nós estáveis formam uma camada que atua como um *proxy* para participantes transientes presentes na topologia. Os nós com maior tempo de vida são considerados estáveis.

Com uma série de dados coletados em vários países e um amplo conjunto de participantes, [Horvath, 2008] apresentou uma caracterização dos mais populares sistemas de P2P de transmissão de vídeo ao vivo (PPLive, SopCast e TVAnts). Foram investigadas as possíveis propriedades dos algoritmos que compõem e gerenciam a formação de parcerias desses sistemas. Os resultados mostraram que para todas as aplicações os dados são baixados principalmente dos nós que possuem a maior largura de banda. Apenas o TVAnts e parcialmente o PPLive demonstraram preferência em buscar informações em nós próximos como forma de reduzir a carga na rede.

Apesar de alguns autores considerarem um nó estável aquele com grande tempo de vida, é importante levar em consideração a dinamicidade do mesmo. Mais ainda, um determinado participante da rede pode ter longo tempo de vida e não colaborar efetivamente para a transmissão. Os participantes podem ganhar e perder importância em momentos diferentes. Portanto, fazer a análise do período total da transmissão de forma geral pode ocultar resultados relevantes.

## 3.2 Caracterização considerando dinâmica

A caracterização de sistemas P2P baseadas somente na representação estática da rede pode levar a uma diferença de resultados quando a dinamicidade dos participantes é considerada. Por isso, é importante também direcionar esforços no sentido de compreender a dinâmica dessas topologias, pois podem revelar as propriedades do sistema P2P com maior precisão.

Com o objetivo de compreender a dinâmica do tráfego da aplicação P2P SopCast, [Bermudez, 2011] faz uma análise do sistema com base em três grafos gerados a partir de uma rede sobreposta:

- Grafo da rede social: Representa os usuários que utilizam a aplicação. Suas ligações formam um grafo social, onde os usuários são os vértices interconectados por arestas

que representam seus interesses em comum.

- Grafo da rede sobreposta: Esse grafo é formado por ligações entre participantes que descrevem o tráfego de pacotes oriundos da aplicação SopCast. Toda a informação de controle e conteúdo passa por essas conexões.
- Grafo de distribuição de vídeo: É um subgrafo da rede sobreposta, onde são considerados apenas os pacotes de vídeo trafegados entre os participantes da rede sobreposta SopCast.

Os dados utilizados em [Bermudez, 2011] foram extraídos de forma passiva de provedores de acesso durante as finais da UEFA<sup>1</sup> *Champions League* 2008/2009<sup>2</sup>. Não houve qualquer influência no comportamento dos usuários.

Os autores analisaram a relação dos participantes com base nos grafos construídos e discutiram sobre fatores que podem ser significativos para o funcionamento do sistema, tais como o tempo em que os participantes permanecem executando a aplicação SopCast e se a entrada e saída de nós são relevantes para o sistema. Além disso, foi apresentada uma análise sobre a influência da localização dos usuários, cujos resultados sugerem uma preferência dos participantes em buscar conteúdo audiovisual em parceiros que fazem parte do mesmo Sistema Autônomo. Como consequência, existe a possibilidade de redução de custos dos provedores, que pagam pela troca de tráfego de dados com outros provedores de Internet.

### 3.3 Estudo através de métricas de redes complexas

Redes complexas é uma disciplina que desperta muito interesse na comunidade científica devido à sua natureza inter-disciplinar, que abrange áreas de conhecimento que vão desde sistemas biológicos até a de redes sociais na web, por exemplo. Na computação, especialmente em redes de computadores, as redes complexas podem ser aplicadas no estudo dos sistemas P2P.

Através do uso de métricas de centralidade, por exemplo, [Wu, 2008] apresentou um tipo de caracterização da aplicação UUsee e correlacionou a distribuição de grau dos nós e taxa de *upload*. Foi observado que o grafo de topologia formado segue o modelo

---

<sup>1</sup> *Union of European Football Associations*

<sup>2</sup> <http://www.uefa.com/uefachampionsleague>

*Small World*. Além dele, [Oliveira, 2010] também aplica métricas de centralidade (grau e *closeness*) para identificar grupos super-nós na rede sobreposta SopCast. Super-nós também são conhecidos por apresentarem uma característica específica frente a outros nós da rede. No trabalho de [Oliveira, 2010], é apresentando um conceito de super-nós através da análise da taxa de *upload* dos participantes.

### 3.3.1 Identificação de comunidades em P2P

O presente trabalho analisa a formação de comunidades de distribuição de vídeo na rede formada pelo SopCast. A identificação de comunidades em redes complexas pode auxiliar na caracterização de sistemas de forma mais significativa, uma vez que esses grupos podem apresentar características específicas.

Uma discussão por agrupamentos específicos em redes complexas, é investigada em [Khambatti, 2002], que tem como foco a formação de comunidades auto-configuráveis, ou seja, o comportamento dos nós em suas formações de parcerias com base em tendências e interesses dos usuários. Além disso, os autores apresentam um mecanismo para descoberta dessas comunidades. Tal mecanismo é baseado na associação de atributos para todos os participantes da rede, membros com atributos em comum tendem a se agruparem em comunidades.

Uma metodologia para capturar a dinâmica de comunidades em redes complexas é descrita em [Wang, 2011]. Uma análise é realizada separando os dados coletados em pequenos períodos de tempo pré-determinados, chamados *snapshots*. Após essa divisão, é aplicado o algoritmo *Louvain* [Blondel, 2008], para identificação de comunidades em grafos, em cada um desses *snapshots*. A evolução dos agrupamentos, isto é, a identificação das mudanças das comunidades no tempo, consiste na interseção de grupos entre um *snapshot* no tempo  $T_i$  e no seu sucessor  $T_{i+1}$ . Essa metodologia é utilizada nessa dissertação.

Com a utilização de dados coletados de redes de dispositivos móveis conectados via Bluetooth, [Diot, 2012] observa agrupamentos de disseminação de conteúdo que se formam durante o tempo. O trabalho segue uma metodologia semelhante a que foi proposta em [Wang, 2011] para evolução de comunidades. Com a divisão dos grafos formados por essa rede em pequenos subgrafos, são chamados de comunidades temporais, os autores mostram que essas comunidades temporais estão relacionadas com os interesses dos

participantes da rede, seguindo o aspecto social. Este trabalho de correlação é similar à abordagem sugerida em [Mtibaa, 2008], onde uma forte relação é estabelecida entre a centralidade de um participante em uma rede social e seu papel na distribuição de conteúdo.

## 4 Metodologia e modelagem

Este capítulo descreve a metodologia utilizada para coleta de dados e análise dos resultados obtidos. A metodologia para coleta de dados é descrita na seção 4.1. O mecanismo para identificação de comunidades é apresentado na seção 4.3. Na seção 4.4 são definidas as métricas utilizadas para análise dos grafos e subgrafos que representam a rede sobreposta e as comunidades. Finalmente, na seção 4.5 são apresentados os modelos teóricos de distribuição utilizados nas análises de resultados.

### 4.1 Metodologia de coleta de dados

A base de dados utilizada neste trabalho foi obtida através de experimentos realizados com computadores no PlanetLab<sup>1</sup>. Cada computador atua como um cliente SopCast, uma das aplicações de transmissão ao vivo em P2P mais populares.

#### 4.1.1 *PlanetLab*

O PlanetLab é uma rede internacional composta por diversos computadores conectados à Internet. O PlanetLab disponibiliza um ambiente de apoio para desenvolvimento de novas soluções e testes em sistemas que necessitam de validação em um cenário real. A maioria dos dispositivos está alocada em instituições de pesquisa e universidades. Cada instituição participante disponibiliza um ou mais computadores que assumem o papel de servidores de máquinas virtuais.

A principal vantagem de utilizar o PlanetLab para pesquisas é que os computadores estão geograficamente distribuídos e fazem parte de diferentes redes, cada uma com suas próprias regras de roteamento, Qualidade de Serviço e segurança. Essas características simulam um ambiente real e evitam que políticas locais interfiram ou mascarem os resultados obtidos. Atualmente, o PlanetLab conta com aproximadamente 1100 nós distribuídos por mais de 540 instituições, segundo o próprio site.

---

<sup>1</sup><http://www.planet-lab.org>

### 4.1.2 Coleta de dados

Com o objetivo de entender o comportamento dos participantes da aplicação SopCast, isolando possíveis perturbações como clientes maliciosos, foi criado um canal de vídeo fechado, onde somente clientes hospedados no PlanetLab fazem parte da difusão do mesmo. O número total de computadores usados no experimento variou entre 381 a 389 clientes heterogêneos espalhados geograficamente pelo mundo. Nenhuma limitação de banda de rede ou de processamento foi imposta aos participantes dos experimentos. As limitações existentes são inerentes ao próprio ambiente.

O gerador do vídeo, que é um participante especial chamado servidor, foi hospedado na rede do campus da Universidade Federal de Juiz de Fora<sup>2</sup>, onde transmitia vídeo continuamente a uma taxa de 500kbps. O arquivo de vídeo tem duração de 32 minutos e foi transmitido de forma cíclica, isto é, ao final de uma execução, o vídeo retomava a execução do início. O servidor de vídeo estava em uma rede com acesso irrestrito, livre de regras de *firewall* e limitações de banda. Durante a transmissão, foi utilizado o *TCPDump*<sup>3</sup> para que o tráfego passante pela placa de rede do computador fosse capturado e registrado em um arquivo.

Os clientes do PlanetLab utilizados nos experimentos executaram uma versão padrão Linux/Fedora do SopCast. Cada um deles executou um *script* que realizava o *download* dos arquivos de instalação do *TCPDump* e do cliente SopCast e os instalavam no sistema operacional. Definida no mesmo *script*, a aplicação iniciava e se registrava em uma hora específica no canal privado registrado no SopCast. Após o período total da transmissão, os participantes compactavam os arquivos de texto gerados pelo *TCPDump* e enviavam os dados para um servidor central, encarregado de receber todos os registros de captura de dados.

O *TCPDump* foi configurado para capturar apenas o tráfego com portas lógicas utilizadas pelo sistema SopCast (por exemplo, porta UDP/TCP 3909). Os dados de cada captura foram armazenados em arquivos que registraram a data e a hora (na granularidade de 1 segundo) de cada pacote enviado e recebido pelo computador ao longo da transmissão do vídeo. Todos os computadores foram sincronizados através do NTP (*Network Time Protocol*) com a configuração do mesmo servidor entre eles, de modo que os participantes

---

<sup>2</sup><http://www.ufjf.br>

<sup>3</sup><http://www.tcpdump.org>

se registrassem no canal, aproximadamente, no mesmo tempo. O NTP permite a sincronização da hora dos dispositivos com precisão a partir de uma referência padrão utilizada pelo UTC (*Coordinated Universal Time*). Essa sincronização garantiu que a diferença de tempo entre os computadores pudesse ser desconsiderada para os experimentos realizados.

O foco do presente trabalho é na caracterização do protocolo SopCast, ou seja, no processo de formação de parcerias e disseminação de conteúdo audiovisual. Por isso, não foi considerado o fenômeno *churning* (entrada e saída de participantes durante a transmissão), ou seja, todos os participantes do experimento permaneceram conectados o tempo todo, sem o ingresso de novos participantes durante a transmissão.

Os registros de captura de dados foram separados por experimentos. Com os dados enviados ao servidor central, foi realizada a análise dos arquivos dos clientes do Planetlab. Essa análise teve o objetivo de garantir que fossem utilizados apenas experimentos em que todos os participantes permaneceram ativos (enviando ou recebendo dados) durante toda a transmissão de vídeo. Desta forma, as análises foram realizadas com a menor taxa de erro possível.

Para a análise proposta, cinco experimentos foram selecionados. A Tabela 4.1 apresenta os parâmetros do conjunto de experimentos realizados.

Tabela 4.1: *Resumo dos Experimentos Realizados*

Número de experimentos	5
Período dos experimentos	19/04/2012 a 24/04/2012
Número de computadores por experimento	381 a 389
Duração da transmissão	60 minutos
Tamanho médio dos logs	65 MB

Uma vez selecionados os experimentos, todos os arquivos de registro de captura dos clientes SopCast foram utilizados para reconstruir a topologia dinâmica e o comportamento dos participantes da rede sobreposta do SopCast. Foram utilizadas as informações de data/hora, IP de origem e destino de cada mensagem capturada para gerar uma sequência de representações da rede P2P em um período (*snapshots*).

Cada *snapshot* acumula informações de 5 segundos de captura. O intervalo entre um *snapshot* e outro é de 1 segundo. Ou seja, foi criada uma janela de 5 segundos (tamanho do *snapshot*) que desliza de 1 em 1 segundo. Cada um dos experimentos teve 3295 *snapshots* associados.

Durante a análise, o foco foi no processo de distribuição de vídeo. Um pacote de

Tabela 4.2: Volume de troca de pacotes de vídeo

Experimento	Número de pacotes de vídeo
1	Aproximadamente 65 Milhões
2	Aproximadamente 64 Milhões
3	Aproximadamente 59 Milhões
4	Aproximadamente 62 Milhões
5	Aproximadamente 60 Milhões

vídeo (*chunk*) em uma rede SopCast pode ser diferenciado de um pacote de controle pelo seu tamanho. Os pacotes com mais de 400 bytes são classificados como *chunks* de vídeo [Xiao, 2007, Tang, 2009]. Essa abordagem foi utilizada, pois existe interação efetiva entre os participantes somente se estes trocam pacotes de vídeo. A Tabela 4.1.2 mostra, para cada experimento, o número total de pacotes trafegados entre os *peers*.

