

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

RODRIGO DAL RI

**Caracterizando a Instabilidade de Rotas na  
Internet via análise de Mensagens BGP**

Monografia apresentada como requisito parcial  
para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia da Computação

Orientador: Prof. Dr. Marinho Pilla Barcellos  
Co-orientador: Prof. Me. Pedro de Botelho  
Marcos

Porto Alegre  
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Prof<sup>a</sup>. Jane Fraga Tutikian

Pró-Reitor de Graduação: Prof. Wladimir Pinheiro do Nascimento

Diretora do Instituto de Informática: Prof<sup>a</sup>. Carla Maria Dal Sasso Freitas

Coordenador do Curso de Engenharia de Computação: Prof. André Inácio Reis

Bibliotecária-chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

*“We’re not free in what we do  
because we’re not free in what we want.”*

— ANÔNIMO

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de iniciar os agradecimentos pelos meus pais, Carlos e Luciane, que me deram suporte e apoio durante todos esses anos, sem eles não teria conquistado nada disso. Agradeço o amor da minha vida, Mariana, que desde o primeiro dia me deu um motivo para viver, me deu uma nova inspiração para concluir os meus objetivos e que me fez um pessoa completa, te amo muito boba. Também agradeço a minha família e amigos que sempre estiveram presentes e aguentaram meus momentos de mau humor.

Gostaria de agradecer também os professores Marinho e Pedro por toda a orientação recebida nesse tempo de laboratório. Também agradeço a todos, professores, colegas de graduação e colegas de laboratório que fizeram parte da minha graduação.

## RESUMO

Boa parte da entrega de tráfego na Internet esta sujeita a requisitos estritos de serviço. Para lidar com estes, ASes constantemente realizam operações de engenharia de tráfego e estabelecem novos acordos de interconexão. Estas alterações são refletidas na Internet através de mensagens BGP. Contudo, se realizadas de forma frequente, podem afetar a estabilidade da Internet, levando a possíveis problemas na entrega de tráfego. Neste trabalho apresentamos uma análise das propriedades das alterações de rota feitas na Internet. Para isso são utilizados conjuntos de dados contendo mensagens BGP coletadas em seis pontos de medição distribuídos geograficamente, um em cada continente, em abril de 2019. Nossas análises mostram que: *(i)* apesar da diferença geográfica dos coletores o comportamento médio é similar; *(ii)* em 80% dos casos, prefixos estão disponíveis por menos de trinta e três horas, aproximadamente; *(iii)* em 70% dos casos, prefixos ficam indisponíveis por até vinte minutos; *(iv)* os prefixos IPv6, quando retirados, levam menos tempo até serem re-anunciados em comparação aos prefixos IPv4; *(v)* e que os prefixos IPv6, quando anunciados, permanecem menos tempo disponíveis em comparação aos prefixos IPv4.

**Palavras-chave:** BGP. dinâmica de roteamento. instabilidade de roteamento. medição de rede.

## Characterizing the Instability of Routes on the Internet via BGP Message Analysis

### ABSTRACT

A significant part of the Internet traffic is subject to strict service requirements. To deal with them, ASes regularly perform traffic engineering operations and establish new interconnection agreements. Such changes are reflected on the Internet through BGP messages. However, if done frequently, they can affect the stability of the Internet, leading to possible problems in Internet traffic delivery. In this work, we present an analysis of the properties of route changes on the Internet. We use datasets containing BGP messages collected at six geographically distributed vantage points, one in each continent, in April 2019. Our analyses show that: *(i)* despite the geographic difference of the collectors their average behavior is similar; *(ii)* 80% of cases in which prefixes were announced and withdrawn, the prefix was available for less than 33 hours; *(iii)* in 70% of cases, prefixes are unavailable for up to 20 minutes; *(iv)* IPv6 prefixes take less time to be re-announced than IPv4 prefixes; *(v)* and IPv6 prefixes that are withdrawn remain available less time than IPv4 prefixes.

**Keywords:** BGP, routing dynamics, routing instability, network measurement.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Anúncio de Rotas BGP.	15
Figura 2.2	Mensagem de UPDATE.	16
Figura 2.3	Cenário de Instabilidade do BGP.	17
Figura 2.4	Coletor de Rotas em um IXP.	18
Figura 2.5	Cabeçalho MRT Estendido.	20
Figura 2.6	Subtipo BGP4MP_MESSAGE_AS4.	21
Figura 4.1	Distribuição Geográfica dos Coletores.	26
Figura 4.2	Fluxo de Trabalho.	27
Figura 4.3	Número de Mensagens por Coletor.	28
Figura 4.4	Caracterização dos Tempos AW e WA.	31
Figura 4.5	Tempos AW.	32
Figura 4.6	Tempos WA.	32
Figura 4.7	Ponto de Inflexão Tempo AW - EQUINIX.	33
Figura 4.8	Tempos WA.	34
Figura 4.9	Ponto de Inflexão Tempo WA - EQUINIX.	34
Figura 4.10	Eventos <i>Short-Lived</i> - JPIX.	36
Figura 4.11	Tempos AW - JPIX.	37
Figura 4.12	Tempos WA - JPIX.	37
Figura 4.13	Prefixos - JPIX.	38
Figura 4.14	Linha do Tempo - Prefixos mais Instáveis.	39
Figura 4.15	Tempos AW.	41
Figura 4.16	Tempos WA.	41
Figura 4.17	AS6939 - JPIX.	42
Figura B.1	Pontos de Inflexão Tempos AW.	48
Figura B.2	Pontos de Inflexão Tempos WA.	49
Figura C.1	Tempos WA.	50
Figura D.1	Eventos <i>Short-Lived</i> - AMSIX.	51
Figura D.2	Eventos <i>Short-Lived</i> - EQUINIX.	52
Figura D.3	Eventos <i>Short-Lived</i> - NAPAFRICA.	53
Figura D.4	Eventos <i>Short-Lived</i> - SCL.	54
Figura D.5	Eventos <i>Short-Lived</i> - SYDNEY.	55
Figura E.1	Tempos AW - AMSIX.	56
Figura E.2	Tempos WA - AMSIX.	56
Figura E.3	Tempos AW - EQUINIX.	57
Figura E.4	Tempos WA - EQUINIX.	57
Figura E.5	Tempos AW - NAPAFRICA.	57
Figura E.6	Tempos WA - NAPAFRICA.	58
Figura E.7	Tempos AW - SCL.	58
Figura E.8	Tempos WA - SCL.	58
Figura E.9	Tempos AW - SYDNEY.	59
Figura E.10	Tempos WA - SYDNEY.	59
Figura F.1	Prefixos - AMSIX.	60
Figura F.2	Prefixos - EQUINIX.	60

Figura F.3 Prefixos - NAPAFRICA.....	61
Figura F.4 Prefixos - SCL.....	61
Figura F.5 Prefixos - SYDNEY.....	61
Figura G.1 Tempos AW.....	62
Figura G.2 Tempos WA.....	63
Figura H.1 AS6939 - AMSIX.....	64
Figura H.2 AS6939 - EQUINIX/SYDNEY.....	65
Figura H.3 AS6939 - NAPAFRICA.....	66



## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Número de Peers Presentes em cada Coletor. ....	29
Tabela 4.2	Número de ASes Observados em cada Coletor.....	29
Tabela 4.3	Número de Prefixos com Alteração por Semana - JPIX. ....	30
Tabela 4.4	Número de Prefixos por Coletor. ....	30
Tabela 4.5	Prefixos mais Instáveis - JPIX. ....	38
Tabela 4.6	Número de ASes Observados em cada Coletor - AS6939. ....	40
Tabela 4.7	Número de Prefixos por Coletor - AS6939. ....	40
Tabela A.1	Número de Prefixos com Alteração por Semana - EQUINIX.....	47
Tabela A.2	Número de Prefixos com Alteração por Semana - AMSIX.....	47
Tabela A.3	Número de Prefixos com Alteração por Semana - SYDNEY.....	47
Tabela A.4	Número de Prefixos com Alteração por Semana - SCL. ....	47
Tabela A.5	Número de Prefixos com Alteração por Semana - NAPAFRICA. ....	47

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BGP	Border Gateway Protocol
AS	Autonomous Systems
IXP	Internet eXchange Points
CDN	Content Delivery Networks
ISP	Internet Service Provider
VPN	Virtual Private Networks
MPLS	Multi Protocol Label Switching

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 CONCEITOS</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1 Border Gateway Protocol - BGP</b> .....	<b>14</b>
2.1.1 Funcionamento do Protocolo .....	14
2.1.2 Modelos de Acordo de Interconexão e Escolha de Rotas.....	14
2.1.3 Tipos de Mensagens.....	15
<b>2.2 Estabilidade da Internet</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3 Coletor de Rota</b> .....	<b>17</b>
2.3.1 Route Views .....	18
2.3.2 RIPE RIS.....	18
2.3.3 Isolario .....	19
2.3.4 Packet Clearing House - PCH.....	19
<b>2.4 Formato MRT</b> .....	<b>20</b>
<b>3 TRABALHOS RELACIONADOS</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1 Metodologias para Avaliar a Estabilidade da Internet</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2 Análises da Estabilidade da Internet</b> .....	<b>23</b>
<b>4 METODOLOGIA E RESULTADOS</b> .....	<b>26</b>
<b>4.1 Coletores Escolhidos</b> .....	<b>26</b>
<b>4.2 Metodologia</b> .....	<b>26</b>
<b>4.3 Caracterização dos Coletores</b> .....	<b>28</b>
4.3.1 Número de Mensagens.....	28
4.3.2 Número de <i>Peers</i> e ASes observados.....	28
4.3.3 Número de Prefixos.....	29
<b>4.4 Resultados por Coletor</b> .....	<b>30</b>
4.4.1 Tempos AW e WA.....	31
4.4.2 Eventos <i>Short-Lived</i> .....	34
4.4.3 Comparação do Comportamento entre Prefixos IPv4 e IPv6 .....	35
4.4.4 Prefixos mais Instáveis.....	37
<b>4.5 Analisando o comportamento de um AS</b> .....	<b>39</b>
4.5.1 Número de ASes Observados .....	39
4.5.2 Número de Prefixos.....	40
4.5.3 Tempos AW e WA.....	40
4.5.4 Detalhamento dos casos AW e WA.....	41
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>44</b>
<b>APÊNDICE A — PREFIXOS COM ALTERAÇÃO</b> .....	<b>47</b>
<b>APÊNDICE B — PONTOS DE INFLEXÃO AW E WA</b> .....	<b>48</b>
<b>APÊNDICE C — TEMPOS WA</b> .....	<b>50</b>
<b>APÊNDICE D — EVENTOS <i>SHORT-LIVED</i></b> .....	<b>51</b>
<b>APÊNDICE E — IPV4 X IPV6</b> .....	<b>56</b>
<b>APÊNDICE F — PREFIXOS</b> .....	<b>60</b>
<b>APÊNDICE G — TEMPOS AW E WA - AS6939</b> .....	<b>62</b>
<b>APÊNDICE H — EVENTOS - AS6939</b> .....	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

**Contexto.** Boa parte do tráfego da Internet é dedicado a aplicações com requisitos estritos de latência e banda, como vídeo sob demanda e jogos online. Nesse contexto operadores de rede precisam empregar técnicas de engenharia de tráfego para satisfazer esses requisitos e para lidar com falhas na Internet, como quedas de enlace (DUNCAN, 2019) e rajadas de tráfego (ARTHUR, 2019; BRODKIN, 2019; MCGEE-ABE, 2019). Além disso, operadores usam novos acordos de interconexão para lidar com problemas pontuais. Ambos os casos levam a modificações em termos de rotas e prefixos anunciados por BGP (ORSINI et al., 2016).