## 4.2 Modelo

Na análise realizada, cada *snapshot* foi descrito como um grafo, conforme notação utilizada por [Basu, 2010], que representava a topologia da rede em um período da transmissão. A seguir é descrito o modelo matemático considerado nesta dissertação.

Seja  $G(V, E)$  a representação desta rede, sendo  $V$  o conjunto de nós e  $E$  o conjunto de arestas. Um cliente SopCast é representado por um nó no grafo  $G$  e as arestas descrevem as conexões entre esses clientes. Uma aresta é formada quando há pelo menos uma troca de dados entre os nós  $p_i$  e  $p_j$  no *snapshot*  $T_k$ .

Seja o período total de observação do sistema real denotado por  $T_N$ , iniciado no tempo  $T_1 = 0$ . Sem perda de generalidade, considera-se que a visão agregada da rede (modelagem do sistema considerando o tempo total de observação  $T_N$ ) é feita através da construção do grafo estático  $G$ .

Seja  $\mathcal{G}_t(\mathcal{V}_t, \mathcal{E}_t)$  a representação dinâmica do grafo agregado  $G$ , sendo  $\mathcal{V}_t$  o conjunto de nós e  $\mathcal{E}_t$  o conjunto de arestas. O grafo  $\mathcal{G}_t$  e os conjuntos  $\mathcal{V}$  e  $\mathcal{E}$  estão indexados no tempo  $t$ , com  $T_1 \leq t \leq T_N$ . A figura 4.1 ilustra a representação da rede P2P discutida. Cada plano refere-se a um *snapshot* e *snapshots* consecutivos apresentam uma diferença de tempo entre eles.

Conforme discutido anteriormente, a granularidade utilizada na sequência de *snapshots* utilizado nesse trabalho é de 1 segundo. A duração de cada *snapshot* é definido, por  $\Delta =$

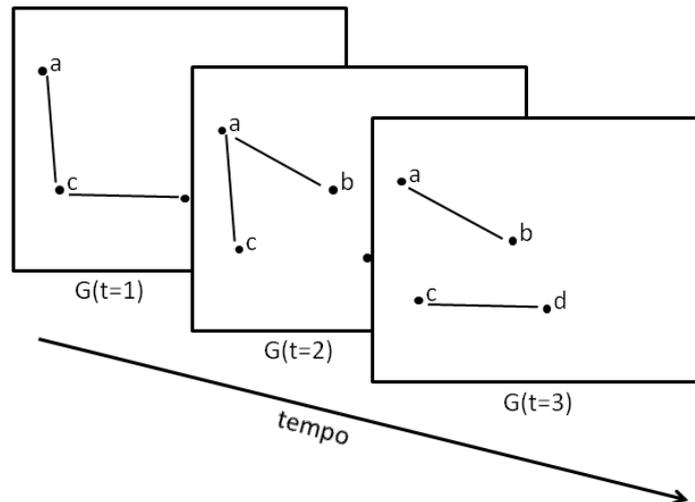


Figura 4.1: Representação Dinâmica da Topologia de Rede para  $t = 1, 2, 3$

$T_i - T_{i-1}$ , com  $1 \leq i \leq N$ , onde  $N = 3295$  (número total de *snapshots* por experimento). O valor utilizado para  $\Delta$  é de 5s. Valores grandes de  $\Delta$  aproximam cada *snapshot* a uma única representação do sistema, desconsiderando toda a dinâmica do sistema e reduzindo a análise ao grafo estático  $G$ . Valores muito pequenos de  $\Delta$  podem não capturar as interações entre os nós da rede. O valor escolhido captura a maior parte das interações entre os usuários do SopCast, que ocorrem com diferenças de até 5s [Borges, 2012].

### 4.3 Identificação de comunidades

Durante a transmissão do vídeo ao vivo pelo canal do SopCast, os participantes se aglomeram em pequenos grupos (comunidades). Os participantes desses grupos trocam informações e dados do vídeo entre si. Ao longo da transmissão, da mesma forma que os participantes trocam de parceiros, eles podem trocar de grupos livremente.

Para detectar as comunidades formadas durante a transmissão analisada, foi utilizado o algoritmo de detecção de comunidades *FastGreedy* [Clauset, 2006]. Por esse algoritmo, os participantes são aglomerados em uma comunidade automaticamente segundo suas ligações (parcerias) e pesos são dados a essas parcerias (e.g. volume de dados entre parceiros). Mais precisamente, a identificação das comunidades é determinada por uma função que identifica subgrafos densos utilizando a otimização da medida de modularidade original de Newman [Newman, 2004] através de uma busca gulosa.

Modularidade é uma métrica que permite a avaliação de agrupamentos em uma rede.

Essa medida mede a qualidade de uma possível divisão da rede em comunidades, ou seja, de uma determinada divisão do grafo ser ou não significativa. A função de modularidade é dada por:

$$Q = \sum_i (e_{ii} - a_i^2) \quad (4.1)$$

onde  $e_{ii}$  é a fração das arestas do grafo que estão dentro da comunidade  $i$ , e  $a_i^2$  é esta mesma fração, mas considerando que as arestas são inseridas de forma aleatória.

Foram testados diversos algoritmos de identificação de comunidades em um grafo: *Leading Eigenvector*, *Spinglass*, *Walktrap Community* e *FastGreedy*.

O *Leading Eigenvector* utiliza uma abordagem *top-down* hierárquica que otimiza a modularidade. Em cada passo, o grafo é dividido em duas partes de modo que a divisão em si produz um aumento significativo da modularidade. A divisão é determinada através da avaliação da autovetor levando a matriz de modularidade, e existe também uma condição que evita que os grupos ligados firmemente a ser dividida ainda mais. O *Leading Eigenvector* não trabalha, até então, com arestas ponderadas.

O algoritmo *Spinglass* utiliza uma abordagem de física estatística, com base no modelo de Potts. Neste modelo, cada partícula (vértice) pode estar em um dos estados de *spin*  $c$ , e as interações entre as partículas (ou seja, as arestas do grafo) especificam quais pares de vértices preferem ficar no estado de spin  $c$  e quais preferem ter diferentes estados de spin. O método é não-determinístico e a cada execução gera um conjunto diferente de comunidades.

O *Walktrap Community* é baseado em passeios aleatórios. A idéia geral é que se fossem executados passeios aleatórios no grafo, em seguida, os passeios são mais propensas a permanecer dentro da mesma comunidade, pois existem apenas algumas arestas que levam fora de uma determinada comunidade. A execução desse algoritmo é extremamente demorada.

O *FastGreedy* foi utilizado por apresentar algumas características específicas. Ao contrário de outros algoritmos de identificação de comunidades (*clusters*) como o *k-means*, não é preciso definir (ou assumir) a priori um número  $k$  de partições totais. O *FastGreedy* retorna o número total de comunidades em cada *snapshot* analisado. Além disso, é possível atribuir pesos para as arestas de cada nó existente no grafo. Neste trabalho, o peso associado às arestas de um nó é definido como o volume total de informação enviado de

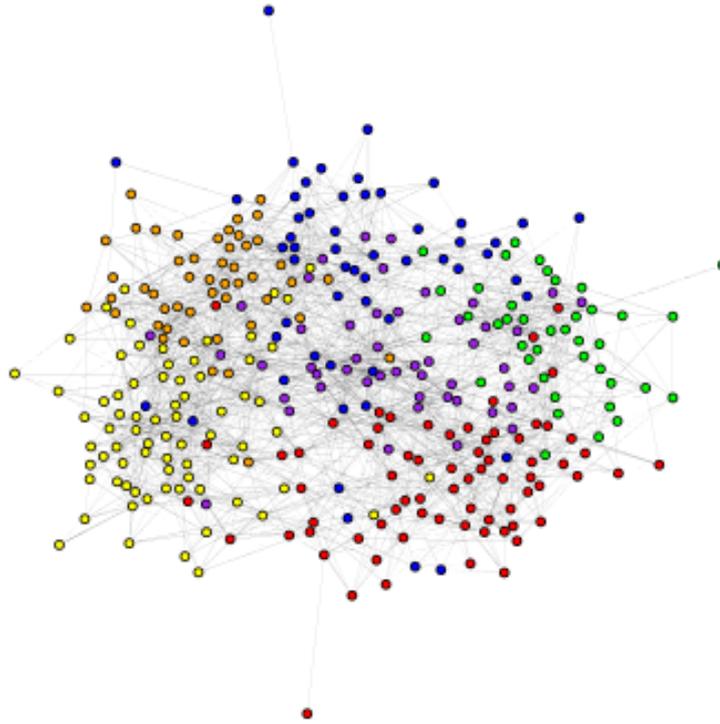


Figura 4.2: Comunidades identificadas pelo algoritmo *FastGreedy*

um determinado participante para outro em uma conexão. Por esse motivo, a identificação de comunidades é baseada através da densidade de conexões em uma região da rede e o volume de informação que trafega nessas conexões.

A diferenciação de conexões é necessária pois muitos nós estabelecem parcerias sem que exista um tráfego significativo associado à estas conexões.

Nos experimentos apresentados, o algoritmo *FastGreedy* foi aplicado em cada um dos *snapshots*  $T_i$ , para  $1 \leq i \leq N$ . O número de comunidades encontradas, assim como o tamanho dessas comunidades são apresentadas na seção 6.1.

## 4.4 Métricas utilizadas

Grande parte deste trabalho fundamenta-se em métricas utilizadas em redes complexas para analisar a topologia sobreposta formada pelo SopCast. Cada *snapshot* é descrito como um grafo  $G = (V, E)$ , onde os participantes da transmissão são representados pelos vértices e as arestas simbolizam as conexões, ou parcerias, entre eles.

Os grafos (ou redes sobrepostas) aqui apresentados são caracterizados através de métricas de redes complexas. Sem perda de generalidade, essas definições podem ser utilizadas para toda a rede sobreposta  $\mathcal{G}_t$ . As mesmas definições são estendidas ao subgrafo  $C_i(t)$ ,

$1 \leq i \leq c$  e  $T_0 \leq t \leq T_N$ , que representa a comunidade  $i$  no tempo  $t$ . O parâmetro  $c$  indica o número total de comunidades em cada *snapshot*.

#### 4.4.1 Caminho mínimo

Um caminho em um grafo não direcionado é representado como uma sequência de vértices  $p_{1,n} = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_n)$ , onde  $v_i$  é adjacente a  $v_{i+1}$  para  $1 \leq i \leq n$ . O caminho  $p_{1,n}$  é descrito como um caminho de tamanho  $n$  do vértice  $v_1$  ao  $v_n$ . Um grafo pode ter mais de um caminho entre um par.

Seja  $P_{i,j}$  o conjunto onde caminhos existentes entre  $p_i$  e  $p_j$ , o caminho mínimo entre esses dois vértices,  $l(i, j)$ , é o que possui o menor tamanho entre todos os possíveis caminhos. Ou seja, a menor sequência de saltos entre origem e destino, conforme Figura 4.3. As linhas pontilhadas representam os caminhos entre os nós  $i$  e  $j$ , a linha contínua representa o caminho mínimo.

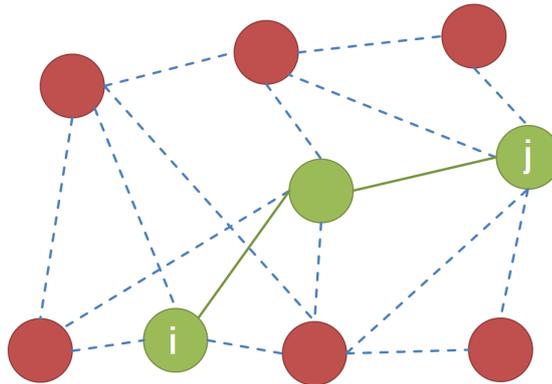


Figura 4.3: Caminho mínimo em um grafo

#### 4.4.2 Diâmetro

Seja  $l(u, v)$  o caminho mínimo entre os nós  $u$  e  $v$ . O diâmetro  $d$  é definido como o maior dos menores caminhos entre qualquer par de nós na rede. Para se achar o diâmetro de uma rede, é preciso primeiro encontrar o caminho mínimo entre todos os pares de vértices. A maior distância de qualquer um desses caminhos é o valor do diâmetro do grafo.

$$\mathbf{d}(\mathcal{G}_t) = \max_{\forall (u,v) \in \mathcal{V}_t} l(u, v).$$

O diâmetro fornece uma idéia de dispersão em  $\mathcal{G}_t$ . Com isso, é possível inferir se a informação se espalha rapidamente através da rede. Em um sistema P2P de transmissão de vídeo ao vivo, essa medida está relacionada à latência da rede [Setton, 2006]. Esse fator impacta diretamente a qualidade de experiência do usuário, essencial para a adoção da tecnologia. Quando um vídeo está sendo transmitido, os pacotes associados a esse vídeo precisam estar à disposição do reproduzidor de mídia no momento da execução. Caso isso não aconteça, o pacote será descartado e a informação é perdida, gerando desconforto para o espectador. Além disso, a latência relacionada à transmissão de dados em sistemas de transmissão de vídeo ao vivo pode gerar, no usuário, a sensação de atraso da transmissão em relação ao evento.

### 4.4.3 Grau

O grau de entrada de um nó  $v$ ,  $k_{in}(v)$ , é o total de arestas que apontam para o vértice  $v$ . Do mesmo modo, o grau de saída de um nó  $v$ ,  $k_{out}(v)$  é o total de arestas que saem do nó  $v$ . O grau de um vértice  $v$  é definido pelo somatório de  $k_{in}(v)$  e  $k_{out}(v)$  [Diestel, 2005]. No contexto do SopCast, essa propriedade representa o total de parceiros de um determinado nó. O grau médio,  $\langle k \rangle$  de um grafo  $\mathcal{G}_t$ , é a razão do número total de arestas do grafo pelo total de vértices:

$$\langle k \rangle (\mathcal{G}_t) = \sum_{\forall v \in \mathcal{V}_t} k(v) / |\mathcal{V}_t|.$$

Essa propriedade descreve densidade de conexões. A medida de grau está associada à resiliência da rede. Propriedade que descreve a capacidade de uma rede de manter sua conectividade, à medida que os nós deixam a rede. Vértices com alto grau podem buscar uma informação em vários parceiros.

### 4.4.4 Coeficiente de agrupamento

O coeficiente de agrupamento ou transitividade é uma propriedade típica de redes complexas que quantifica a densidade de interconexão entre um nó e seus vizinhos. Essa medida expressa a probabilidade de existir uma conexão entre dois nós  $A$  e  $C$ , que por sua vez estão conectados a um terceiro nó  $B$  (Figura 4.4).

Do ponto de vista de topologia de redes, transitividade significa a presença de um número elevado de triângulos na rede. Isto é, um conjunto de três nós conectados uns aos

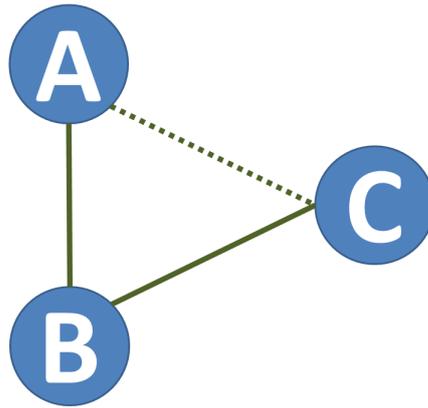


Figura 4.4: Coeficiente de agrupamento

outros. Pode ser quantificado através de um coeficiente de agrupamento  $\mathcal{C}$  de  $\mathcal{G}_t$ , onde o valor do coeficiente  $\mathcal{C}$  de um nó  $p_i$  é a razão entre o número de arestas reais entre os parceiros de  $p_i$  e o máximo de possíveis arestas entre esses parceiros [Newman, 2003]:

$$\mathcal{C}(\mathcal{G}_t) = \frac{3 \times \text{número de triângulos na rede}}{\text{número de possíveis triângulos}},$$

O coeficiente de agrupamento representa, então, uma medida de densidade de parcerias estabelecidas entre os vizinhos de um vértice.

## 4.5 Distribuições

As distribuições apresentadas são definidas sobre todos os grafos  $\mathcal{G}_t = (\mathcal{V}_t, \mathcal{E}_t)$  e subgrafos  $C_i(t)$  com  $1 \leq i \leq c$  e  $T_0 \leq t \leq T_N$ . Nesta dissertação, as distribuições consideram todos os *snapshots* extraídos de todos os experimentos descritos na Tabela 4.1.

A caracterização apresenta também modelos estatísticos que melhor se ajustam aos dados examinados. As distribuições com melhor ajuste são definidas através do teste *Chi – square* de aderência, ou  $\chi^2$ . Esse teste é útil para verificar se uma distribuição de frequências dos dados observados se ajusta a um modelo teórico de distribuição pré-determinado [Boero, 2004].

O teste *Chi – square* é definido por:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (4.2)$$

Onde  $O_i$  são as frequências observadas e  $E_i$  são as frequências esperadas. Se  $\chi^2$  assumir valores muito altos, então  $O_i$  é muito diferente de  $E_i$ .

Os modelos teóricos de distribuição utilizados como candidatos para o melhor ajuste foram:

- Weibull:  $p_X(x) = \alpha\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta} I_{(0,\infty)}(x)$

- Lognormal:  $p_X(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}$

- Exponential:  $p_X(x) = \lambda e^{-\lambda x}$

- Gamma:  $p_X(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}$

- Normal:  $P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$

# 5 Caracterização de um sistema de transmissão ao vivo em P2P

Neste capítulo são analisadas diversas medidas da rede sobreposta formada pelos participantes que trocam informação através da aplicação SopCast. Os resultados fornecem informações sobre os aspectos estruturais da rede. Tais resultados foram obtidos através do uso da biblioteca *IGRAPH*<sup>1</sup>.

## 5.1 Rede sobreposta

Na aplicação SopCast, os nós não se organizam de uma maneira clara. Quando os participantes escolhem/modificam suas parcerias, esses mudam a configuração da rede sobreposta. Além disso, o protocolo SopCast força os participantes a buscarem novos parceiros constantemente. Como consequência natural, a rede sobreposta se modifica durante a transmissão do vídeo.

Uma propriedade importante da rede sobreposta que sofre alterações ao longo da transmissão ao vivo é o diâmetro. O diâmetro da rede P2P pode ter impacto na latência de todo sistema. Um valor muito alto pode ocasionar atrasos na transmissão de vídeo e baixa qualidade de experiência para o usuário. Por exemplo, em um jogo de futebol, o usuário que está acompanhando a partida através do SopCast pode ter percepções externas a respeito do jogo, como gritos e fogos de artifício. Essas percepções podem causar incômodo para o espectador, uma vez que situações como essa despertam a sensação de atraso.

A figura 5.1 exibe a distribuição acumulada dos valores de diâmetro da rede SopCast. Os dados equivalem aos valores obtidos em todos os *snapshots* dos 5 experimentos mostrados na Tabela 4.1. Em quase 90% dos *snapshots* analisados, a topologia construída pelo SopCast apresenta o diâmetro menor que 7 saltos. Redes com um grande número de nós tendem a ter diâmetros maiores. No entanto, a maior parte dos canais SopCast são compostos de aproximadamente 100 participantes [Vieira, 2009]. Redes sobrepostas com grande número de nós são construídas durante eventos de grande apelo, como finais de

---

<sup>1</sup><http://igraph.sourceforge.net>

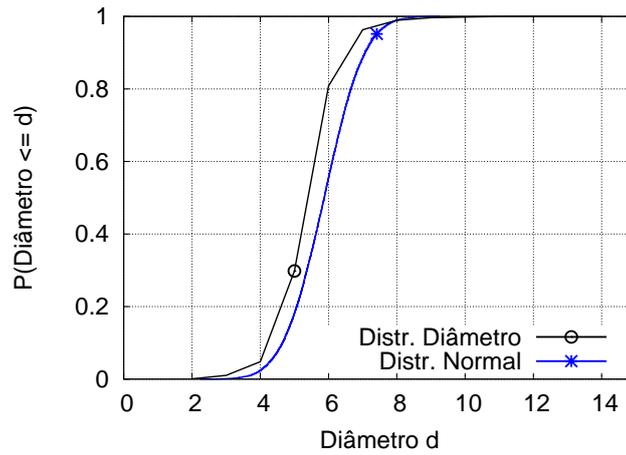


Figura 5.1: Distribuição dos valores de diâmetro na rede sobreposta SopCast

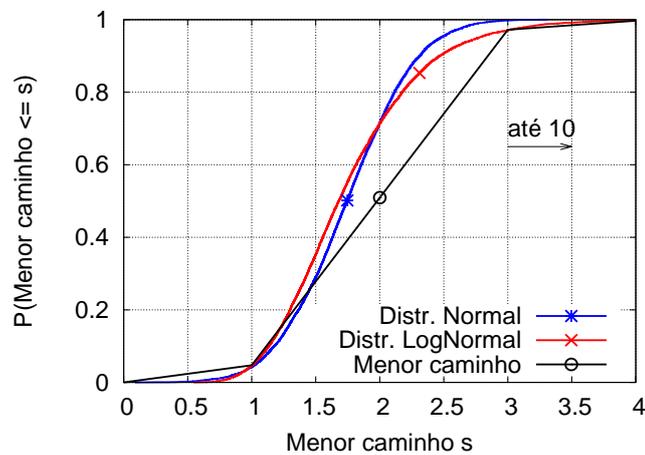


Figura 5.2: Distribuição de menores caminhos na rede sobreposta SopCast

grandes torneios de futebol. Assim, o pequeno diâmetro é uma característica comum dos canais SopCast.

Foi observado que a distribuição normal é a que melhor se ajusta à distribuição dos valores de diâmetro encontrados na topologia formada pelo SopCast. Embora tal distribuição tenha superestimado as probabilidades de baixos diâmetros, entre todos os testes realizados, foi a que mais se aproximou dos dados.

Embora não seja ideal, superestimar os dados é melhor que subestimar, uma vez que topologias com alto diâmetro tendem a ter um forte impacto na latência. Deste modo, probabilidades superestimadas implicam em decisões mais conservadoras no dimensionamento desses sistemas.

Outra medida relacionada à latência em redes é o caminho mínimo entre um par de nós. O caminho mínimo em um grafo fornece a ideia de distância da informação da origem

Tabela 5.1: Melhores distribuições: Caminho mínimo na rede sobreposta

Melhor Ajuste	Média	Desvio Padrão	Primeiro Parâmetro	Segundo Parâmetro
Lognormal	1.759	0.548	$\mu = 0.515$	$\sigma = 0.302$
Normal	1.743	0.436	$\mu = 1.743$	$\sigma = 0.436$

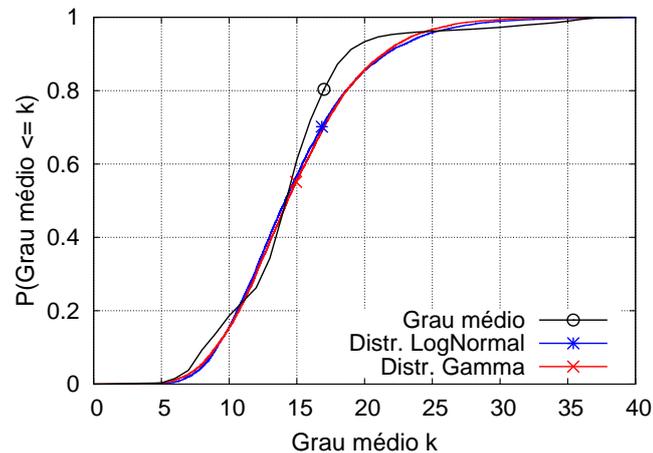


Figura 5.3: Distribuição do grau médio na rede sobreposta SopCast

ao destino. Nos experimentos realizados, os valores encontrados foram baixos, conforme observado na figura 5.2. Mais de 96% das distâncias entre dois participantes está limitada a 3 saltos.

Como mostrado na Figura 5.2, as distribuições Normal e LogNormal são as que melhores se ajustam à distribuição dos dados observados. A distribuição Normal se ajusta ligeiramente melhor no corpo da curva. Ao final da curva, no entanto, a LogNormal é mais adequada. Tanto pequenas distâncias entre pares quanto baixos valores de diâmetro podem indicar uma rápida disseminação dos pacotes de vídeo e, portanto baixas latências entre os participantes do sistema. Porém, um fator que afeta diretamente as medidas de diâmetro e caminho mínimo é a distribuição de graus dos vértices. A remoção de conexões entre pares pode fazer com que a rede fique mais dispersa, ou seja, a informação precisa percorrer um caminho maior para chegar ao destino.

Em uma rede, a distribuição de graus entre os nós também está fortemente ligada à resiliência ou tolerância a falhas. Por exemplo, se um participante  $A$  está recebendo informação de apenas um parceiro  $B$ , a transmissão será interrompida caso esse parceiro  $B$  saia da rede. O nó  $A$  precisará, então, procurar novos parceiros pra reestabelecer o fluxo de pacotes de vídeo. Esse período sem transmissão pode impactar em atrasos ou perda de informações. Se um nó possui conexões com vários participantes durante

Tabela 5.2: Melhores distribuições: Grau médio da rede sobreposta

Melhor Ajuste	Média	Desvio Padrão	Primeiro Parâmetro	Segundo Parâmetro
Lognormal	14.815	5.153	$\mu = 2.643$	$\sigma = 0.336$
Gamma	14.868	4.874	$\alpha = 9.401$	$\beta = 0.633$

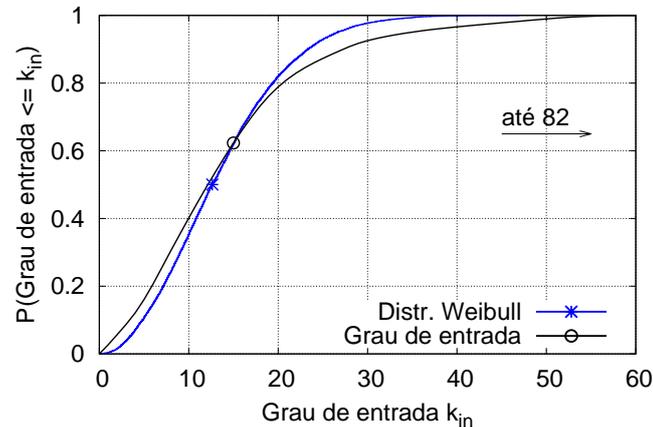


Figura 5.4: Distribuição do grau de entrada dos nós da rede sobreposta SopCast

a transmissão, no caso de falha em uma conexão, este nó pode receber dados de outra conexão já estabelecida sem que o fluxo seja interrompido.