**Motivação.** Se feitas frequentemente, tais mudanças podem afetar a estabilidade da Internet. Toda vez que uma rota ou prefixo é alterado, o AS precisa enviar novas mensagens BGP (Updates) anunciando e/ou retirando a informação anteriormente válida. Tais mensagens podem levar a custos adicionais de processamento nos roteadores, bem como indisponibilidade momentânea de certos prefixos, uma vez que as novas rotas precisam ser propagadas. Entender as práticas atuais dos ASes e seus impactos é importante para que operadores possam aprimorar sua tomada de decisão e garantir a eficiência da entrega de tráfego. Trabalhos anteriores realizam análise limitada ou foram realizados há sete anos ou mais (LABOVITZ et al., 2000; LABOVITZ et al., 2001; REXFORD et al., 2002; PEI; MERWE, 2006; LI et al., 2007; ELMOKASHFI; KVALBEIN; DOVROLIS, 2012). Estes trabalhos podem não mais refletir a realidade da Internet atual tendo em vista as mudanças observadas nos últimos anos. Por exemplo, podemos destacar a consolidação dos Pontos de Troca de Tráfego da Internet (IXPs, do inglês *Internet eXchange Points*) como elementos chave da Internet (AGER et al., 2012), a planarização da topologia (CHIU et al., 2015), o surgimento de alternativas para conectividade sob demanda, tanto na academia ((MARCOS et al., 2018; CASTRO et al., 2015; CHOI; HONG; LIM, 2018; VALANCIUS et al., 2008)) como na indústria (p.ex., Megaport, ConsoleConnect, PacketFabric e Epsilon Infiny) e a aproximação do conteúdo ao usuário final através de Redes de Entrega de Conteúdo (CDNs, do inglês, *Content Delivery Networks*) (CARISIMO et al., 2018; BÖTTGER et al., 2018).

**Proposta.** Este trabalho apresenta um estudo sobre a estabilidade da Internet. Para isso são utilizados conjuntos de dados de BGP Updates coletados e disponibilizados pela Packet Clearing House (PCH) (PCH, 2019). São analisados dados provenientes de seis coletores geograficamente distribuídos, um em cada continente. São eles AMS-IX (Ams-

terdam, Países Baixos), Equinix (Dallas, Estados Unidos da América), SCL (Santiago, Chile), NAPAfrica (Joanesburgo, África do Sul), JPIX (Tóquio, Japão) e Megaport (Sydney, Austrália). Para caracterização do cenário atual são analisados dados do mês de abril de 2019. Assim, este trabalho apresenta respostas para as seguintes perguntas:

- Qual é o atual cenário quanto à instabilidade na Internet?
- Quais os principais motivos causadores de instabilidade?
- Quão instáveis são os prefixos na Internet? Quais os prefixos mais instáveis?
- Quão instáveis são os ASes na Internet? Quais os ASes mais instáveis?
- Existe diferença em relação a onde estão localizados os coletores?

**Contribuições.** A partir do estudo realizado, a contribuição do nosso trabalho é uma caracterização da estabilidade da Internet. Esta caracterização pode ser dividida em três níveis: *(i)* nível de coletor; *(ii)* nível de AS; e *(iii)* nível de prefixo.

**Organização.** O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. O Capítulo 2 revisa os principais conceitos relacionados ao funcionamento do protocolo BGP, ao processo de escolha de rotas pelos ASes, ao funcionamento dos coletores de rotas e descreve os conjuntos de dados utilizados. Já o Capítulo 3 compara este com os principais trabalhos relacionados. O Capítulo 4 apresenta e discute as análises e resultados relativos a estabilidade da Internet. Por fim, o Capítulo 5 resume as contribuições e lições aprendidas neste trabalho e apresenta uma agenda de pesquisa para investigações futuras.

## 2 CONCEITOS

Este trabalho apresenta um estudo, baseado em medições, sobre estabilidade de rotas na Internet. Rotas entre domínios são alteradas devido a mudanças de conectividade física ou políticas, como acordos comerciais. Rotas são configuradas com base em trocas de mensagens via protocolo BGP. Para que o trabalho seja auto-contido, neste capítulo revisamos os fundamentos sobre BGP, estabilidade de rotas e coletores de rotas na Internet. O leitor já familiarizado com esses conceitos pode prosseguir direto ao próximo capítulo.

### 2.1 Border Gateway Protocol - BGP

É um protocolo de roteamento criado para troca de informações de roteamento e alcançabilidade entre ASes na Internet. É classificado como um protocolo de vetor de caminho. A principal função do BGP é trocar informações de acessibilidade de rede com outros sistemas BGP. Esses dados de acessibilidade de rede incluem fundamentos sobre a lista de ASes que as informações de alcançabilidade percorrem. Isto é suficiente para a construção de um grafo de conectividade do AS, a partir da qual laços de roteamento podem ser removidos e decisões de política no nível AS podem ser aplicadas (REKHTER; LI, 1995).

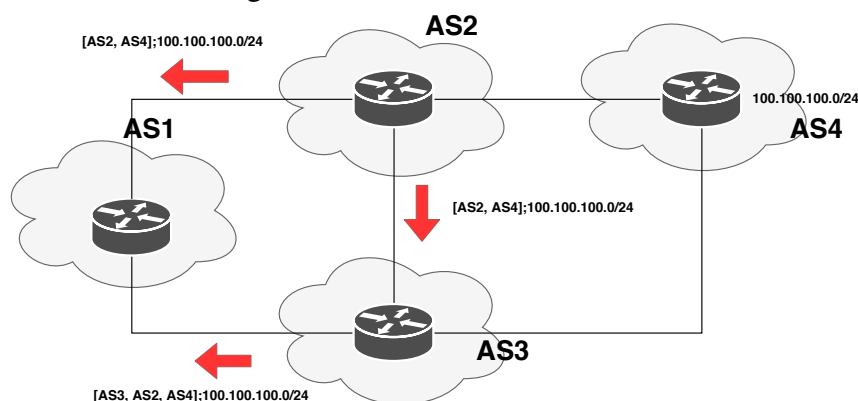
#### 2.1.1 Funcionamento do Protocolo

. A Figura 2.1 mostra um exemplo de cenário onde mensagens BGP são trocadas para anunciar rotas. Primeiro, supondo que anteriormente AS4 anunciou seus prefixos ao AS2, o AS2 anuncia ao AS3 e ao AS1 que existe um caminho para o AS4. Após, o AS3 repassa este anúncio para o AS1, indicando como caminho a sequência de ASes a serem atravessados até o AS4. Em cada uma das mensagens são repassadas, juntamente com o caminho e o prefixo, outros atributos, mostrados na Sub-seção 2.1.3.

#### 2.1.2 Modelos de Acordo de Interconexão e Escolha de Rotas.

Atualmente os acordos de interconexão podem ser agrupados em dois tipos de relações comerciais: trânsito e *peering*. Um acordo de trânsito funciona da seguinte forma:

Figura 2.1: Anúncio de Rotas BGP.



Fonte: Os Autores

um ISP fornece conectividade a toda a Internet e cobra de seus clientes pelo tráfego. Alternativamente, existe uma variação deste tipo de acordo, chamada de trânsito parcial, em que o ISP fornece acessibilidade limitada a uma parte da Internet, aos seus clientes, cobrando um preço menor. Nos acordos de *peering*, os dois lados concordam em trocar reciprocamente o tráfego originado ou destinado de um local específico para as suas redes ou o seu cone de clientes (LUCKIE et al., 2013). Os acordos de *peering* podem incluir compensação financeira ou não. Atualmente, devido às mudanças de cenário da Internet, os acordos de *zero-dollar peering* nem sempre são satisfatórios, e a política de *paid peering* surgiu como uma forma alternativa (MA et al., 2011).

Um roteador BGP pode ter várias rotas alternativas para alcançar um mesmo destino. Vários atributos são observados para que seja feita a decisão de qual rota será escolhida. Alguns dos principais atributos utilizados na escolha de uma rota são: *localpref*, *pathlength* e MED (CAESAR; REXFORD, 2005). *Localpref* é um indicador para o AS ao qual o roteador pertence sobre qual a preferencia daquela rota; quanto maior melhor. *Pathlength* é o número de saltos da rota anunciada, e quanto menor, melhor. MED é a divulgação de um caminho preferido dentro de um AS para ASes externos, e quanto menor, melhor.

### 2.1.3 Tipos de Mensagens

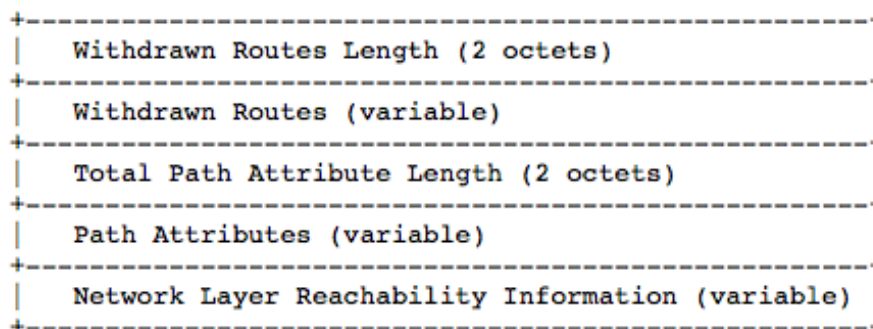
No BGP existem quatro tipos de mensagens: OPEN, UPDATE, NOTIFICATION e KEEPALIVE (REKHTER; LI, 1995). Após estabelecer uma conexão, dois ASes trocam mensagens de OPEN, e se a mensagem for aceita, então os ASes enviam uma mensagem de KEEPALIVE. Uma mensagem NOTIFICATION é enviada quando uma condição de

erro é detectada e então a conexão é encerrada imediatamente. Mensagens de UPDATE são trocadas para transferir informações de roteamento entre ASes.

No contexto deste trabalho, a mensagem mais importante é a de UPDATE. Uma mensagem de UPDATE pode carregar um anúncio ou uma retirada de um prefixo. Um anúncio significa que ou o roteador aprendeu um novo caminho, ou baseado em uma decisão política decidiu escolher uma nova rota. Cada AS envia mensagens de atualização para anunciar aos outros ASes rotas para seus prefixos locais e os caminhos preferidos aprendidos de seus vizinhos. Estas mensagens fornecem informações sobre como um destino pode ser alcançado por meio de uma lista ordenada de saltos, chamada de *ASPath*.

Uma mensagem de UPDATE (REKHTER; LI, 1995) contém atributos importantes para o estudo da estabilidade e convergência do BGP, que são mostrados na Figura 2.2. *Withdrawn Routes* é uma lista de prefixos de endereços para rotas que devem ser removidas da tabela de rotas BGP. *Path Attributes* é uma lista com informações de atributos BGP (p.ex, Origem, *ASPath*). *Network Layer Reachability Information* é uma lista de prefixos.

Figura 2.2: Mensagem de UPDATE



Fonte: Rekhter et al.,1995

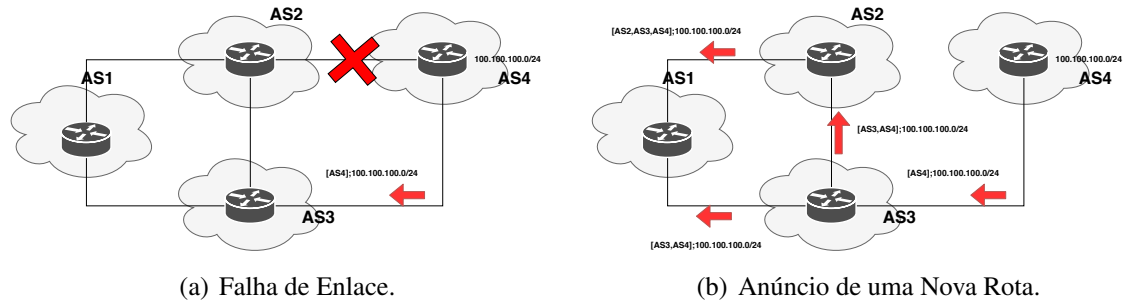
## 2.2 Estabilidade da Internet

Tabelas de roteamento gerenciadas por uma implementação de BGP são ajustadas continuamente para refletir as alterações na rede (p.ex., falhas de enlaces, restauração ou a desativação de rotas). É normal que estas alterações ocorram continuamente na Internet. Retiradas e anúncios de rotas repetidos (oscilações de rotas) podem causar atividade excessiva em todos os outros roteadores que conhecem o enlace em questão, já que esta rota é continuamente adicionada e retirada das tabelas de roteamento.

A Figura 2.3, seguindo o mesmo cenário da Figura 2.1, apresenta um evento de potencial instabilidade do BGP. Primeiro, a Figura 2.3(a) mostra que ocorreu uma falha no



Figura 2.3: Cenário de Instabilidade do BGP.



Fonte: Os Autores

enlace entre o AS2 e o AS4, ou o acordo de interconexão entre os ASes expirou, e o AS2 não tem mais como encaminhar o tráfego até o AS4. Além disso, um novo anúncio foi enviado do AS4 para o AS3. Segundo, a Figura 2.3(b) mostra que mensagens de retiradas e de anúncios de uma nova rota até o AS4 serão trocadas na rede. Até a convergência, o tráfego com destino ao AS4 será descartado em algum ponto da rede, além de demandar processamento adicional dos roteadores. Atualmente, uma alteração de roteamento do BGP pode causar interrupções indesejáveis na Internet, por períodos não negligíveis.

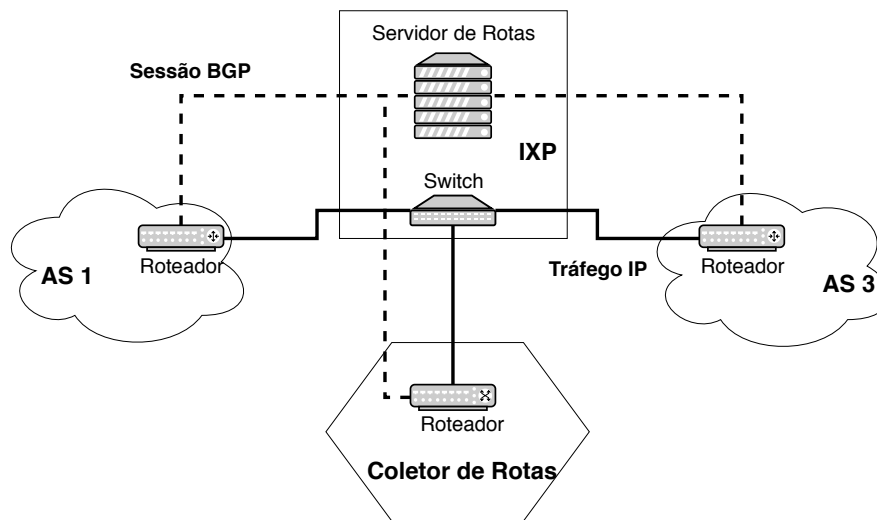
### 2.3 Coletor de Rota

Os coletores de rota são uma ferramenta de configuração, diagnóstico e medição, normalmente implementados sobre um roteador ou um sistema Unix executando o protocolo BGP. Os coletores de rota têm como propósito reunir e fornecer uma visão pública das informações de roteamento de roteadores de ASes. Um coletor de rota faz *peer* com cada AS utilizando BGP, aceitando todas as rotas que são anunciadas pelos ASes e não anunciando nenhuma. A Figura 2.4 mostra como um coletor de rotas estabelece suas conexões em um ambiente de IXP.

Os coletores de rota são úteis para diferentes grupos: ASes: verificar a funcionalidade de filtros de BGP; comunidade de operadores de rede: soluções de problemas; e comunidade acadêmica: desenvolvimentos de pesquisas.

Os principais projetos que operam coletores de rotas e disponibilizam seus dados em público são: Route Views (ROUTEVIEWS, 2019), RIPE RIS (RIPERIS, 2019), PCH (PCH, 2019) e Isolario (ISOLARIO, 2019), descritos a seguir.

Figura 2.4: Coletor de Rotas em um IXP.



Fonte: Os Autores

### 2.3.1 Route Views

O Route Views é um projeto fundado pelo Advanced Network Technology Center da Universidade de Oregon. Foi originalmente concebido como uma ferramenta para que os operadores de rede obtenham informações do BGP em tempo real sobre o sistema de roteamento global a partir das perspectivas de vários *backbones* em locais diferentes na Internet.

Atualmente o Route Views mantém vinte e um coletores de rotas, com mais de cento e oitenta ASes conectados, distribuídos em cinco continentes, sendo a maioria presente na América do Norte. O histórico de informação coletado mais antigo é de 2001. São coletados RIBS e Updates com intervalo de amostragem, respectivamente, de duas horas e de quinze minutos. É disponibilizada uma API para a visualização dos dados.

### 2.3.2 RIPE RIS

O RIPE NCC é o Registro Regional da Internet para a Europa, o Oriente Médio e partes da Ásia Central. O RIPE NCC coleta e armazena dados de roteamento usando o Serviço de Informações de Roteamento, RIS, estabelecido em 2001.

Atualmente o RIPE RIS mantém vinte e três coletores de rotas, com mais de trezentos e quarenta ASes conectados, distribuídos em quatro continentes, sendo a maioria presente na Europa. O histórico de informação coletado mais antigo é de 1999. São

coletados RIBS e Updates com intervalo de amostragem de oito horas e cinco minutos respectivamente.

### **2.3.3 Isolario**

O Isolario é um projeto italiano liderado pelo IIT-CNR. O objetivo do Isolario é melhorar o conhecimento sobre o ecossistema de nível AS da Internet aumentando a quantidade de ASes dos quais os dados do BGP são coletados.

Atualmente o Isolario mantém seis coletores de rotas, com cento e sessenta ASes conectados, todos na Itália. O histórico de informação coletado mais antigo é de 2015. São coletados RIBS e Updates com intervalo de amostragem de duas horas e cinco minutos respectivamente. É disponibilizado uma API para a visualização dos dados.

### **2.3.4 Packet Clearing House - PCH**

A PCH é uma organização internacional responsável por fornecer suporte operacional e segurança à infraestrutura crítica da Internet, incluindo IXPs e o núcleo do sistema de nomes de domínio. Realiza pesquisas sobre questões tecnológicas, econômicas e políticas relacionadas à troca de tráfego na Internet. Originalmente formada em 1994, por Chris Alan e Mark Kent, para fornecer alternativas eficientes de interconexão de rede regional e local para a costa oeste dos Estados Unidos, a PCH cresceu desde então para se tornar a principal proponente de interconexão de rede neutra independente.

Atualmente, a PCH fornece equipamentos, treinamento, dados e suporte operacional a organizações e pesquisadores individuais que buscam melhorar a qualidade, robustez e acessibilidade da Internet. Mantém cento e noventa e três coletores de rotas, com mais de mil e duzentos ASes conectados. O histórico de informação coletado mais antigo é de 2010.

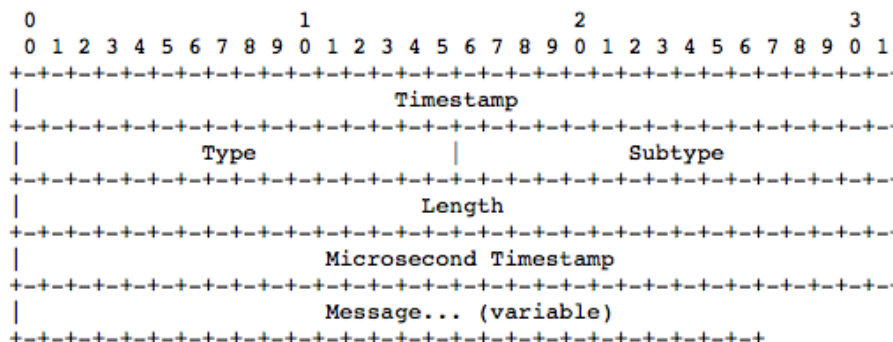
Para a realização deste trabalho são utilizados dados coletados e disponibilizados pela PCH. Esta escolha foi feita pelo fato de os coletores estarem localizados em IXPs, que são os locais onde grande parte dos ASes se interconectam. Os dados coletados pela PCH não representam as tabelas de roteamento completas, mostram apenas as relações de *peering*.

## 2.4 Formato MRT

Os coletores de rotas são fundamentais para aquisição de dados sistemática e contínua, possibilitando a realização de experimentos. Estas informações são exportadas no formato MRT (BLUNK; LABOVITZ, 2011). O formato de registro MRT foi desenvolvido para fornecer aos pesquisadores e engenheiros um meio de encapsular, exportar e arquivar mensagens.

Todos os registros em formato MRT possuem um cabeçalho comum, com os seguintes campos: *Timestamp*, *Type*, *Subtype* e *Length*. Vários tipos de registro no formato MRT suportam um cabeçalho estendido, com um campo adicional de *Microsecond Timestamp*. A Figura 2.5 mostra um cabeçalho MRT estendido. Existem nove opções definidas para o campo *Type*, dentre as quais, duas são de interesse para este trabalho: BGP4MP e BGP4MP\_ET (versão com cabeçalho estendido). O cabeçalho é seguido por um campo de mensagem.

Figura 2.5: Cabeçalho MRT Estendido

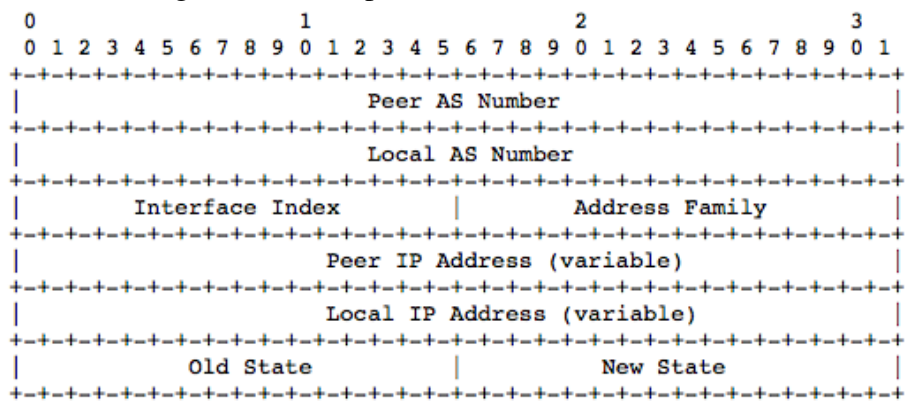


Fonte: Blunk et al.,2011

BGP4MP foi inicialmente definido no pacote de software Zebra para o protocolo BGP com extensões multi protocolo (BATES R. CHANDRA; REKHTER, 2007). BGP4MP tem seis subtipos definidos, dentre eles, dois são de interesse: BGP4MP\_MESSAGE e BGP4MP\_MESSAGE\_AS4.

Este subtipo é usado para codificar qualquer tipo de mensagens BGP. A mensagem BGP inteira é encapsulada no campo *BGP Message*. O subtipo BGP4MP\_MESSAGE não suporta ASns de quatro *bytes*. O subtipo BGP4MP\_MESSAGE\_AS4 atualiza o subtipo BGP4MP\_MESSAGE para suportar ASns de quatro *bytes*. A Figura 2.6 mostra uma mensagem do subtipo BGP4MP\_MESSAGE\_AS4.

Figura 2.6: Subtipo BGP4MP\_MESSAGE\_AS4



Fonte: Blunk et al.,2011

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta os principais trabalhos relacionados à estabilidade da Internet. Os trabalhos são apresentados com foco em dois aspectos: as metodologias utilizadas para avaliar a estabilidade e a convergência do BGP, e as análises realizadas a partir do uso destas metodologias.

#### 3.1 Metodologias para Avaliar a Estabilidade da Internet

Para a realização das medições na Internet utilizam-se métodos passivos ou ativos. Métodos passivos são o processo de monitorar o tráfego da rede sem inserir tráfego adicional ou alterar o já existente. Os mesmos são utilizados para obtenção de informação sobre pontos isolados da rede. Em contraste, métodos ativos são o processo de transmitir pacotes dedicados, onde estes encaminhamentos são monitorados para a inferência de características da rede. Eles são utilizados para fornecer uma representação do caminho entre dois pontos.