Os participantes da rede sobreposta do Sopcast apresentam um grau médio com valor igual a 14.85 levando em consideração todos os *snapshots*. A figura 5.3 exibe a distribuição acumulada do grau médio. Apesar disso, existe um número significativo de membros que possuem mais de 20 parcerias para troca de pacotes de vídeo. Esse valor sobe para 50, na média, quando considerados os pacotes de controle [Vieira, 2009]. Isso acontece principalmente porque o SopCast não permite uma configuração customizada dos usuários. Ou seja, a quantidade de parcerias que um nó pode fazer é inerente ao próprio protocolo da aplicação.

A distribuição de grau de um grafo é fortemente relacionada com o processo de formação de parcerias do protocolo SopCast. Esse processo pode seguir critérios específicos como, por exemplo, o agrupamento de acordo com o fato de eles estarem na mesma rede

Tabela 5.3: Melhores distribuições: Grau de entrada e saída da rede sobreposta

Melhor Ajuste	Média	Desvio Padrão	Primeiro Parâmetro	Segundo Parâmetro	
In deg.	Weibull	14.145	9.008	$\alpha = 1.611$	$\beta = 15.839$
Out deg.	Weibull	13.525	7.166	$\alpha = 1.973$	$\beta = 15.161$

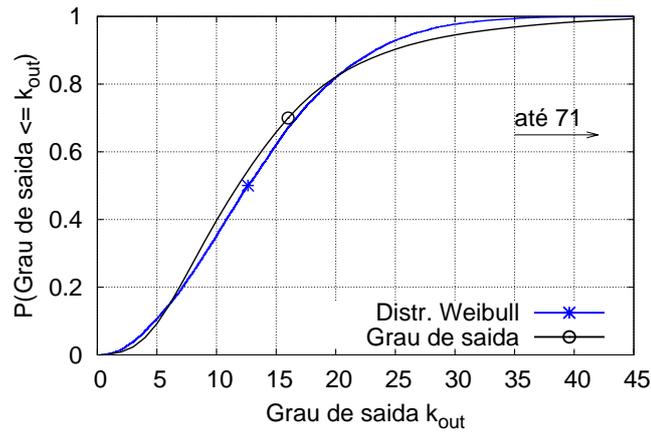


Figura 5.5: Distribuição do grau de saída dos nós da rede sobreposta SopCast

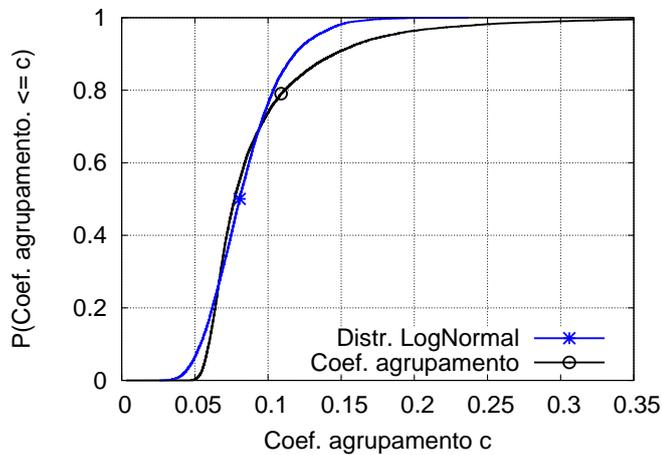


Figura 5.6: Distribuição dos coeficientes de agrupamento na rede sobreposta SopCast

IP. Pode-se ter uma percepção do processo de formação de parcerias através dos valores de coeficiente de agrupamento na rede SopCast, que é uma medida da densidade média das parcerias entre nós de um grafo. Na topologia sobreposta do SopCast o coeficiente de agrupamento tem valores baixos (Figura 5.6). Esse resultado fortalece a intuição de que o processo de formação da topologia sobreposta do SopCast é completamente aleatório, isto é, o processo de descoberta de parceria dos participantes não segue um critério específico. A probabilidade de dois nós se conectarem um ao outro independe de qualquer outra conexão estabelecida previamente. Cerca de 60% das topologias formadas durante toda a observação dos experimentos tem o coeficiente de agrupamento menor que 0.08. Este valor segue o mesmo padrão de modelos de grafos aleatórios <sup>2</sup>.

<sup>2</sup>O coeficiente de agrupamento para gráficos aleatórios é dado por  $C_{random} = \frac{\langle k \rangle}{|\mathcal{V}|}$ , com  $\langle k \rangle$  sendo o grau médio e  $|\mathcal{V}|$  o número total de nós

Altos valores poderiam sugerir, por exemplo, a exploração do aspecto de localização geográfica durante a definição da estrutura topológica.

A caracterização apresentada neste capítulo demonstra que a formação topológica da rede SopCast facilita a difusão de conteúdo. A rede sobreposta tende a ter um diâmetro pequeno. Como consequência, a distância da informação da origem ao destino também é pequena. Além disso, a topologia se mostra altamente tolerante a falhas, pois os participantes da rede tem um alto número de parceiros, 14.85 na média. Apesar disso, as baixas medidas de coeficiente de agrupamento confirmam a aleatoriedade na busca por essas parcerias.

## 6 Formação de comunidades em sistemas P2P de vídeo ao vivo

O termo comunidade refere-se a um conjunto de elementos que se organizam em grupos e criam relações baseadas em um interesse comum. Podem-se observar exemplos desses grupos no cotidiano: comunidades formadas por familiares, amigos ou indivíduos que trabalham em uma mesma empresa. Na natureza, as comunidades podem ser observadas em grupos de bactérias associadas a um ambiente comum, como o intestino, por exemplo. Um outro modelo de comunidade são as redes sociais da Internet, que permitem a associação de pessoas a um grupo específico.

Neste trabalho, o termo comunidade refere-se a um grupo de participantes de uma rede sobreposta SopCast que tem uma alta interação entre si no que diz respeito à troca de pacotes de vídeos. Estas comunidades são subgrafos da rede sobreposta SopCast.

### 6.1 Evolução das comunidades

Segundo experimentos realizados neste trabalho, durante a transmissão do vídeo pelo canal do SopCast, os participantes se aglomeram em pequenos grupos (comunidades). Os participantes desses grupos trocam informações e dados de vídeo entre si. Ao longo da transmissão, da mesma forma que os participantes trocam de parceiros, eles podem trocar de grupos frequentemente. Mais ainda, o número de comunidades que se formam na topologia P2P também pode se alterar.

A Figura 6.1 mostra a distribuição da quantidade de comunidades formadas ao longo de todos os *snapshots* da transmissão. O número de comunidades varia principalmente durante o período inicial da transmissão (enquanto os participantes ainda estão se juntando a rede). Nos experimentos realizados, onde o número de participantes variou entre 381 e 389, observou-se um número médio de aproximadamente 9 comunidades formadas.

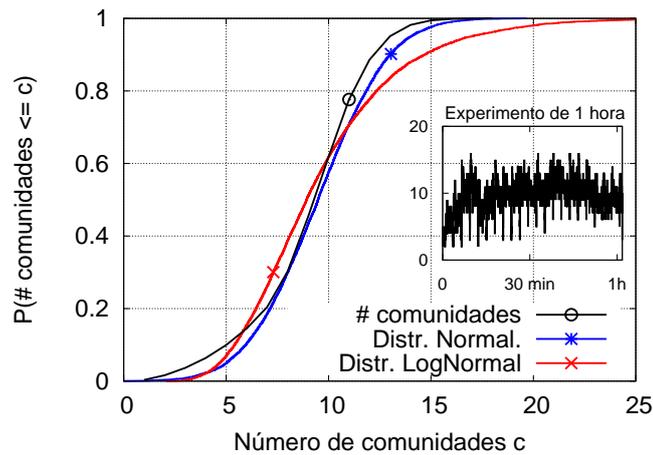


Figura 6.1: Distribuição da quantidade de comunidades

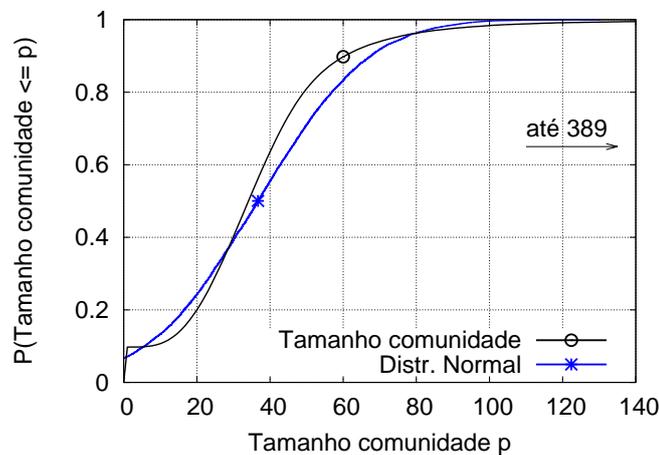


Figura 6.2: Distribuição do tamanho das comunidades

Durante os experimentos, foram formadas comunidades com apenas um nó e também comunidades com todos os participantes do experimento. Essas comunidades estão associadas ao início da transmissão, onde foi observado que a estrutura topológica não está consolidada. Nesse período, os nós ainda estão descobrindo as parcerias e a troca de tráfego entre eles ainda é caótica. No entanto, como observado na Figura 6.2, predominam as comunidades com menos de 50 participantes. Através do teste *Chi-Square* de aderência, foi observado que a distribuição Normal é a que tem o melhor ajuste para os dados observados de tamanho de comunidade. Essa distribuição se ajustou melhor ao início e à cauda da curva. Os parâmetros para a distribuição Normal são a média e o desvio padrão. No caso observado, esses valores foram, respectivamente, iguais a 36.456 e 3.493.

As comunidades evoluem ao longo do tempo. Como discutido anteriormente, até o número de comunidades pode se alterar. Pela definição de comunidade proposta nesse

trabalho, não é possível identificá-las a cada *snapshot* de forma única. Para definir a evolução da comunidade durante o tempo, foi utilizada a maior interseção dos conjuntos através dos *snapshots*. Seja uma comunidade  $C_i(t)$  identificada no tempo  $t$  a qual foi atribuído um identificador  $I$ , sua sucessora é a comunidade  $C_j(t + 1)$  que tem a maior sobreposição de nós entre todas as comunidades encontradas em  $t + 1$ . A essa comunidade também é atribuído o mesmo identificador  $I$ .

Essas comunidades apresentam uma alta dinamicidade, com a chegada e saída de participantes a todo momento. De fato, a maior parte das comunidades apresenta um grande percentual de mudança entre um *snapshot* e outro, de 30% a 43%. A distribuição da Figura 6.3 descreve a dinamicidade das mudanças de perfil das comunidades.

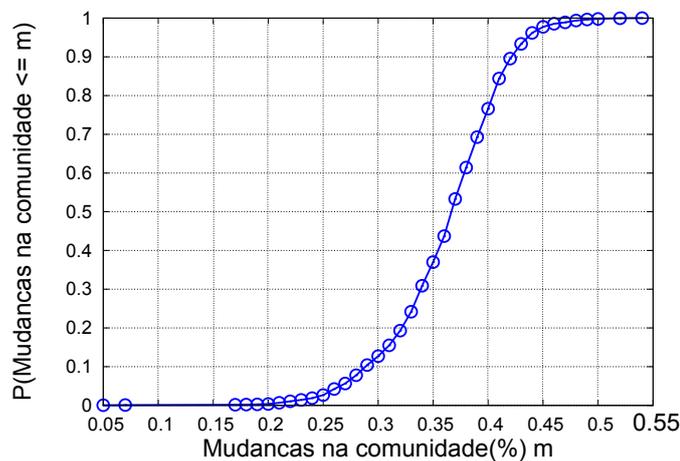


Figura 6.3: Mudança do perfil das comunidades

Quando as comunidades são isoladas para análise, são removidas todas as arestas que interconectam os nós da comunidade em questão com os nós de outras comunidades, podendo alterar medidas da rede. No entanto, os valores de diâmetro e caminho mínimo nas comunidades permanecem baixos. Os baixos valores de diâmetro e caminho mínimo reforçam a ideia que, assim como na rede sobreposta formada pelo SopCast, a difusão de conteúdo dentro das comunidades também é rápida.

A maioria das comunidades identificadas possuem valores de diâmetro entre 3 e 7 (Figura 6.4). Existe uma quantidade significativa (cerca de 10%) de comunidades que possuem diâmetro igual a 1, formando agrupamentos totalmente conectados, onde todos os nós trocam informação entre si. O fato de existirem comunidades com diâmetro igual

Tabela 6.1: Melhores distribuições: Diâmetro das comunidades

Melhor Ajuste	Média	Desvio Padrão	Primeiro Parâmetro	Segundo Parâmetro
Weibull	5.367	2.724	$\alpha = 2.076$	$\beta = 6.084$
Gamma	5.441	3.037	$\alpha = 3.190$	$\beta = 0.591$

a 1 pode ser explicado pelo número reduzido de participantes agrupados em comunidade. Outro fator que determina a existência de comunidades completamente conectadas é o comportamento guloso dos nós, que buscam conteúdo em muitos parceiros durante um intervalo de tempo pequeno. *Weibull* e *Gamma* são os modelos que melhor se ajustam à distribuição de valores do diâmetro. Ambos estão ajustados ao tronco e à cauda da curva observada. Os parâmetros das distribuições são mostrados na Tabela 6.1.

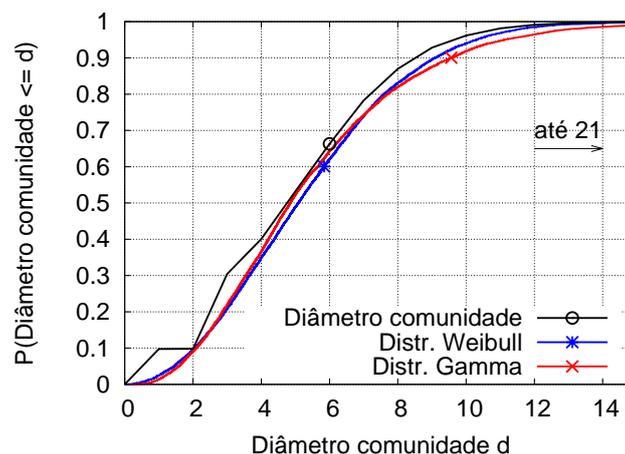


Figura 6.4: Distribuição do diâmetro nas comunidades

As comunidades possuem valores baixos de caminho mínimo, seguindo o mesmo padrão da rede sobreposta do SopCast, descrito na Seção 5.1. A Figura 6.5 apresenta a distribuição acumulada das menores distâncias entre dois nós em uma comunidade. Em quase todas as comunidades, a distância entre dois pontos é igual ou menor a 4 saltos. Dentre todos os modelos testados, a distribuição LogNormal é a que tem melhor ajuste para os valores de caminho mínimo dentro das comunidades. Porém, a distribuição tende a superestimar os valores, como mostrado na Figura 6.5. Essa distribuição é descrita pelos seguintes parâmetros:  $\mu = 0.839$  e  $\sigma = 0.372$  com média igual a 2.481 e desvio padrão igual a 0.942, conforme Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Melhores distribuições: Caminho mínimo das comunidades

Melhor Ajuste	Média	Desvio Padrão	Primeiro Parâmetro	Segundo Parâmetro
LogNormal	2.481	0.942	$m = 0.839$	$\sigma = 0.372$

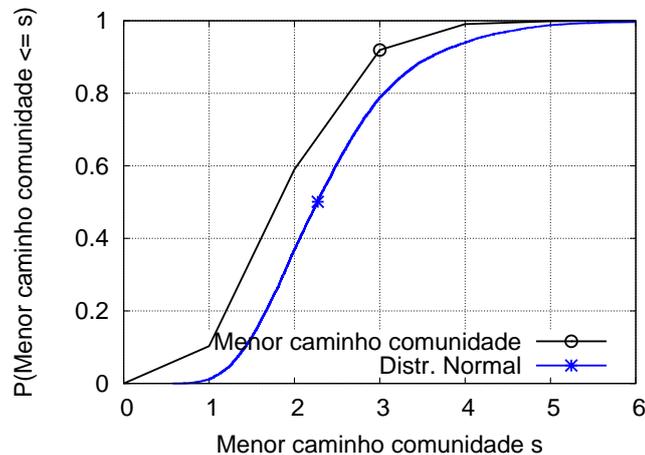


Figura 6.5: Distribuição do caminho mínimo nas comunidades

A remoção de arestas decorrentes da análise isolada das comunidades faz com que os valores de grau dos vértices se tornem menores se comparados à rede sobreposta. De fato, como mostra a figura 6.6, o grau médio dos participantes cai de 14.85 na rede sobreposta para apenas 4 dentro das comunidades. De acordo com o teste *Chi-Square* de aderência, os melhores ajustes para a distribuição de valores de grau nas comunidades são as distribuições *LogNormal* e *Gamma*. Os valores são mostrados na Tabela 6.3.

Tabela 6.3: Melhores distribuições: Grau médio das comunidades

Melhor Ajuste	Média	Desvio Padrão	Primeiro Parâmetro	Segundo Parâmetro
Lognormal	3.633	1.539	$\mu = 1.198$	$\sigma = 0.416$
Gamma	3.998	2.150	$\alpha = 3.512$	$\beta = 0.883$

O alto decréscimo nos valores dos graus de entrada e saída das comunidades em relação à rede sobreposta revela que, embora os participantes busquem conteúdo dentro da comunidade, estes também buscam, eventualmente, informações em membros fora de

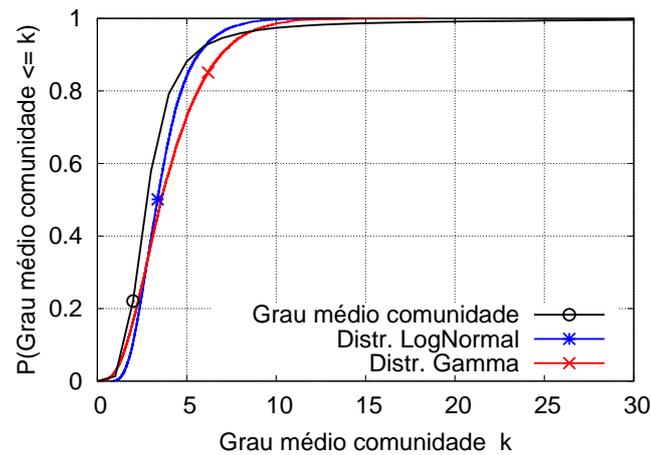


Figura 6.6: Distribuição do grau médio das comunidades.

suas comunidades. Além disso, é possível observar que aproximadamente 20% dos participantes de uma comunidade possuem grau de saída igual a zero e cerca de 60% dos nós tem grau de saída igual a 1. Mais que isso, existe uma pequena porção dos nós (cerca de 5%) que possuem grau de saída igual ou maior que 8. Esses valores dão a ideia que uma pequena fatia de participantes é responsável pela maior parte da difusão de conteúdo dentro de uma comunidade, sugerindo uma estrutura hierárquica dentro das comunidades. O alto número de conexões entre participantes de diferentes comunidades pode explicar a grande dinamicidade (Figura 6.3).

O modelo de distribuição *Weibull* é o que melhor se ajusta aos valores de grau de entrada e de saída das comunidades. Os parâmetros da distribuição *Weibull*, bem como as medidas de desvio padrão e média são exibidos na Tabela 6.4.

Tabela 6.4: Melhores distribuições: Grau de entrada e saída dos nós nas comunidades

Propriedade de rede	Melhor Fit	Média	Desvio Padrão	Primeiro Parâmetro	Segundo Parâmetro
Grau de entrada	Weibull	2.432	1.706	$\alpha = 1.456$	$\beta = 2.691$
Grau de saída	Weibull	2.971	5.733	$\alpha = 0.561$	$\beta = 1.801$

A Figura 6.9 apresenta a distribuição do coeficiente de agrupamento. Os resultados encontrados mostram que esse valor também é pequeno dentro das comunidades. Isso significa que a troca de dados entre dois pares  $\{A \text{ e } B\}$  e  $\{B \text{ e } C\}$  não implica numa

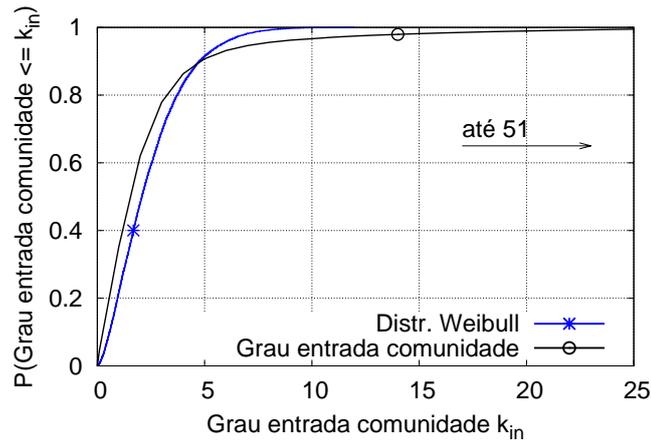


Figura 6.7: Distribuição do grau de saída dos *peers* de uma comunidade

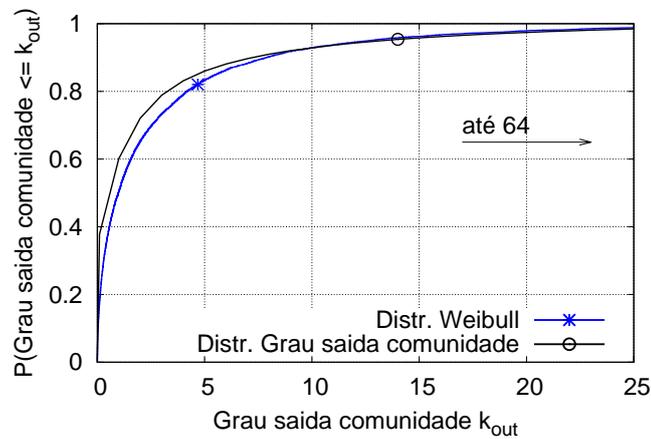


Figura 6.8: Distribuição do grau de saída dos *peers* de uma comunidade

cooperação entre  $\{A \text{ e } C\}$ . Este resultado reforça a ideia de uma estrutura hierárquica dentro das comunidades, onde um pequeno conjunto de nós é responsável pela difusão de maior parte dos pacotes de vídeo. A curva observada no gráfico segue a distribuição Log Normal com valores de média e desvio padrão iguais a 0.116 e 0.06, respectivamente. Os parâmetros são  $\mu = 2.276$  e  $\sigma = 0.482$ .

## 6.2 Caracterização do tráfego

Devido ao grande número de usuários de sistemas P2P de vídeo ao vivo ao redor do mundo, entender o padrão de tráfego desses sistemas e seu impacto na infraestrutura de rede é uma tarefa importante. Esta seção apresenta o padrão de tráfego em diferentes

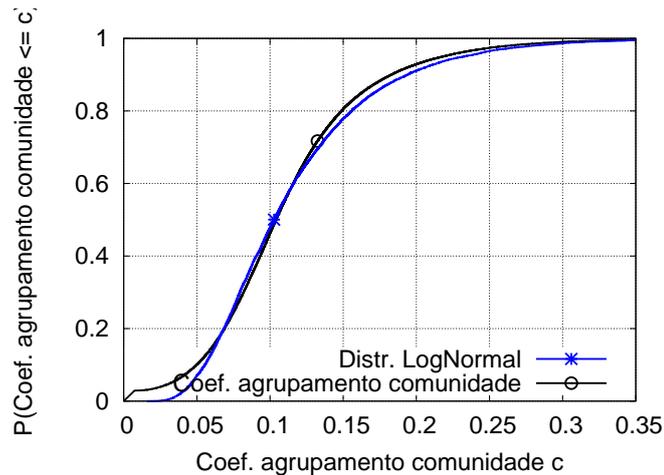


Figura 6.9: Distribuição dos valores de coeficiente de agrupamento dentro das comunidades

comunidades com o objetivo de revelar como os participantes se organizam para a troca de tráfego. Os resultados podem auxiliar, por exemplo, no projeto e dimensionamento de redes.

As comunidades formadas durante uma transmissão ao vivo no SopCast trocam dados preferencialmente entre seus membros. Mesmo assim, há um número significativo de conexões entre os participantes de uma determinada comunidade e outra comunidade qualquer.

A figura 6.10 evidencia essa relação de alto tráfego entre os membros da comunidade (mais de 60% de todo o tráfego é trocado dentro dos agrupamentos) e baixo tráfego entre participantes de comunidades distintas. Observa-se que, aproximadamente, 70% das conexões dos participantes são com membros de outras comunidades. No entanto, esses *links* são responsáveis por apenas 37% de todo o tráfego dos participantes. Provavelmente, essas ligações tem como objetivo buscar uma pequena parte dos dados e, quando qualquer um dos participantes a obtém, este redistribui aos outros membros de sua comunidade.

A intuição de que poucos nós são responsáveis pelo tráfego de toda a comunidade pode ser comprovada através do resultado exibido na Figura 6.11, que mostra a contribuição percentual de cada nó da comunidade em termos de *upload*. De fato, foi observado que cerca de 80% dos nós de uma comunidade não contribuem efetivamente e, aproximadamente, apenas 5% dos participantes contribuem com mais de 20% da carga de *upload* em uma comunidade.

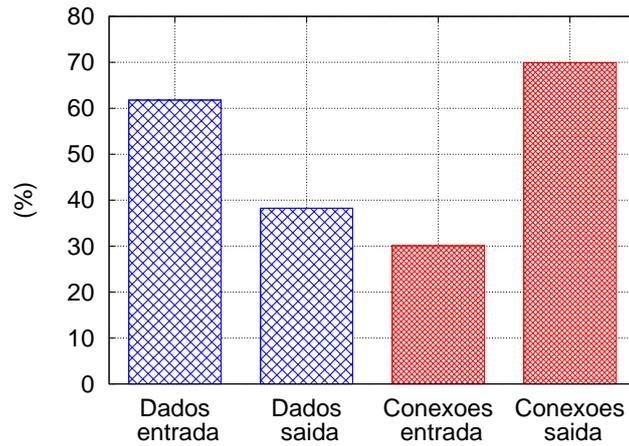


Figura 6.10: Troca de tráfego entre os *peers*

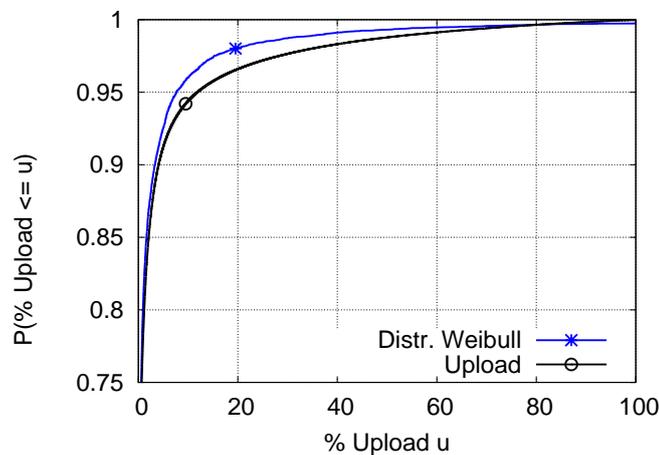


Figura 6.11: Distribuição do tráfego de *upload* nas comunidades

### 6.2.1 *Nodos estáveis e líderes de comunidade*

As caracterizações existentes e as buscas por participantes estáveis baseiam-se, na maior parte, em períodos longos de coleta que são agregados [Vieira, 2009]. Mais ainda, os trabalhos que consideram a dinâmica dos participantes somente analisam a entrada e a saída deles (*churn*) [Wang,2008]. Dessa forma, a definição de participantes estáveis recai somente no tempo de vida dos mesmos no sistema [Zhang, 2010,Steiner,2009,Wang,2008,Tian, 2007].