Os autores em (LABOVITZ et al., 2000) examinam a latência gerada por uma falha de caminho na Internet, e o tempo necessário ao reparo, combinando métodos ativos e passivos. Ao longo de dois anos foram injetadas 250.000 falhas em diversas sessões de pareamento distribuídas geograficamente e topologicamente. São avaliados os impactos destas falhas tanto por medições fim-a-fim, como pela alteração nas tabelas de roteamento. São utilizados dois *softwares*, MRT (MRTPROJECT..., 2019) e IPMA (IPMA, 2019), para geração das mensagens BGP, com intervalos randômicos com periodicidade de duas horas.

Logo após, os mesmos autores, em (LABOVITZ et al., 2001), examinam o impacto entre a topologia inter-domínio e as políticas de roteamento no processo de convergência de roteamento. A metodologia é expandida em relação ao trabalho anterior, combinando métodos ativos e passivos, sendo utilizados mais de dez provedores distribuídos e injetando falhas por seis meses. Além das medições experimentais, os autores fizeram um estudo consultando quinze provedores de *backbone* da Internet de tamanhos variados. Foram obtidos detalhes sobre suas políticas de roteamento e de pareamento, com o objetivo de discutir o impacto de mecanismos específicos de filtragem e implementação destas políticas no processo de convergência.

Os autores em (REXFORD et al., 2002) analisam as mensagens de atualização

do BGP e as medições de tráfego do *backbone* da AT&T. Além disso, eles analisam a estabilidade de roteamento de prefixos de destino correspondentes ao catálogo de sites populares da NetRating (NETRATINGS, 2019) utilizando as mensagens de atualização dos conjuntos de dados Route Views e RIPE RIS do mês de março de 2002. Aquele trabalho teve como objetivo analisar a estabilidade de roteamento relacionado aos destinos populares da Internet.

Os autores em (PEI; MERWE, 2006) realizam o primeiro estudo sistemático da convergência do BGP em Redes Privadas Virtuais (VPNs, do inglês *Virtual Private Networks*), com comutação MPLS e utilizando dados coletados de um ISP de nível 1. Naquele estudo, foram usadas várias fontes de dados, configurações de roteadores, encaminhamento de *dumps* de tabelas, mensagens *syslog* e atualizações do BGP da rede do provedor.

Os autores em (LI et al., 2007) justificam a necessidade de revisitar o tópico de dinâmica de roteamento do BGP quase uma década após o primeiro trabalho na área. O crescimento constante e as características variáveis da Internet são os motivos apresentados para capturar novas estatísticas e tendências da dinâmica do BGP. Foram utilizados dados de agosto de 2005 a janeiro de 2006 de monitores do RIPE RIS.

Os autores em (ELMOKASHFI; KVALBEIN; DOVROLIS, 2012) apresentam um estudo longitudinal de "churn BGP" abrangendo um período de sete anos e roteadores em quatro ISPs de nível 1 provenientes do Route Views. Adotam uma abordagem exploratória de análise de dados de Tukey (KOMOROWSKI et al., 2016), que explorou as causas por trás dos fenômenos observados e o uso de dados para formular novas hipóteses.

Por fim, os autores em (GREEN et al., 2018) aproveitam sistematicamente a estabilidade inter-domínios para pré-processar as atualizações do BGP. Eles discutem os conceitos de caminhos principais, os caminhos inter-domínios mais usados em um período de tempo, e pseudo-eventos, períodos de indisponibilidade do caminho principal. Foram analisados três meses de atualizações BGP anunciadas no coletor de rotas do LINX RIS e também três meses de eventos BGP anômalos documentados pelo BGPmon (BGPMON, 2019).

### **3.2 Análises da Estabilidade da Internet**

A seguir, serão resumidas as principais conclusões obtidas nos trabalhos relacionados citados acima.

Em 2000, no trabalho (LABOVITZ et al., 2000), os autores concluíram que as

falhas causadas pela demora na convergência do protocolo BGP se tornarão um dos principais fatores negativos nas redes de dados. Passados dezessete anos podemos afirmar que os autores estavam corretos quanto a esta conclusão. Por fim, previram que estes atrasos cresceriam linearmente com a adição de novos ASes à Internet, no melhor dos casos, e exponencialmente, no pior.

No trabalho (LABOVITZ et al., 2001), em 2001, os autores concluíram que a complexidade de tempo para a convergência de um caminho de *failover* é limitada por  $30*n$  segundos, onde  $n$  é o comprimento do *ASPath* alternativo mais longo entre a origem e qualquer AS de destino para um caminho. Também mostraram que as rotas de clientes de ISPs maiores convergem mais rapidamente do que as rotas de clientes de ISPs menores.

Os autores em (REXFORD et al., 2002) concluem que, apesar do grande número de mensagens de atualização do BGP, os prefixos mais populares tendem a ter rotas BGP estáveis. Ademais, a grande maioria dos eventos de atualização está concentrada em alguns prefixos que não recebem muito tráfego. Estes resultados têm implicações importantes na engenharia de tráfego, fazendo com que os operadores de rede possam assumir que as rotas BGP correspondentes a grande parte do tráfego são razoavelmente estáveis.

Os autores em (PEI; MERWE, 2006), no primeiro trabalho que analisou a convergência do BGP em redes VPNs MPLS, encontraram um resultado surpreendente. Eles descobrem que o problema de invisibilidade de rota ocorre com frequência e contribui significativamente para o atraso total de convergência, ao contrário da exploração de caminho. Além disso, mostram que, nos resultados de medição, a maioria dos atrasos de convergência eram menores que vinte segundos.

Os autores em (LI et al., 2007), ao revisitar as dinâmicas do BGP, descobriram que em 2006 a dinâmica predominante é a de encaminhamento, mostrando que na maioria das vezes o BGP está realmente fazendo seu trabalho, descobrindo novas rotas. Também afirmam que: no máximo 4% das dinâmicas eram causadas por falhas topológicas transitórias; que 15% das atualizações no período analisado provavelmente estavam relacionadas a mudanças na política dos ASes; a Internet ainda estava repleta de atualizações duplicadas, sendo que a maioria das duplicatas eram anúncios (15%) em vez de retiradas (apenas 1%). Os autores acreditavam que esse comportamento "mais saudável" do BGP era, em grande parte, consequência da maturidade das implementações de fornecedores do BGP e da experiência dos operadores e engenheiros de rede.

Os autores em (ELMOKASHFI; KVALBEIN; DOVROLIS, 2012) afirmam que anúncios duplicados são um grande contribuidor de "churn" e concluem que até 40% dos



anúncios de rota são redundantes e não são necessários para o comportamento correto do protocolo. Também identificam que as razões subjacentes para as mudanças mais severas são normalmente causados por erros de configuração ou outras anomalias nas fronteiras do AS monitorado.

Os autores em (GREEN et al., 2018), via medições, validam a existência de caminhos primários e mostram que estes são consistentemente utilizados. O referido trabalho quantifica os benefícios dos caminhos primários para a análise dinâmica do BGP em dois casos de uso: tomografia da Internet e detecção de anomalias. No segundo caso, poderiam ser usados para detectar eventos de sequestros e interrupções.

Analisando criticamente, a maioria dos trabalhos relacionados é antiga, sendo que apenas um foi realizado há menos de sete anos. É provável que eles não reflitam mais a realidade da Internet atual tendo em vista as mudanças observadas nos últimos anos. O trabalho (GREEN et al., 2018), realizado recentemente, faz análises atuais e interessantes sobre estabilidade da Internet, porém distintas àquelas tratadas no presente documento. O foco do trabalho é no pré-processamento e na validação da existência de caminhos primários. Neste trabalho será mostrada uma análise atual e completa sobre instabilidade de rotas na Internet, utilizando seis coletores espalhados geograficamente.

## 4 METODOLOGIA E RESULTADOS

Neste capítulo, discutiremos a metodologia utilizada, incluindo a escolha dos coletores. Logo após, apresentaremos uma caracterização dos coletores escolhidos. A seguir serão apresentados os resultados por coletor e uma análise entre os coletores.

### 4.1 Coletores Escolhidos

Para a realização deste trabalho são utilizados dados coletados e disponibilizados pela PCH. Esta escolha foi feita pelo fato de os coletores estarem localizados em IXPs, que são os locais onde grande parte dos ASes se interconectam. São analisados dados do mês de abril de 2019, provenientes de seis coletores geograficamente distribuídos, um em cada continente, como ilustrado na Figura 4.1. Os coletores são AMS-IX (Amsterdã, Países Baixos), Equinix (Dallas, Estados Unidos da América), SCL (Santiago, Chile), NAPAfrica (Joanesburgo, África do Sul), JPIX (Tóquio, Japão) e Megaport (Sidney, Austrália).

Figura 4.1: Distribuição Geográfica dos Coletores.



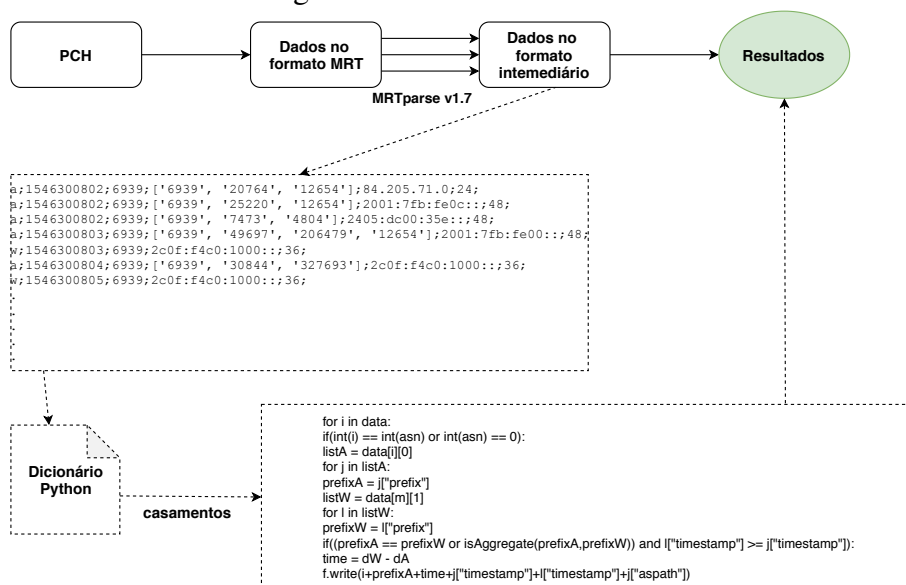
Fonte: Os Autores

### 4.2 Metodologia

Os dados armazenados nos coletores estão no formato MRT, conforme descrito na Seção 2.4. Os dados são disponibilizados através de uma interface web estruturada, mas para facilitar a manipulação dos arquivos foi feito um script sheell, que dado o nome

de um coletor e o período desejado faz o download dos arquivos correspondentes. Após, estes arquivos são pré-processados com a biblioteca MRTparse (MRTPARSE, 2019) onde é gerado um arquivo intermediário no formato texto. Este arquivo intermediário contém as informações necessárias para a análise a ser realizada. Estas informações são: tipo da mensagem (anúncio ou retirada); *timestamp*; o número do AS que está contribuindo com o coletor; o *path* anunciado, caso seja uma mensagem de anúncio; e os prefixos afetados.

Figura 4.2: Fluxo de Trabalho.



Fonte: Os Autores

Estes arquivos intermediários são gerados para cada semana de cada coletor. A primeira etapa é o descarte de mensagens duplicadas. Elas existem por alguns possíveis motivos: quando algum roteador é reiniciado ele propaga toda sua tabela de roteamento novamente; e alterações em campos da mensagem que não são objetos do nosso estudo, como por exemplo o uso de comunidades. Após o descarte das mensagens duplicadas é feito o casamento entre um anúncio e uma retirada. O casamento é feito pelo AS que envia as mensagens e pelos prefixos. São feitos dois casamentos: AW, quando um prefixo é anunciado e posteriormente retirado; WA, quando um prefixo é retirado e posteriormente anunciado. Estes arquivos de AW e WA já são gerados separados pelo AS que contribui com o coletor. Após a geração, estes arquivos são utilizados para a realização das análises que serão mostradas abaixo. A Figura 4.2 mostra o fluxo de trabalho seguido <sup>1</sup>.

<sup>1</sup>com o objetivo de facilitar a reprodutibilidade dos experimentos os códigos desenvolvidos e as instruções de execução estão disponíveis no repositório <https://github.com/rodrigodalri/BGPstability>

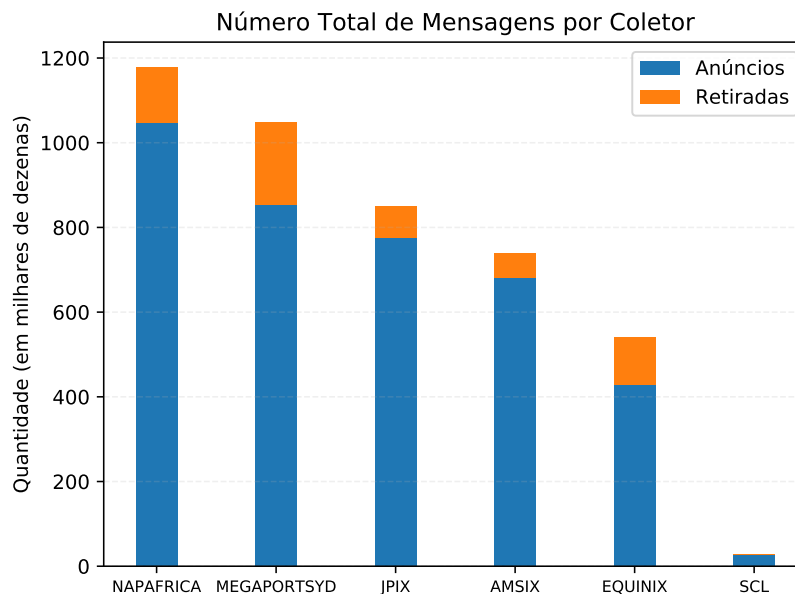
### 4.3 Caracterização dos Coletores

Nesta seção será apresentada a caracterização de cada coletor. Os resultados estão distribuídos nas subseções que seguem. São elas: número de mensagens; número de *peers* e ASes observados; e número de prefixos.

#### 4.3.1 Número de Mensagens

Comparando os coletores, apresentados na Seção 4.1, na Figura 4.3, é muito significativa a diferença entre o coletor SCL e os demais. Sobre as mensagens, observamos que o número de mensagens de retirada é consistentemente menor, no máximo 20%, em todos os coletores.

Figura 4.3: Número de Mensagens por Coletor.



Fonte: Os Autores

#### 4.3.2 Número de *Peers* e ASes observados

Nesta subseção serão apresentados os números de *peers* e o número de ASes observados, respectivamente, em cada coletor por semana.

A Tabela 4.1 mostra o número de *peers* que contribuíram em cada coletor no pe-

ríodo analisado. A estrutura da tabela é a seguinte: na segunda coluna temos os números totais de *peers* para cada coletor; na última coluna temos o número de *peers* que contribuem exclusivamente com aquele coletor; e nas colunas intermediárias temos o conjunto diferença entre dois coletores. Observamos que os maiores coletores tanto em número total de *peers*, quanto em *peers* exclusivos, são NAPAFRICA e JPIX, sendo NAPAFRICA o maior. Já o AMSIX é o coletor que apresenta menos *peers* totais e exclusivos. Uma outra observação é que no coletor chileno, SCL, 80% dos *peers* são exclusivos, o que mostra que este coletor é de nível regional.

Tabela 4.1: Número de Peers Presentes em cada Coletor.

IA - BI	0	EQUINIX	JPIX	AMSIX	SYDNEY	SCL	NAPAFRICA	exclusivos
<b>EQUINIX</b>	58	0	45	50	48	54	45	37
<b>JPIX</b>	64	51	0	57	56	59	54	49
<b>AMSIX</b>	14	6	7	0	9	11	8	5
<b>SYDNEY</b>	44	34	36	39	0	39	34	33
<b>SCL</b>	26	22	21	23	21	0	21	21
<b>NAPAFRICA</b>	67	54	57	61	57	62	0	52

Fonte: Os Autores

A Tabela 4.2 mostra o número total de ASes que são vistos nos *ASpaths* de cada mensagem de anúncio, em cada coletor. Observamos que o coletor do JPIX apresenta o maior número de ASes totais e exclusivos. A característica observada anteriormente do SCL se mantém.

Tabela 4.2: Número de ASes Observados em cada Coletor

IA - BI	0	EQUINIX	JPIX	AMSIX	SYDNEY	SCL	NAPAFRICA	exclusivos
<b>EQUINIX</b>	12897	0	2626	2678	4886	12845	2159	1246
<b>JPIX</b>	14058	3787	0	3216	6294	14009	2822	2268
<b>AMSIX</b>	11583	1364	741	0	4178	11537	647	148
<b>SYDNEY</b>	10541	2530	2777	3136	0	10501	2066	1275
<b>SCL</b>	174	122	125	128	134	0	124	114
<b>NAPAFRICA</b>	13413	2675	2177	2477	4938	13363	0	906

Fonte: Os Autores

### 4.3.3 Número de Prefixos

Nesta subseção serão apresentados os números de prefixos com alterações para cada coletor separados pelas quatro semanas analisadas.

A Tabela 4.3 mostra os resultados para o coletor JPIX. O Apêndice A mostra os resultados para os cinco coletores restantes. A Tabela A.4 mostra a diferença de magnitude do coletor SCL comparado aos outros novamente.

Tabela 4.3: Número de Prefixos com Alteração por Semana - JPIX.

IA - BI	0	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	exclusivos
<b>Semana 1</b>	17k	0	7,3k	8k	7,9k	5,3k
<b>Semana 2</b>	19k	6,9k	0	7,3k	7,4k	4,7k
<b>Semana 3</b>	17k	6,3k	6k	0	6k	3,9k
<b>Semana 4</b>	18k	7,3k	7k	7,2k	0	5k

Fonte: Os Autores

A Tabela A.1 mostra que a primeira semana analisada tem um número total de prefixos com alterações observados bem inferior ao das três semanas seguintes, na ordem de dez mil a menos. Isto ocorre porque nesta primeira semana o AS6939 (Hurricane Electric) não estava contribuindo com o coletor. Na Tabela A.3, é mostrado um aumento de aproximadamente três mil prefixos totais e prefixos exclusivos no coletor de SYDNEY. Isto também ocorre porque o AS6939 contribuiu com o coletor apenas na última semana analisada.

Tabela 4.4: Número de Prefixos por Coletor.

IA - BI	0	EQUINIX	JPIX	AMSIX	SYDNEY	SCL	NAPAFRICA	exclusivos
<b>EQUINIX</b>	17k	0	6,2k	5,7k	10,6k	17k	6,2k	4,2k
<b>JPIX</b>	27,8k	16,8k	0	14,5k	19,6k	27,7k	14,2k	12,1k
<b>AMSIX</b>	16,3k	4,8k	3k	0	8,9k	16,2k	2,9k	1k
<b>SYDNEY</b>	13,9k	7,4k	5,8k	6,6k	0	13,9k	5,6k	4k
<b>SCL</b>	457	409	407	416	409	0	413	396
<b>NAPAFRICA</b>	21,8k	10,8k	8,2k	8,4k	13,4k	21,7k	0	5,5k

Fonte: Os Autores

Em relação aos prefixos totais e exclusivos que apresentaram mudanças no período onde foram feitas as análises, a Tabela 4.4 mostra que o JPIX é o maior coletor. O coletor do AMSIX é o que apresenta o menor número de prefixos exclusivos em relação aos prefixos totais. Apesar de o coletor do SCL apresentar um número de prefixos muito inferior aos demais coletores (menos de 500 prefixos totais), 86% destes são exclusivos.

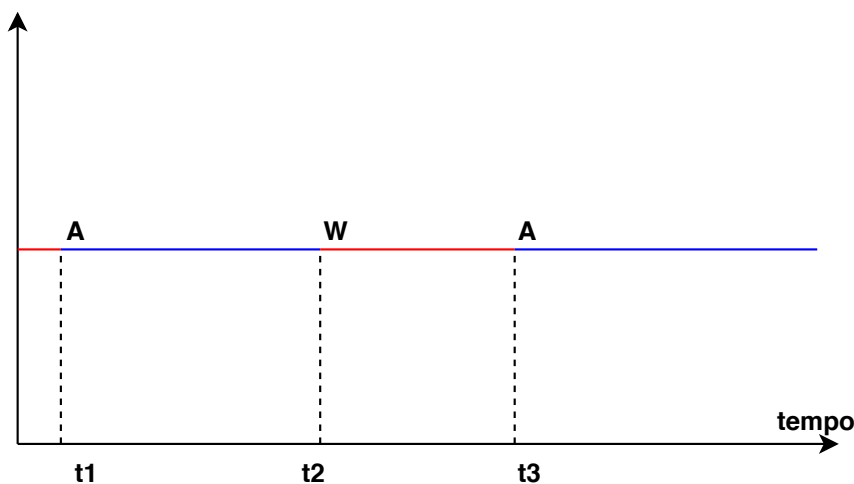
#### 4.4 Resultados por Coletor

Nesta seção serão apresentados os resultados das análises feitas em cada coletor. Os resultados estão distribuídos nas subseções que seguem. São elas: os tempos AW e WA; eventos *Short-Lived*; comparação do comportamento de prefixos IPv4 e IPv6; e prefixos com mais alterações.

#### 4.4.1 Tempos AW e WA

Inicialmente medimos os tempos que os prefixos ficam disponíveis e indisponíveis. Estes tempos são calculados da seguinte forma: o tempo entre uma mensagem de anúncio e de uma mensagem de retirada para um mesmo prefixo, é o tempo em que ele esteve disponível naquele coletor. Da mesma forma que o tempo entre um mensagem de retirada e de uma mensagem de anúncio é o tempo que o prefixo ficou indisponível. A Figura 4.4 mostra um exemplo, neste caso o tempo AW é igual a  $t2 - t1$  e o tempo WA é igual  $t3 - t2$ . Estes tempos foram calculados para todos os prefixos de todos os seis coletores.

Figura 4.4: Caracterização dos Tempos AW e WA.



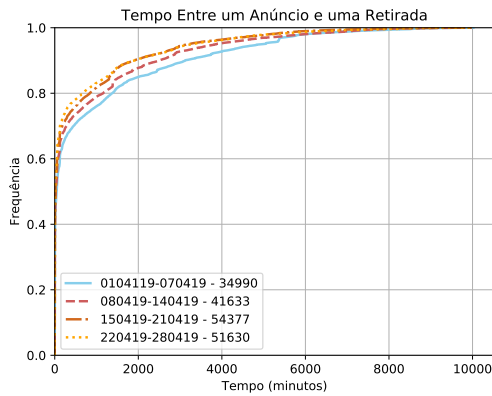
Fonte: Os Autores

Estes tempos foram plotados na forma de uma CDF para cada coletor, sendo que em cada um dos gráficos existem quatro curvas, cada uma representando uma semana. No geral o comportamento médio entre os coletores é muito similar. Serão mostrados os gráficos AW e WA, nesta ordem respectivamente.