Este trabalho aborda a estabilidade dos participantes sob uma nova ótica. São definidos como participantes estáveis os que, ao longo do tempo, contribuem com o sistema de forma a manter o fluxo de informação necessário as restrições de aplicações de transmissão

de vídeo ao vivo. Para isso, são considerados principalmente 2 fatores: (1) o tempo de vida total de um participante ao longo de uma transmissão e; (2) a quantidade de dados trocados por esse participante.

A Figura 6.12 descreve três cenários que ilustram o comportamento e a estabilidade de um participante. O cenário em (a) mostra a abordagem tradicional para definir um participante estável. Esse participante apresenta um longo tempo de vida, porém, ele pouco contribui com o sistema. Em (b), um participante com característica oposta ao participante anterior. Nesse cenário, o participante apresenta uma alta contribuição, porém, por um tempo muito curto. A letra (c) mostra o participante estável que a abordagem desse trabalho trata. Apesar de esse participante ter um *churn* elevado, ele contribui de forma significativa por um longo período de tempo. Esse participante pode ser usado para sustentar grupos de parceiros enquanto ele participa do sistema ou até mesmo, pode ser utilizado para armazenar rotas e mapas de dados.

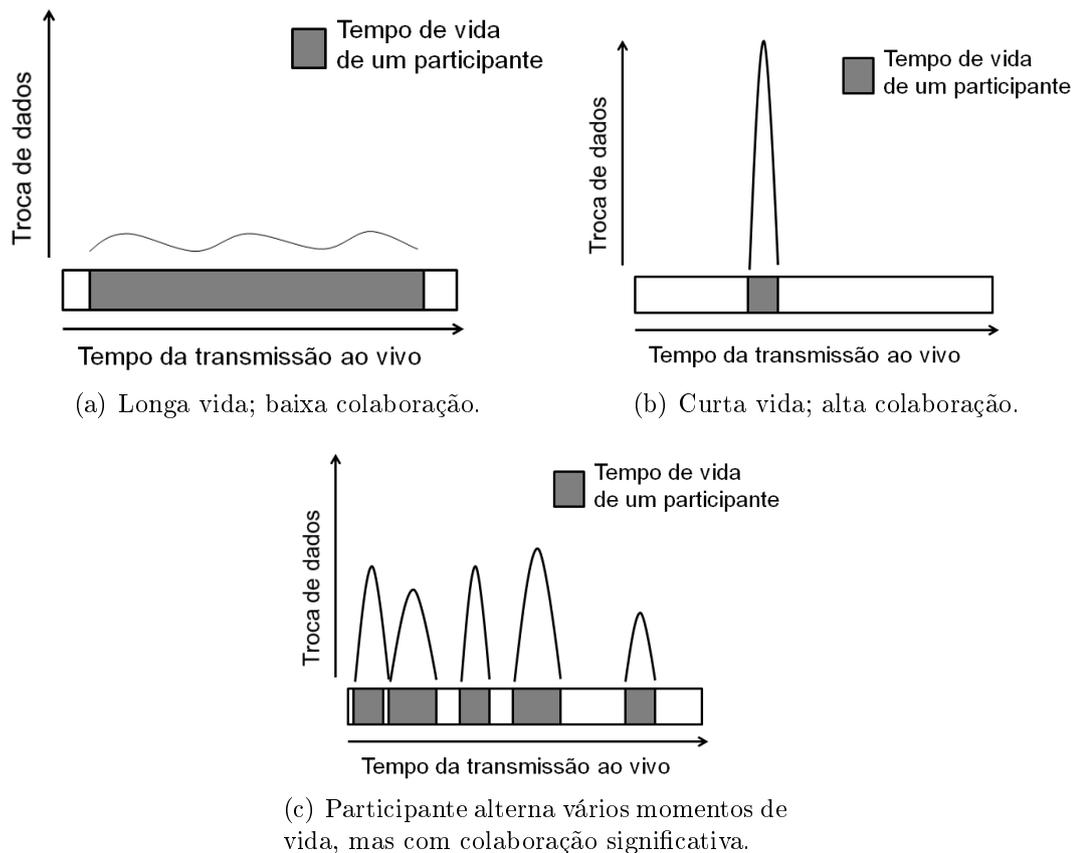


Figura 6.12: Possíveis atuações de um participante durante uma transmissão ao vivo em P2P.

A equação 6.1 define a métrica de estabilidade de um determinado participante  $p_i$ , com  $p_i \in \mathcal{V}_t$ . Ao contrário do que foi proposto em [Tang, 2009], que aborda o tema ana-

lisando grau e volume de dados separadamente, pela equação proposta nesta dissertação, a estabilidade  $C_i$  é proporcional a três fatores principais: (1) ao número  $P_i$  de ocorrências de  $p_i$  entre todos os  $\mathcal{G}_t$  *snapshots* do experimento ( $T_1 \leq t \leq T_N$ ); (2) ao volume de dados que passa por  $p_i$  durante todos os *snapshots* nos quais o participante  $p_i$  está ativo e; (3) à quantidade de parceiros (grau) que  $p_i$  apresenta em todos os *snapshots* nos quais o participante  $p_i$  participa do sistema.

Para cada *snapshot*, é realizada a multiplicação do grau do participante pelo somatório do volume de dados de saída. Esse valor é dividido pelo produto do total de conexões da rede pelo volume de saída de toda rede. O resultados obtidos para todos os *snapshots* é somado e então multiplicado pela quantidade de *snapshots* em que  $p_i$  estava ativo (enviando dados). Finalmente, o valor é dividido pelo total de *snapshots*:

$$C_i = \frac{\sum_{T_1}^{T_N} \frac{\text{grau}(p_i) \sum \text{volume}(p_i)}{\mathcal{E} \sum \text{volume}(\mathcal{G})} P_i}{|\mathcal{G}_t|} \quad (6.1)$$

Essa métrica será usada para classificar os participantes do sistema conforme sua estabilidade. Assim, é possível determinar quais participantes apresentam maior estabilidade durante a transmissão de vídeo ao vivo.

Durante a transmissão, os participantes alternam seu comportamento continuamente. Ora mudando de comunidade, ora mudando sua contribuição. Nesse sentido, foram caracterizados os participantes estáveis da rede. A definição prévia de um participante estável, diz respeito à sua contribuição e ao seu tempo de vida durante uma transmissão. Assim, foi calculada para cada participante da transmissão a métrica de estabilidade.

A figura 6.13 mostra a função de distribuição acumulada da contribuição dos participantes à rede P2P. O eixo  $x$  representa a quantidade de participantes, em percentual, para os valores de  $C_i$  encontrados,  $\forall p_i \in \mathcal{V}_t$ . Os valores  $C_i$  estão ordenados de maneira decrescente. Conforme se pode observar, um pequeno número de participantes é responsável por uma grande contribuição ao sistema P2P. De fato, 20% dos participantes da rede sustentam mais de 50% de toda a transmissão na rede, o que evidencia a presença de participantes mais importantes em termos de tráfego, alcance de parcerias e regularidade de atividade ao longo da transmissão.

Em [Zhang, 2010], o autor propõe uma técnica para caracterização de nós estáveis que é baseada somente no tempo de vida (TTL) do participante. No entanto, nesta dissertação

foram identificados vários participantes que tiveram atividade regular, portanto tempo de vida elevado, mas suas notas não os ordenaram entre os primeiros devido ao fato desses participantes terem baixo volume de dados de saída.

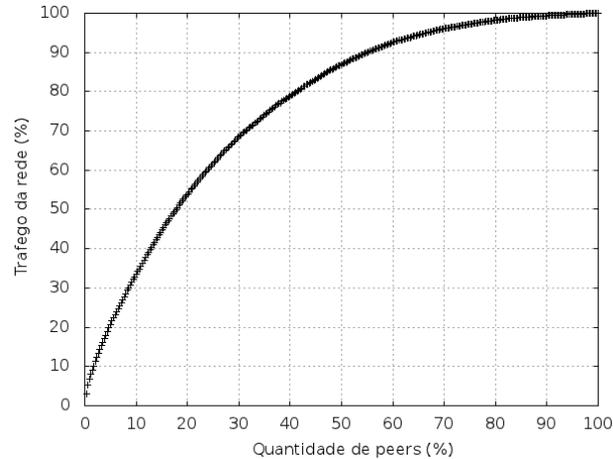


Figura 6.13: Contribuição dos nós da rede sobreposta durante um experimento.

A existência de participantes com maior contribuição fica mais evidente na classificação de estabilidade dos nós das comunidades. A Figura 6.14 mostra a contribuição dos participantes estáveis em um dado momento (*snapshot*), portanto, a multiplicação por  $P_i$  e a divisão por  $|\mathcal{G}_t|$  não é realizada neste caso. A proporção entre participantes e a contribuição oferecida ao sistema como um todo é ainda mais evidente. Nas duas comunidades analisadas em um *snapshot* específico, mostrado na Figura 6.14, cerca de 10% dos participantes estáveis sustentam mais de 40% da transmissão das comunidades.

Durante os experimentos, o servidor de mídia estabeleceu no máximo 18 parcerias distintas em um universo de cerca de 380 possíveis conexões. Essa observação indica um nível de restrição na formação de parcerias direto com o servidor. Esse resultado se alinha ao estudo realizado em [Stutzbach, 2011], que investiga a existência de um núcleo, ou comunidade estável em uma topologia P2P.

### 6.2.2 Relação com Sistemas Autônomos

Segundo o IETF<sup>1</sup>, entidade que regula os padrões utilizados na Internet, um Sistema Autônomo ou AS (*Autonomous System*) é um conjunto de redes sob uma mesma administração técnica, que possuem características e políticas de roteamento específicas. A Internet é um conjunto de Sistemas Autônomos interligados. As regras definidas para um

<sup>1</sup>Internet Engineering Task Force - <http://www.ietf.org>

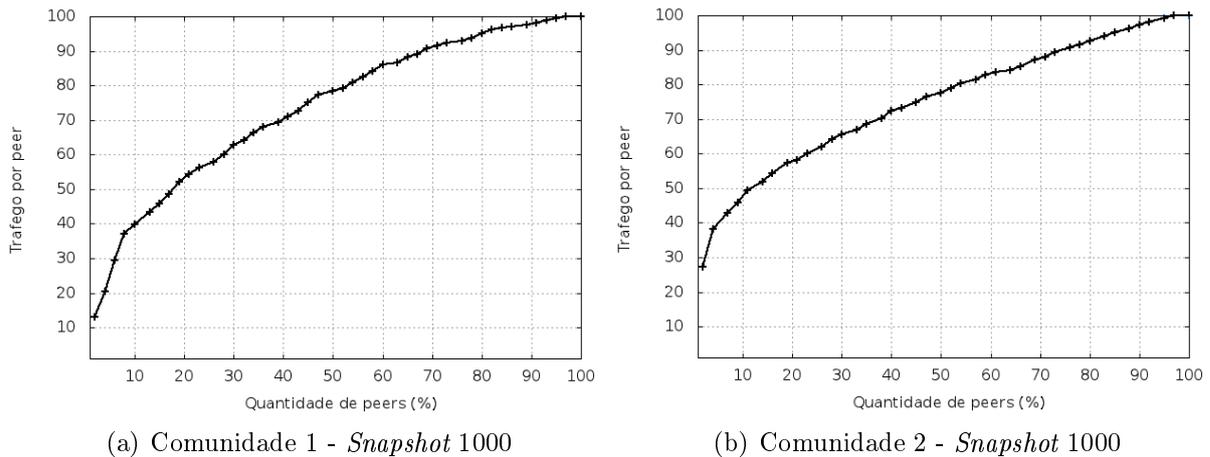


Figura 6.14: Contribuição dos nós em uma comunidade.

AS afetam diretamente o modo como um computador é visto na Internet e também o modo com que este se comunica com outros dispositivos.

Segundo os resultados obtidos nesse trabalho, não há evidências de que a formação de comunidades seja estimulada entre participantes de uma mesma rede comercial. Em outras palavras, o SopCast não induz que computadores pertencentes a um mesmo Sistema Autônomo (AS) crie parcerias entre si. Este fato induz a um alto tráfego de dados entre redes comerciais, podendo gerar, em alguns casos, tráfego redundante. O estímulo para formação de comunidades entre membros participantes de um mesmo AS pode reduzir os custos da transmissão do vídeo. Isso é importante uma vez que existe uma tendência de exploração comercial de sistemas P2P para transmissão ao vivo (e.g. transmissão realizada pela CNN durante a posse do presidente Obama<sup>2</sup>).