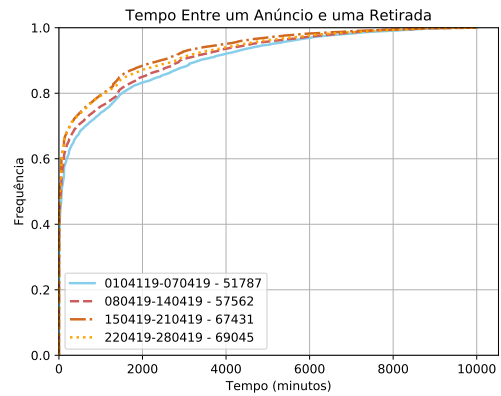
As Figuras 4.5(a), 4.5(b), 4.5(c) e 4.5(d) mostram que apesar da diferença de números de casos entre as semanas e entre coletores, o comportamento das curvas é o mesmo, com exceção da primeira semana do coletor EQUINIX. Esta curva apresenta um "degrau" em relação às demais. Esta diferença de comportamento é explicada pelo fato de nesta semana o AS6939 não estar contribuindo com o coletor.

A Figura 4.6(a) também mostra um comportamento diferente nas três primeiras semanas, onde o AS6939 não está contribuindo com o coletor. Analisar o comportamento do coletor SCL é uma tarefa difícil, por ser um coletor pequeno. Isto implica na pequena

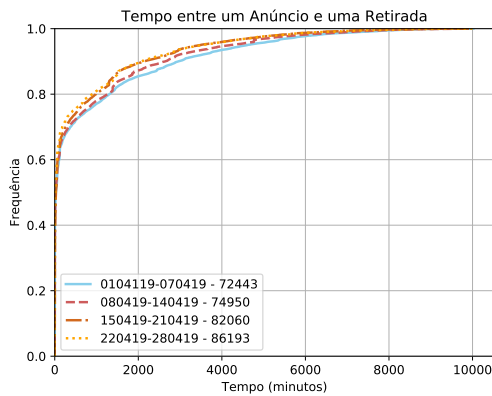
Figura 4.5: Tempos AW.



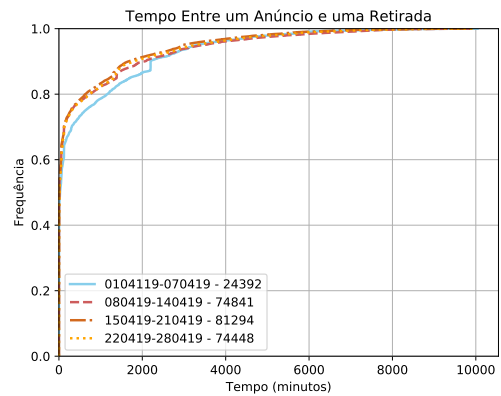
(a) AMSIX



(b) JPIX



(c) NAPAFRICA

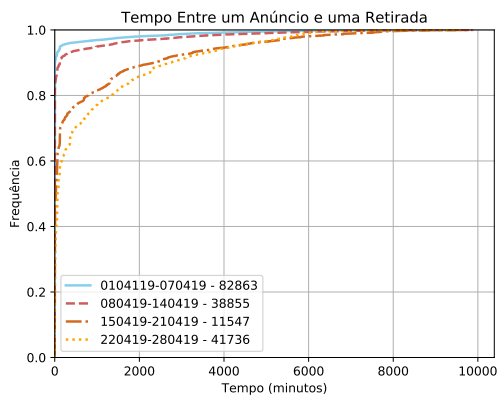


(d) EQUINIX

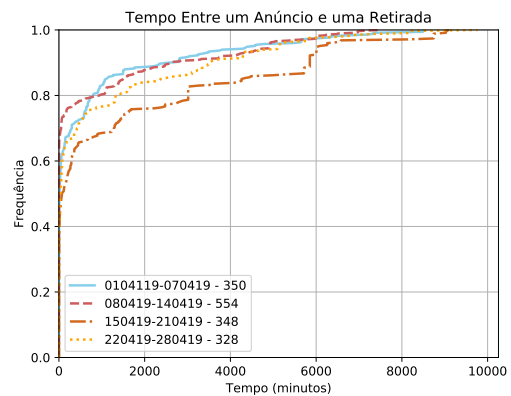
Fonte: Os Autores

amostragem de casos, como mostra a Figura 4.6(b).

Figura 4.6: Tempos AW.



(a) SYDNEY



(b) SCL

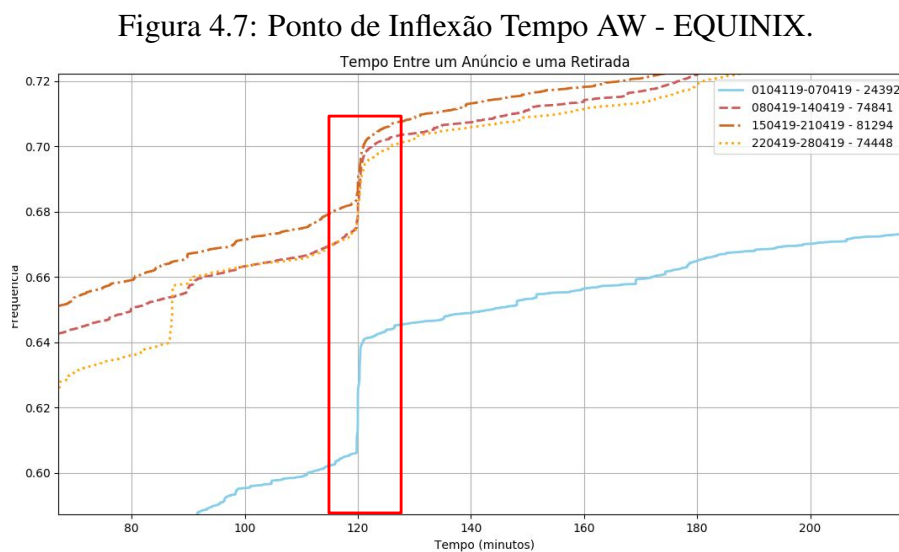
Fonte: Os Autores

Observamos através destes gráficos que 80% dos prefixos estão disponíveis por



menos de trinta e tres horas, aproximadamente.

A Figura 4.7 aproxima as curvas do coletor EQUINIX, onde observamos uma concentração grande de casos próximos a marca de duas horas. Chamamos estes fatos de pontos de inflexão. Verificamos que eles estão presentes nas quatro semanas dos coletores EQUINIX, AMSIX e SYDNEY. O Apêndice B mostra os gráficos para os outros dois coletores.



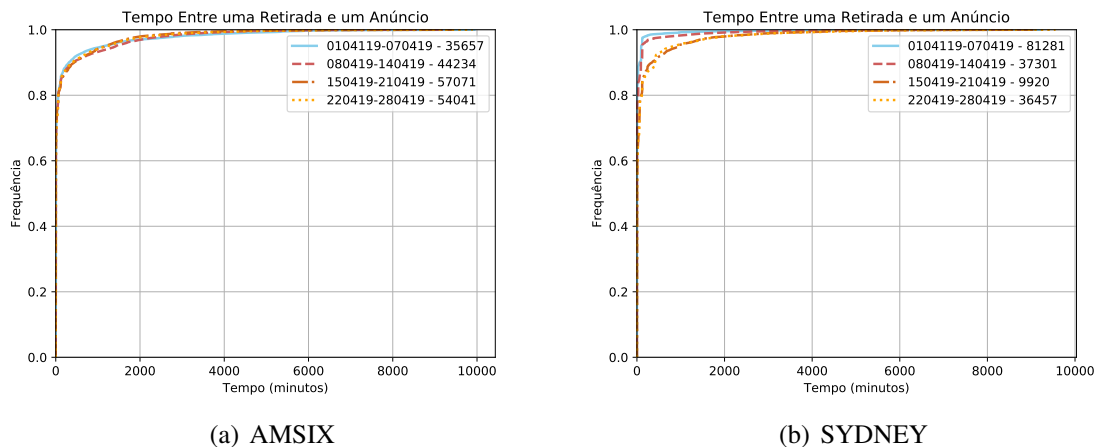
Fonte: Os Autores

A repetição de comportamento nos casos WA se mantém para cinco dos coletores, sendo que o único que apresenta uma alteração é o de SYDNEY. A Figura 4.8(a) mostra o gráfico dos casos WA para o coletor AMSIX. Em 70% dos casos um prefixo fica indisponível por até vinte minutos.

A Figura 4.8(b) mostra um comportamento diferente nas duas primeiras semanas. Nestas semanas o AS6939 não está contribuindo, o que nos permite concluir que além de influenciar no comportamento do coletor, os prefixos anunciados por este AS ficam, em geral, mais tempo indisponíveis. Os gráficos dos coletores restantes podem ser vistos no Apêndice C.

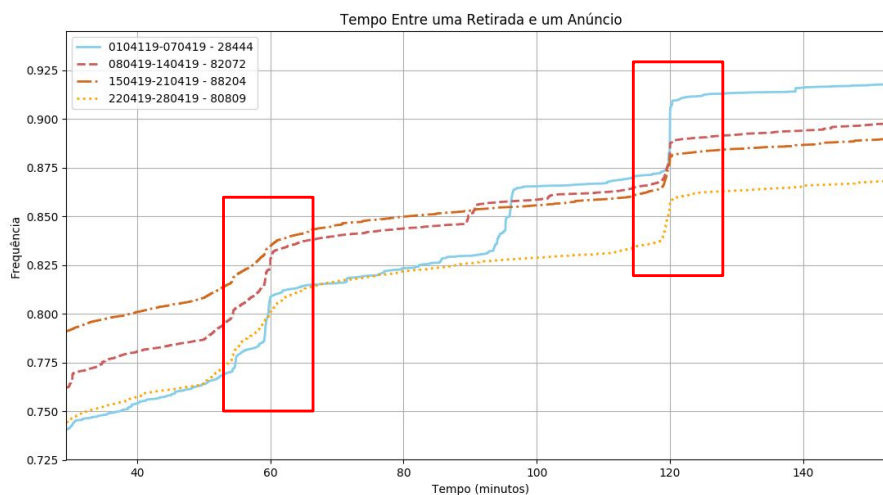
A Figura 4.9 mostra pontos de inflexão no coletor EQUINIX. Verificamos que eles estão presentes nas quatro semanas deste coletor próximos a marca de uma e de duas horas. Isto ocorre também nos coletores AMSIX e JPIX. O Apêndice B mostra os gráficos para os outros dois coletores.

Figura 4.8: Tempos WA.



Fonte: Os Autores

Figura 4.9: Ponto de Inflexão Tempo WA - EQUINIX



Fonte: Os Autores

#### 4.4.2 Eventos *Short-Lived*

Como observamos nas análises de tempos AW e WA, a maior parte dos casos ocorre em um tempo muito pequeno. Pensando nisso, foi feita uma análise aprofundada no que foi definido como Evento *Short-Lived*. Foi definido como *threshold* casos que aconteceram em até um minuto. Estes eventos podem acontecer por erros de operadores de rede na configuração de roteadores ou por falhas nos roteadores. Eventos *Short-Lived* causam *overhead* de processamento nos equipamentos de roteamento.