Além disso, o fato de o tráfego de vídeo de uma comunidade ser mantido dentro de um AS pode ser útil quando é levada em consideração a qualidade de experiência do usuário. Uma vez que os roteadores dentro de um Sistema Autônomo estão sob uma única administração, pode-se atribuir políticas específicas de engenharia de tráfego relacionadas aos pacotes de vídeo, como regras de prioridade, por exemplo. Com isso, é possível fazer com que a difusão de conteúdo em sistemas P2P de transmissão de vídeo ao vivo seja mais eficiente.

Foram feitas análises dos participantes de quatro Sistemas Autônomos distintos em diferentes experimentos. Os Sistemas Autônomos utilizados nas análises foram os seguin-

<sup>2</sup><http://www.nytimes.com/external/gigaom/2009/02/07/07gigaom-cnn-inauguration-p2p-stream-a-success-despite-bac-17849.htm>

Tabela 6.5: Sistemas Autônomos utilizados nos experimentos

N° de nós no experimento	Sistema Autônomo	N° de nós do AS
389	AS 680	25
381	AS 137	17
381	AS 559	13
380	AS 680	11

tes: AS680<sup>3</sup>, AS137<sup>4</sup>, AS559<sup>5</sup> e AS1930<sup>6</sup>, conforme descrito na Tabela 6.5. Esses Sistemas Autônomos foram utilizados por serem os que possuem maior número de participantes nos experimentos.

A figura 6.15 mostra a relação entre as comunidades existentes em um experimento e os Sistemas Autônomos de seus participantes. Foram selecionados os dois maiores Sistemas Autônomos: o AS680 e o AS137. Os resultados indicam que uma pequena porção de participantes pertencentes a um mesmo AS faz parte de uma mesma comunidade. Nos dois casos, a probabilidade de mais de cerca de 50% dos participantes de um mesmo AS estarem agrupados em uma mesma comunidade é inferior a 10%.

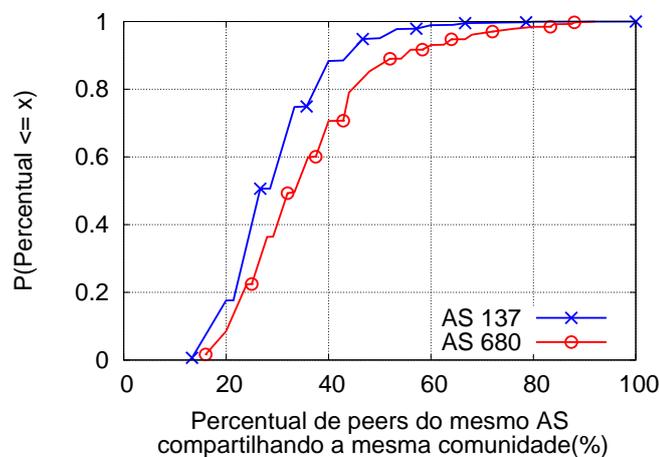


Figura 6.15: Distribuição do percentual de nós do mesmo AS numa mesma comunidade

A Figura 6.16 exibe um diagrama de troca de tráfego dos participantes dos Sistemas Autônomos. O tráfego Intra-Comunidade, representado pela cor azul, descreve os dados trocados pelos participantes do AS observado com outros da mesma comunidade. O tráfego Extra-Comunidade, em vermelho, representa os dados trocados entre participantes do

<sup>3</sup>Rede Nacional de Pesquisa e Educação da Alemanha - <http://www.dfn.de/en>

<sup>4</sup>Rede de Pesquisa & Acadêmica da Itália - <http://www.garr.it/eng>

<sup>5</sup>SWITCH: Rede de Educação e Pesquisa da Suíça - <http://www.switch.ch>

<sup>6</sup>Fundação para a Computação Científica Nacional (Portugal) - <http://www.fccn.pt>

AS observado com outros nós de comunidades diferentes. Finalmente, o tráfego entre nós do mesmo Sistema Autônomo, independente de estarem ou não na mesma comunidade, é representado pela cor verde.

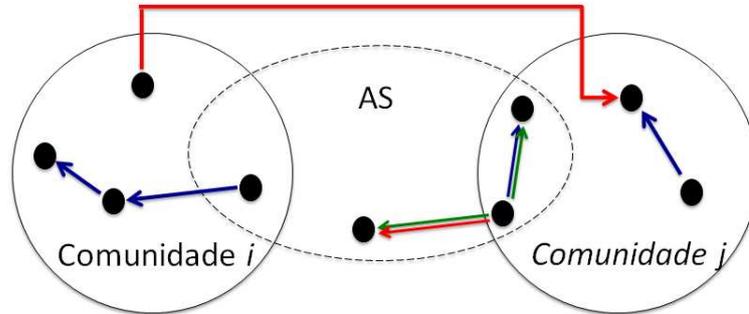


Figura 6.16: Diagrama de tráfego de Comunidade e Intra/Inter AS.

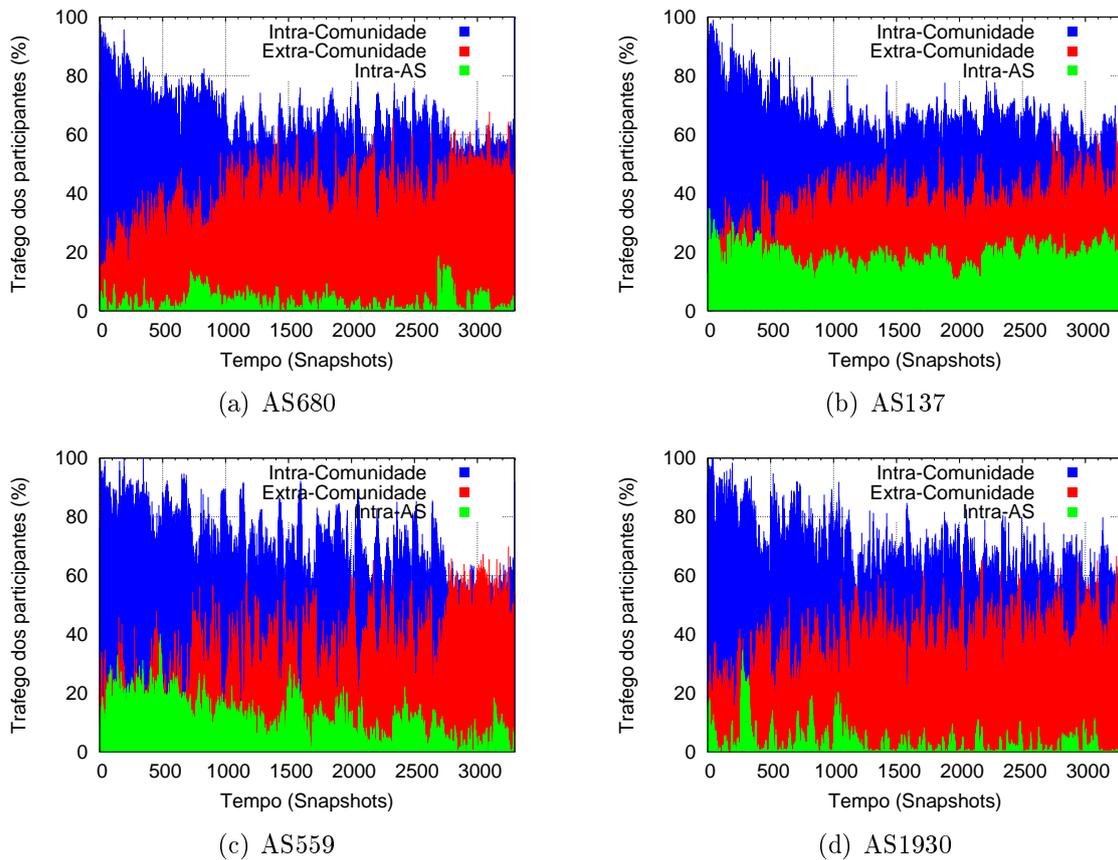


Figura 6.17: Tráfego de participantes do mesmo Sistema Autônomo

A Figura 6.17 apresenta o tráfego de dados dos participantes dos quatro Sistemas Autônomos observados. Foi analisado o tráfego que esses participantes trocam entre seus parceiros de comunidade (*IC*), entre parceiros externos à comunidade que eles pertencem (*EC*), e entre seus parceiros de Sistema Autônomo (de qualquer comunidade no

experimento).

Em todos os casos, o tráfego intra-comunidade (*IC*) supera o tráfego extra-comunidades (*EC*). Em relação à troca de tráfego entre participantes do mesmo Sistema Autônomo, nota-se que a troca de dados/informações entre membros de um mesmo AS é muito pequena comparado até mesmo com o tráfego trocado com participantes de comunidades externas. Os participantes do AS137 foram os que mais trocaram dados entre si. Porém, esse tráfego é referente a menos de 25% do total.

Os resultados obtidos contrastam com os resultados apresentados em [Bermudez, 2011], onde é sugerido que os participantes de um canal SopCast tendem a buscar informações dentro de seus Sistemas Autônomos. Os autores de [Bermudez, 2011] podem ter chegado a essa conclusão devido ao fato de a coleta de dados das transmissões ter sido feita em um ISP (*Internet Service Provider*), ou seja, na borda de um Sistema Autônomo. No presente trabalho, entretanto, a coleta é feita com computadores residentes em diversos Sistemas Autônomos, cada um com suas próprias políticas de acesso e Qualidade de Serviço.

## 7 Conclusões e trabalhos futuros

Esse trabalho apresentou uma caracterização das propriedades topológicas da rede sobreposta de uma aplicação P2P para transmissão de vídeo ao vivo. Foram utilizadas métricas de redes complexas para a análise, que teve como foco principal a dinamicidade dos participantes e das comunidades formadas durante os experimentos. Foi definida uma métrica para classificação de nós estáveis em toda a rede sobreposta e nas comunidades. Além disso, foi realizado um estudo de correlação das comunidades com os Sistemas Autônomos da Internet.

Os dados utilizados para tal caracterização foram obtidos através de experimentos realizados com a aplicação SopCast. Foram utilizados computadores do PlanetLab, que atuaram como clientes conectados em um canal privado do SopCast. Esses clientes capturaram o tráfego de rede relacionado à transmissão de vídeo e gravaram as informações em arquivos de registros, que foram enviados a um servidor central responsável por armazenar e tratar esses arquivos.

Para se obter as medidas da rede sobreposta, a topologia foi reconstituída como um grafo  $\mathcal{G}_t$ , onde as arestas foram ponderadas de acordo com o volume de tráfego associado. Tal grafo foi submetido a análises de medidas de grau, diâmetro, caminho mínimo e coeficiente de agrupamento. Além disso, foi utilizado o algoritmo *FastGreedy* para identificação de comunidades na rede. Essas comunidades foram submetidas, a princípio, às mesmas análises do grafo  $\mathcal{G}_t$ .

Os resultados encontrados na caracterização evidenciam que, tanto na rede sobreposta quanto as comunidades, a distância entre a maioria dos pares é pequena. Na rede sobreposta, em cerca de 90% dos casos, o diâmetro da rede não ultrapassa 7 saltos. Além disso, em quase 100% dos *snapshots* analisados, um nó pode alcançar outro em até 4 saltos. Dentro das comunidades o diâmetro é menor que 10 saltos em 90% dos casos. Porém, a distribuição de caminhos mínimos segue o mesmo padrão da rede sobreposta, encontrando um limite de 4 saltos entre qualquer par de nós da rede. Baixos valores de diâmetro e caminho mínimo sugerem uma rápida disseminação da informação.

A distribuição do grau dentro das comunidades é muito menor que a observada na rede SopCast, as conexões entre participantes da mesma comunidade representam menos de

um terço das conexões. Porém, a maior parte do tráfego (mais de 60%) permanece dentro das comunidades. Esse resultado indica que os participantes buscam em nós externos as informações que não estão disponíveis dentro das comunidades. O número alto de conexões entre participantes de comunidades diferentes pode explicar a constante migração nas comunidades detectadas.

O coeficiente de agrupamento é muito baixo na rede sobreposta e também nas comunidades, o que reforça a ideia de uma estrutura hierárquica. Essa ideia é comprovada através da distribuição do volume de *upload* nas comunidades, que indica que uma pequena parte dos participantes de uma comunidade é responsável pela maior parte da distribuição interna de conteúdo audiovisual.

Sabendo disso, é proposta uma métrica de estabilidade para classificar os participantes de acordo com a regularidade da atividade dentro da rede, o volume de *upload* e a quantidade de conexões de saída dos nós. Os participantes com melhor classificação dentro das comunidades são conhecidos como líderes de comunidade, pois são essenciais para a difusão do vídeo.

Não há evidências de que a formação de comunidades seja estimulada entre nós de um mesmo Sistema Autônomo. De fato, nos experimentos realizados, a troca de tráfego entre participantes do mesmo Sistema Autônomo é inferior a 20% de todo o tráfego desses nós, ficando abaixo da troca de tráfego entre nós de comunidades diferentes. O estímulo para formação de comunidades entre membros participantes de um mesmo AS pode reduzir os custos da transmissão do vídeo. Além disso, a troca de tráfego de vídeo dentro de um mesmo AS pode estar associada a políticas de qualidade de serviço. Como consequência, o tráfego de vídeo se dará de forma mais rápida e com maior prioridade, evitando atrasos e perda de pacotes, melhorando a qualidade de experiência do usuário.