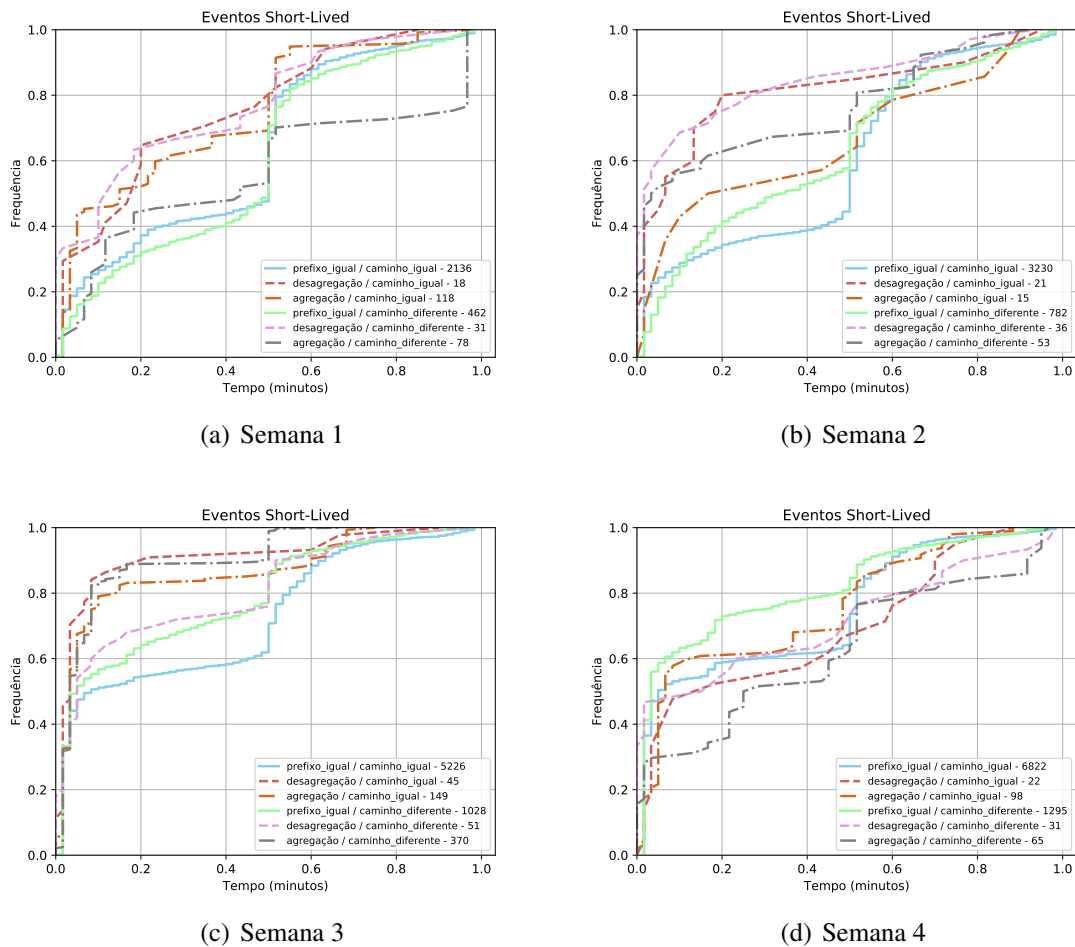
Para a realização desta análise foi feito um estudo sobre o que estava mudando nestes prefixos. Para isso foram comparadas as mensagens de anúncio seguidas de cada prefixo. Estes eventos foram divididos em seis casos que serão descritos a seguir.

- prefixo igual e caminho igual
  - Antes: 103.114.205.0/24;['15412', '18101', '137638']
  - Depois: 103.114.205.0/24;['15412', '18101', '137638']
- desagregação de prefixo e caminho igual
  - Antes: 196.0.0.0/16;['6939', '37662', '21491']
  - Depois: 196.0.105.0/24;['6939', '37662', '21491']
- agregação de prefixo e caminho igual
  - Antes: 2a0c:b641:6f::/48;['6939', '6453', '9009', '206499', '210234']
  - Depois: 2a0c:b641:60::/44;['6939', '6453', '9009', '206499', '210234']
- prefixo igual e caminho diferente
  - Antes: 103.93.199.0/24;['15412', '18101', '136355', '136284']
  - Depois: 103.93.199.0/24;['15412', '18101', '136355', '136355']
- desagregação de prefixo e caminho diferente
  - Antes: 123.50.64.0/18;['6939', '55943', '9471']
  - Depois: 123.50.120.0/23;['6939', '55943']
- agregação de prefixo e caminho diferente
  - Antes: 2001:a98:8000::/48;['6939', '1299', '1273', '15924', '8517', '9095']
  - Depois: 2001:a98::/32;['6939', '1299', '1273', '15924', '8517']

As Figuras 4.10(a), 4.10(b), 4.10(c) e 4.10(d) mostram os eventos para o coletor JPIX separados por semanas. Não existe um padrão entre as curvas. O Apêndice D mostra os gráficos para os cinco coletores restantes. Concluímos que na maioria destes casos o prefixo re-anunciado permanece igual e de que os eventos de desagregação são os que menos ocorrem.

#### 4.4.3 Comparação do Comportamento entre Prefixos IPv4 e IPv6

Comparamos os comportamentos entre prefixos IPv4 e IPv6 nos seis coletores. O comportamento observado entre os coletores foi bastante semelhante, serão mostrados abaixo os resultados para o coletor JPIX. O restante dos resultados está presente no Apêndice E. O objetivo desta análise é descobrir se uma das versões do protocolo IP

Figura 4.10: Eventos *Short-Lived* - JPIX.

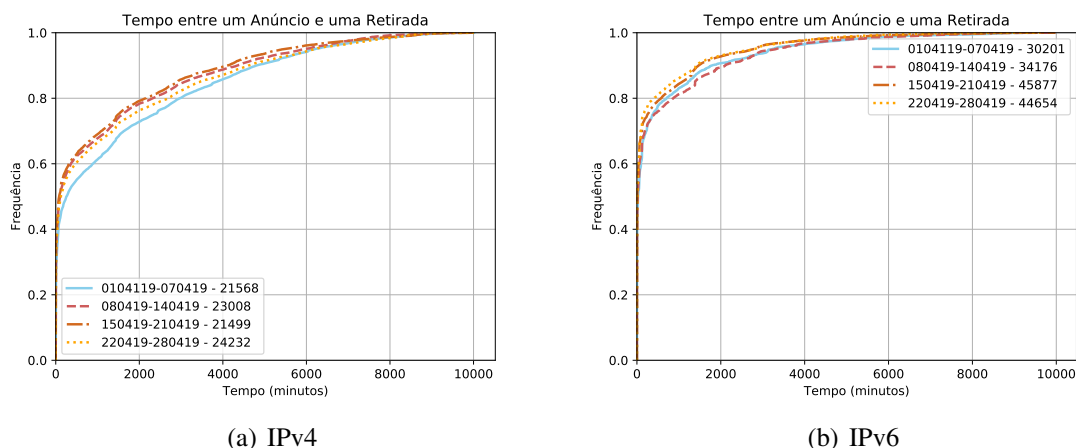
Fonte: Os Autores

(INTERNETPROTOCOL, 1981) apresenta prefixos mais instáveis do que a outra.

As Figuras 4.11(a) e 4.11(b) ilustram as CDFs de Tempos AW separadas pelo tipo de prefixo, IPv4 e IPv6 respectivamente. Neste coletor, 50% dos casos em que prefixos IPv4 permanecem disponíveis por pelo menos cinco horas, em comparação os prefixos IPv6 que permanecem por apenas cinquenta minutos. E em 80% dos casos, os prefixos IPv4 permaneceram disponíveis por pelo menos cinquenta horas, em comparação os prefixos IPv6 permaneceram por apenas quinze horas. Com base nestes resultados pode-se afirmar que os prefixos IPv6, quando anunciados, permanecem menos tempo disponíveis em comparação aos prefixos IPv4.

As Figuras 4.12(a) e 4.12(b) ilustram as CDFs de Tempos WA separadas pelo tipo de prefixo, IPv4 e IPv6 respectivamente. Neste coletor, 70% dos casos em que prefixos IPv4 que foram retirados e posteriormente re-anunciados ficaram indisponíveis por pelo menos três horas. Em comparação os prefixos IPv6 ficaram indisponíveis por pelo menos

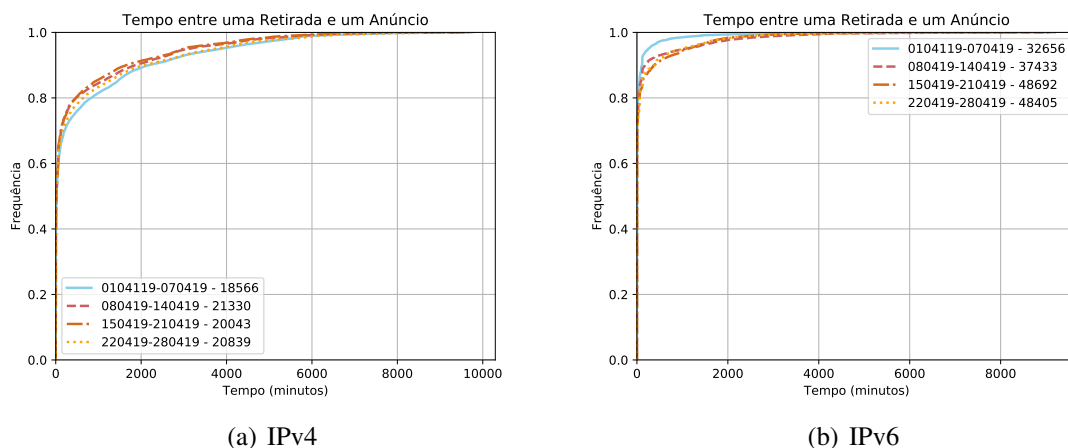
Figura 4.11: Tempos AW - JPIX.



Fonte: Os Autores

quinze minutos. E em 80% dos casos, os prefixos IPv4 permaneceram indisponíveis por pelo menos treze horas, em comparação com os prefixos IPv6 que permaneceram por apenas uma hora. Com base nestes resultados pode-se afirmar que os prefixos IPv6, quando retirados, levam menos tempo até serem re-anunciados em comparação aos prefixos IPv4.

Figura 4.12: Tempos WA - JPIX.



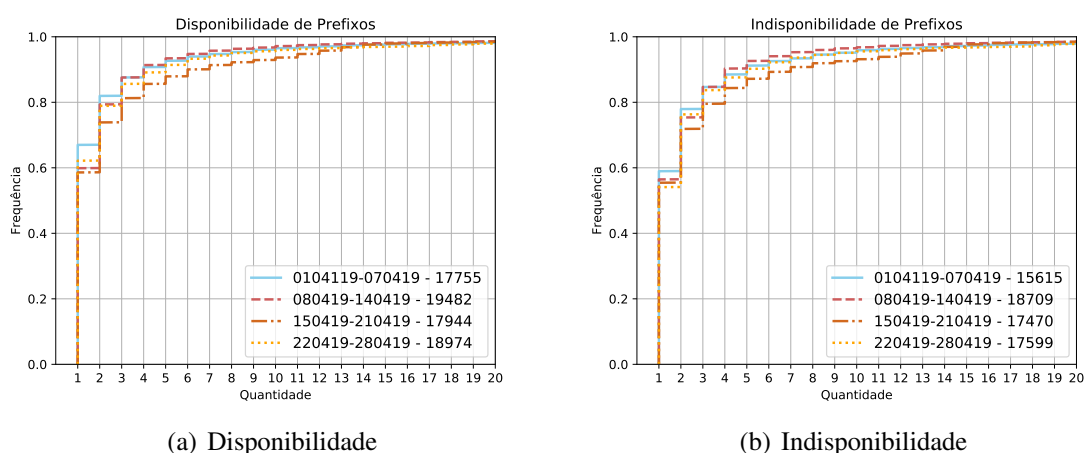
Fonte: Os Autores

#### 4.4.4 Prefixos mais Instáveis

Nesta subsecção analisamos quais são os prefixos mais instáveis, e de quão mais instáveis eles são em relação aos prefixos ditos estáveis. A Figura 4.13(a) mostra o número de vezes que um determinado prefixo é anunciado e posteriormente retirado pelo

mesmo AS no coletor JPIX. Observamos que 60% das tuplas (AS, prefixo) é anunciada e depois retirada apenas uma vez. A Figura 4.13(b) mostra o número de vezes que um determinado prefixo é retirado e posteriormente anunciado pelo mesmo AS no coletor JPIX. Também observamos que 60% das tuplas (AS, prefixo) é retirada e depois anunciada apenas uma vez. Por manter este comportamento médio, os gráficos para os outros cinco coletores estão no Apêndice F.

Figura 4.13: Prefixos - JPIX.