Como trabalho futuro, pode-se criar mecanismos que possam determinar, em tempo real, quais são os participantes estáveis da transmissão do vídeo, monitorando o comportamento passado da transmissão e a disponibilidade de recursos dos participantes da rede. Assim, durante uma transmissão, esses participantes podem ganhar incentivos, como melhores parcerias, proteção contra ataques e reserva de banda pelo gerador da mídia contínua.

Finalmente, sugere-se uma validação desses resultados com outros sistemas P2P de transmissão de vídeo. Por exemplo, PPLive, PPStream, TVAnts e UUSee.

## REFERÊNCIAS

- [Androutsellis-Theotokis, 2004] Androutsellis-Theotokis, S.; Spinellis, D. A survey of peer-to-peer content distribution technologies. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, 2004.
- [Banerjee, 2002] Banerjee, S.; Bhattacharjee, B. ; Kommareddy, C. Scalable application layer multicast. **SIGCOMM Comput. Commun. Rev.**, , n.4, Ago. 2002.
- [Basu, 2010] Basu, P.; Bar-Noy, A.; Ramanathan, R. ; Johnson, M. P. Modeling and analysis of time-varying graphs. **CoRR**, v.abs/1012.0260, 2010.
- [Bermudez, 2011] Bermudez, I.; Mellia, M. ; Meo, M. Investigating overlay topologies and dynamics of p2p-tv systems: The case of sopcast. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, 2011.
- [Blondel, 2008] Blondel, V. D.; loup Guillaume, J.; Lambiotte, R. ; Lefebvre, E. **Fast unfolding of communities in large networks**, 2008.
- [Boero, 2004] Boero, G.; Smith, J. ; Wallis, K. F. **Sensitivity of the chi-squared goodness-of-fit test to the partitioning of data**. The warwick economics research paper series (twerps), University of Warwick, Department of Economics, 2004.
- [Borges, 2012] Borges, A.; Gomes, P.; Nacif, J.; Mantini, R.; Almeida, J. M. ; Campos, S. Characterizing sopcast client behavior. **Computer Communications**, 2012.
- [Carriero, 1986] Carriero, N.; Gelernter, D. ; Leichter, J. **Distributed data structures in linda**. In: Proceedings of the 13th ACM SIGACT-SIGPLAN symposium on Principles of programming languages, POPL '86, New York, NY, USA, 1986. ACM.
- [Ciullo, 2010] Ciullo, D.; Garcia, M.; Horvath, A.; Leonardi, E.; Mellia, M.; Rossi, D.; Telek, M. ; Veglia, P. Network awareness of p2p live streaming applications: A measurement study. **Multimedia, IEEE Transactions on**, jan. 2010.
- [Clauset, 2006] Clauset, A.; Newman, M. ; Moore, C. Finding community structure in very large networks. **Physical Review E**, 2004.

- [Cohen, 2003] Cohen, B. **Incentives Build Robustness in BitTorrent**, 2003.
- [Diestel, 2005] Diestel, R. **Graph Theory**, volume 173 de **Graduate Texts in Mathematics**. Third. ed., Springer-Verlag, Heidelberg, 2005.
- [Diot, 2012] Pietiläinen, A.-K.; Diot, C. **Dissemination in opportunistic social networks: the role of temporal communities**. In: Proceedings of the thirteenth ACM international symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, MobiHoc '12, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [Ferreira, 2012] Henrique, F.; Vieira, A. B. ; Silva, A. P. **Caracterização de nodos estáveis no sopcast considerando dinâmica**. In: VIII Workshop de Redes Dinâmicas e Sistemas P2P (WP2P), 2012.
- [Gkantsidis, 2004] Gkantsidis, C.; Mihail, M. ; Saberi, A. **Random walks in peer-to-peer networks**. In: INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, volume 1. IEEE, 2004.
- [Hei, 2007] Hei, X.; Liang, C.; Liang, J.; Liu, Y. ; Ross, K. W. A measurement study of a large-scale p2p iptv system. **Trans. Multi.**, v.9, n.8, Dez. 2007.
- [Horvath, 2008] Horvath, A.; Rossi, D.; Veglia, P.; Ciullo, D. ; Mellia, M. Dissecting pplive , sopcast , tvants. **Work**, 2008.
- [Huang, 2008] Huang, Y.; Fu, T. Z.; Chiu, D.-M.; Lui, J. C. ; Huang, C. **Challenges, design and analysis of a large-scale p2p-vod system**. In: Proceedings of the ACM SIGCOMM 2008 conference on Data communication, SIGCOMM '08, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [Jannotti, 2000] Jannotti, J.; Gifford, D. K.; Johnson, K. L.; Kaashoek, M. F.; O'Toole, J. W.; Jr.; Frans, M. ; James, K. **Overcast: Reliable multicasting with an overlay network**. 2000.
- [Khambatti, 2002] Khambatti, M.; Ryu, K. ; Dasgupta, P. **Peer-to-peer communities: Formation and discovery**. In: In Proc. of the PDCS Conference, 2002.
- [Li, 2011] Li, R.; Gao, G.; Xiao, W. ; Xu, Z. **Measurement study on pplive based on channel popularity**. In: Proceedings of the 2011 Ninth Annual Commu-

- nication Networks and Services Research Conference, CNSR '11, Washington, DC, USA, 2011. IEEE Computer Society.
- [Milojicic, 2003] Milojicic, D. S.; Kalogeraki, V.; Lukose, R.; Nagaraja, K.; Pruyne, J.; Richard, B.; Rollins, S. ; Xu, Z. **Peer-to-peer computing**. Technical report, 2003.
- [Moraes, 2008] Moraes, I.; Campista, M.; Costa, L.; Duarte, O.; Duarte, J.; Passos, D.; de Albuquerque, C. ; Rubinstein, M. On the impact of user mobility on peer-to-peer video streaming. **Wireless Communications, IEEE**, december 2008.
- [Mtibaa, 2008] Mtibaa, A.; Chaintreau, A.; LeBrun, J.; Oliver, E.; Pietilainen, A.-K. ; Diot, C. **Are you moved by your social network application?** In: Proceedings of the first workshop on Online social networks, WOSN '08, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [Newman, 2003] Newman, M. E. J. The Structure and Function of Complex Networks. **SIAM Review**, v.45, 2003.
- [Newman, 2004] Newman, M. E. J. Fast algorithm for detecting community structure in networks. **Physical Review E**, , n.6, Jun 2004.
- [Oliveira, 2010] Oliveira, J.; Vieira, A. B.; de Carvalho Gomes, P. ; de Aguiar Campos, S. V. **Centralidade em redes p2p de transmissão ao vivo**. In: VI Workshop de Redes Dinâmicas e Sistemas P2P (WP2P), 2010.
- [Ratnasamy, 2001] Ratnasamy, S.; Francis, P.; Handley, M.; Karp, R. ; Shenker, S. A scalable content-addressable network. **SIGCOMM Comput. Commun. Rev.**, v.31, n.4, Ago. 2001.
- [Ripeanu, 2002] Ripeanu, M.; Foster, I. **Mapping the gnutella network: Macroscopic properties of large-scale peer-to-peer systems**. In: In Proceedings of the 1st International Workshop on Peer-to-Peer Systems, 2002.
- [Rocha, 2005] Rocha, J.; Fidalgo, J.; Dantas, R.; Oliveira, L.; Kamienski, C. ; Sadok, D. X-peer: A middleware for peer-to-peer applications. **1st Brazilian Workshop on Peer-to-Peer (WP2P)**, 2005.

- [Rowstron, 2001] Rowstron, A.; Druschel, P. **Pastry: Scalable, distributed object location and routing for large-scale peer-to-peer systems**, 2001.
- [Sacha, 2006] Sacha, J.; Dowling, J.; Cunningham, R. ; Meier, R. **Discovery of stable peers in a self-organising peer-to-peer gradient topology**. In: Proceedings of the 6th IFIP WG 6.1 international conference on Distributed Applications and Interoperable Systems, DAIS'06, Berlin, Heidelberg, 2006. Springer-Verlag.
- [Setton, 2006] Setton, E.; Noh, J. ; Girod, B. **Low latency video streaming over peer-to-peer networks**. In: Multimedia and Expo, 2006 IEEE International Conference on, July 2006.
- [Shirky, 2000] Shirky, C. What Is P2P... And What Isn't. 2000.
- [Silverston, 2007] Silverston, T.; Fourmaux, O.; Salamatian, K.; Pierre, U.; Curie, M. ; Vi, P. **Characterization of tvants: Scaling analysis of a p2p iptv traffic**.
- [Silverston, 2007b] Silverston, T.; Fourmaux, O. ; Salamatian, K. Characterization of p2p iptv traffic: Scaling analysis. **CoRR**, 2007.
- [Silverston, 2010] Silverston, T.; Fourmaux, O.; Salamatian, K. ; Cho, K. **On fairness and locality in p2p-tv through large-scale measurement experiment**. In: Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), 2010 IEEE, dec. 2010.
- [Steiner,2009] Steiner, M.; En-Najjary, T. ; Biersack, E. Long term study of peer behavior in the kad dht. **IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)**, 2009.
- [Stoica, 2001] Stoica, I.; Morris, R.; Karger, D.; Kaashoek, M. F. ; Balakrishnan, H. **Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications**. In: Proceedings of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications, SIGCOMM '01, New York, NY, USA, 2001. ACM.
- [Stutzbach, 2011] Stutzbach, D.; Rejaie, R. ; Sen, S. **Characterizing unstructured overlay topologies in modern P2P file-sharing systems**. In: IMC '05:

Proceedings of the 5th ACM SIGCOMM conference on Internet Measurement, Berkeley, CA, USA, 2005. USENIX Association.

[Stutzbach, 2006] Stutzbach, D.; Rejaie, R. **Understanding churn in peer-to-peer networks**. In: Proceedings of the 6th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement, IMC '06, New York, NY, USA, 2006. ACM.

[Tang, 2009] Tang, S.; Lu, Y.; Hernández, J. M.; Kuipers, F. ; Mieghem, P. **Topology dynamics in a p2ptv network**. In: Proceedings of the 8th International IFIP-TC 6 Networking Conference, NETWORKING '09, Berlin, Heidelberg, 2009. Springer-Verlag.

[Tian, 2007] Tian, J.; Dai, Y. **Understanding the dynamic of peer-to-peer systems**. In: Proc. 6th Int. Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS), 2007.

[Tsoumakos, 2003] Tsoumakos, D.; Roussopoulos, N. **A comparison of peer-to-peer search methods**. In: Proceedings of the Sixth International Workshop on the Web and Databases. Citeseer, 2003.

[Valduriez, 2004] Valduriez, P.; Pacitti, E. **Data management in large-scale p2p systems 1**, 2004.

[Vieira, 2009] Vieira, A.; Gomes, P.; Rocha, M.; Almeida, J. ; Campos, S. **A behaviour model of the sopcast users**. In: Proceedings of the XV Brazilian Symposium on Multimedia and the Web. ACM, 2009.

[Vieira, 2013] Vieira, A.; da Silva, A.; Henrique, F.; Goncalves, G. ; Gomes, P. **Sopcast p2p live streaming: Live session traces and analysis**. In: 4th ACM Multimedia Systems Conference, MMSYS Dataset '13. ACM, 2013.

[Vu, 2007] Vu, L.; Gupta, I.; Liang, J. ; Nahrstedt, K. **Measurement and modeling of a large-scale overlay for multimedia streaming**. In: The Fourth International Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness &#38; Workshops, QSHINE '07, New York, NY, USA, 2007. ACM.

- [Wang,2008] Wang, F.; Liu, J. ; Xiong, Y. **Stable peers: Existence, importance, and application in peer-to-peer live video streaming**. In: INFOCOM 2008. The 27th Conference on Computer Communications. IEEE, april 2008.
- [Wang, 2011] Wang, Q.; Fleury, E. **Understanding community evolution in Complex systems science**. In: Lélia Blin, Y. B., editor, DYNAM: Proceedings of the 1st International Workshop on Dynamicity, volume 1, p. 12, Toulouse, France, Dez. 2011.
- [Wu, 2008] Wu, C.; Li, B. ; Zhao, S. Exploring large-scale peer-to-peer live streaming topologies. **ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl.**
- [Xiao, 2007] Hei, X.; Liang, C.; Liang, J.; Liu, Y. ; Ross, K. A measurement study of a large-scale p2p iptv system. **Multimedia, IEEE Transactions on**, 2007.
- [Zhao, 2001] Zhao, B. Y.; Kubiawicz, J. D. ; Joseph, A. D. **Tapestry: An infrastructure for fault-tolerant wide-area location and**. Technical report, Berkeley, CA, USA, 2001.
- [Zhang, 2005] Zhang, X.; Liu, J.; Li, B. ; Yum, Y.-S. **Coolstreaming/donet: a data-driven overlay network for peer-to-peer live media streaming**. In: INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE, march 2005.
- [Zhang, 2007] Zhang, M.; Member, S.; Zhang, Q.; Member, S.; Sun, L. ; Yang, S. Understanding the power of pull-based streaming protocol: Can we do better. **IEEE JSAC**, 2007.
- [Zhang, 2010] Zhang, Y.; Xiao, C. ; Zhang, H. **Analysis of session sequences of stable peers in p2p systems**. In: Broadband Network and Multimedia Technology (IC-BNMT), 2010 3rd IEEE International Conference on. IEEE, 2010.
- [Zhou, 2007] Zhou, Y.; Chiu, D. M. ; Lui, J. **A simple model for analyzing p2p streaming protocols**. In: Network Protocols, 2007. ICNP 2007. IEEE International Conference on, 2007.