Fonte: Os Autores

A Tabela 4.5 mostra os prefixos mais instáveis de cada uma das semanas para o coletor JPIX. Para cada semana observamos que: o prefixo mais instável; o AS responsável por anunciar e retirar este prefixo; a quantidade de vezes que este prefixo foi anunciado e depois retirado; o tempo médio AW em minutos; e o tempo médio WA em minutos. Os prefixos IPv4 se mantiveram disponíveis por mais tempo em relação ao IPv6 e os prefixo IPv6 permaneceu indisponíveis por menos tempo.

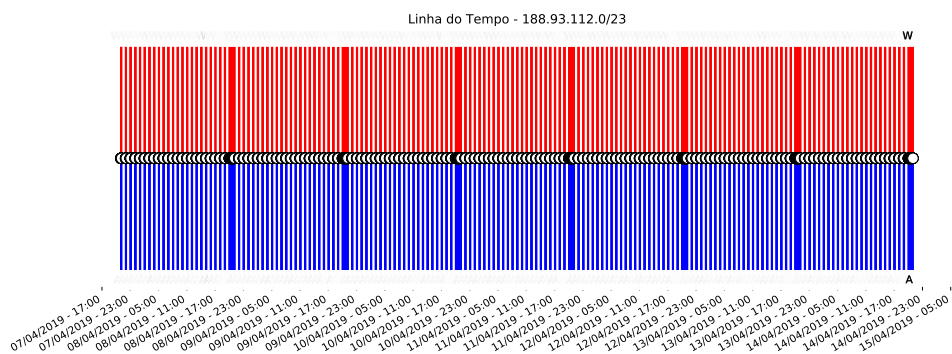
Tabela 4.5: Prefixos mais Instáveis - JPIX.

Semana	Prefixo	AS	Quantidade	Tempo Médio AW	Tempo Médio WA
1	36.250.238.21/32	18403	1014	4,8	5
2	188.93.112.0/23	8220	2013	3,3	38
3	188.93.112.0/23	8220	2009	3,3	28
4	2a02:6c8:8000::/33	6939	3835	0,5	0,8

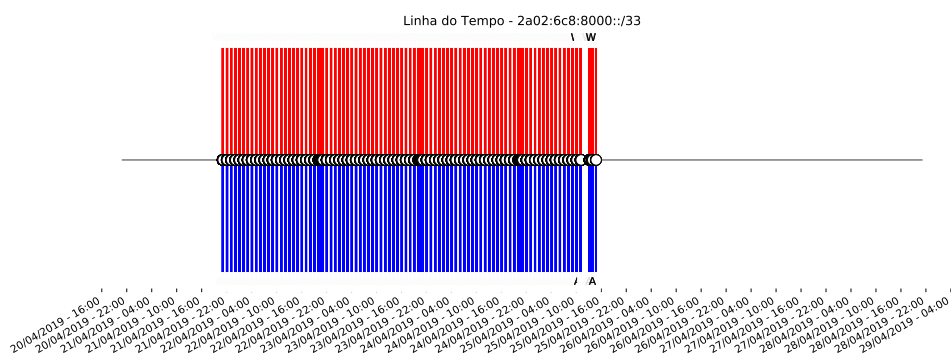
Fonte: Os Autores

A Figura 4.14 ilustra dois gráficos da linha do tempo dos prefixos 188.93.112.0/23 e 2a02:6c8:8000::/33, respectivamente. Cada gráfico mostra os anúncios e retiradas que o prefixo sofreu durante o período de uma semana. Uma linha vermelha significa que uma retirada ocorreu e uma linha azul significa que um anúncio ocorreu. Observamos para estes dois prefixos uma grande atividade de anúncios e retiradas no período observado.

Figura 4.14: Linha do Tempo - Prefixos mais Instáveis.



(a) 188.93.112.0/23



(b) 2a02:6c8:8000::/33

Fonte: Os Autores

## 4.5 Analisando o comportamento de um AS

Dada a diferença de comportamento observada em semanas onde o AS6939 não contribuía com os coletores, foi feita uma análise independente exclusiva deste AS. Foram comparados os comportamentos dele entre os cinco coletores em que contribuiu como *peer* durante o tempo que foi analisado.

### 4.5.1 Número de ASes Observados

A Tabela 4.6 mostra os números de ASes visíveis a partir dos anúncios feitos pelo AS6939. Nos três coletores onde este AS contribuiu nas quatro semanas, JPIX, AMSIX e NAPAFRICA, o número de ASes observados se manteve por volta de onze mil. No coletor EQUINIX, o AS contribuiu por três semanas e o número de ASes observados se manteve próximo. Já no coletor de SYDNEY, onde o AS contribuiu por apenas uma

semana, o número de ASes observados foi bem inferior, por volta de cinco mil. No entanto, o número de ASes exclusivos vistos neste coletor é mais do que o dobro dos outros quatro coletores.

Tabela 4.6: Número de ASes Observados em cada Coletor - AS6939.

IA - BI	0	EQUINIX	JPIX	AMSIX	SYDNEY	NAPAFRICA	exclusivos
<b>EQUINIX</b>	10022	0	613	317	6468	605	145
<b>JPIX</b>	11263	1854	0	574	7517	549	185
<b>AMSIX</b>	11557	1852	868	0	7859	815	286
<b>SYDNEY</b>	4724	1170	978	1026	0	959	749
<b>NAPAFRICA</b>	11450	2033	736	708	7685	0	330

Fonte: Os Autores

#### 4.5.2 Número de Prefixos

A Tabela 4.7 mostra os números de prefixos anunciados pelo AS6939 nos cinco coletores. O coletor EQUINIX mostra o maior número de prefixos totais, comportamento diferente em relação ao número de ASes vistos. O número de prefixos exclusivos entre os coletores se manteve próximo, mesmo com o coletor de SYDNEY tendo apenas uma semana de contribuição do AS6939.

Tabela 4.7: Número de Prefixos por Coletor - AS6939.

IA - BI	0	EQUINIX	JPIX	AMSIX	SYDNEY	NAPAFRICA	exclusivos
<b>EQUINIX</b>	44,3k	0	10,3k	6,1k	37,5k	6,1k	2,6k
<b>JPIX</b>	36,7k	2,8k	0	4,2k	30,4k	4,7k	1,4k
<b>AMSIX</b>	42,7k	4,6k	10,2k	0	35,7k	4,7k	2k
<b>SYDNEY</b>	9,8k	3,1k	3,4k	2,8k	0	2,6k	2k
<b>NAPAFRICA</b>	43,8k	5,6k	11,7k	5,8k	36,6k	0	3,2k

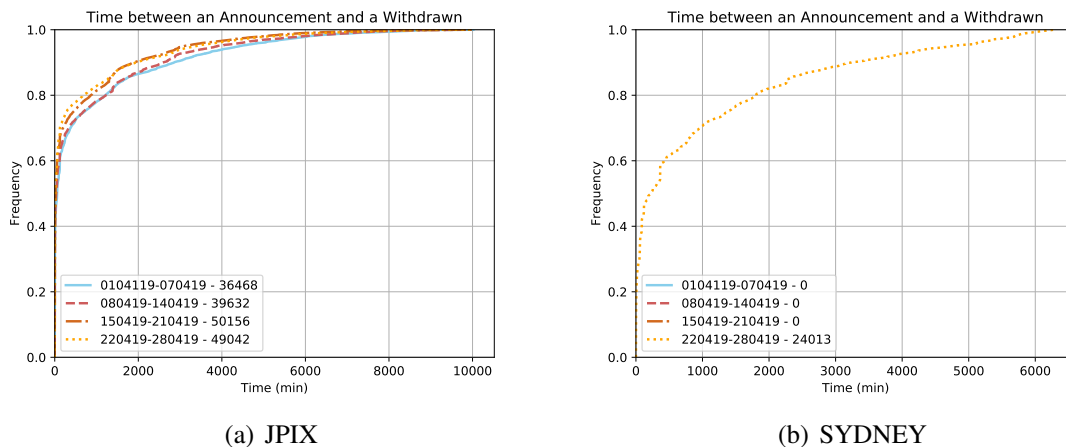
Fonte: Os Autores

#### 4.5.3 Tempos AW e WA

As Figuras 4.15 e 4.16 ilustram os tempos AW e WA, respectivamente, para os coletores JPIX e SYDNEY. Apesar da diferença do número semanas com contribuições, das diferenças de ASes vistos e da diferença dos prefixos alcançáveis, o comportamento médio se manteve para todos os coletores. O restante dos gráficos estão no Apêndice G.

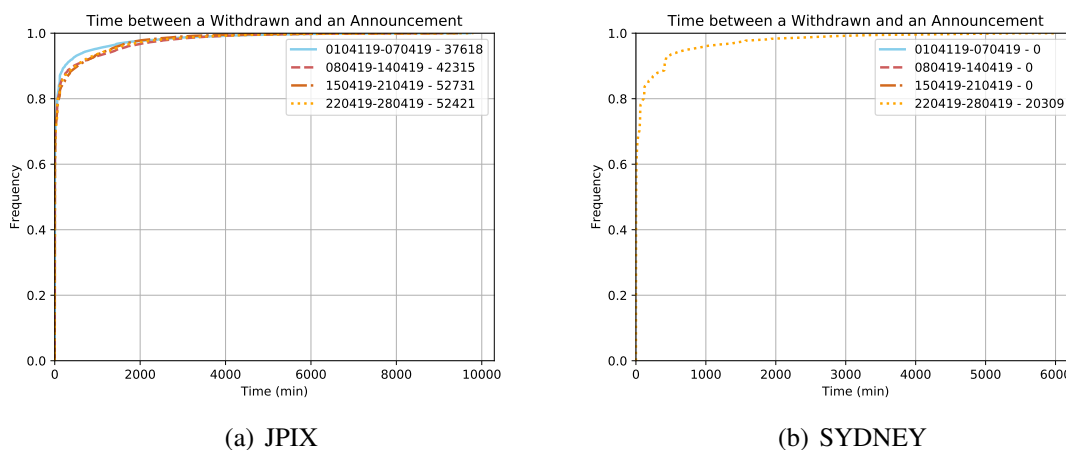


Figura 4.15: Tempos AW.



Fonte: Os Autores

Figura 4.16: Tempos WA.

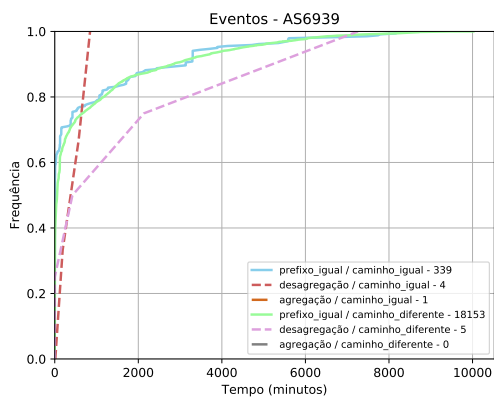


Fonte: Os Autores

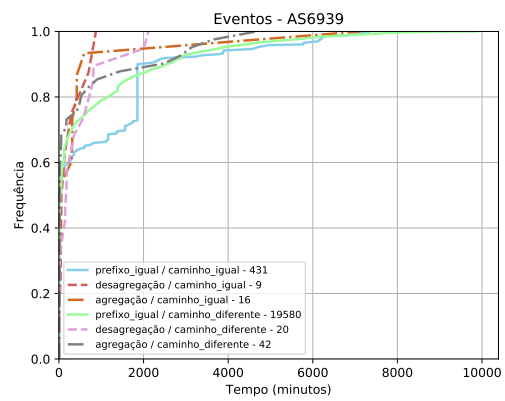
#### 4.5.4 Detalhamento dos casos AW e WA

Por fim, a última análise feita foi de classificar todos os eventos AW e WA causados pelo AS6939 entre os seis tipos já discutidos na Subseção 4.4.2. A Figura 4.17 mostra para cada semana do coletor JPIX a divisão dos eventos nestes tipos. Diferentemente dos eventos *Short-Lived* vistos anteriormente, agora o tipo que mais ocorre é o de prefixo igual e caminho diferente. Este comportamento é repetido entre os outros coletores, o restante dos gráficos está no Apêndice H.

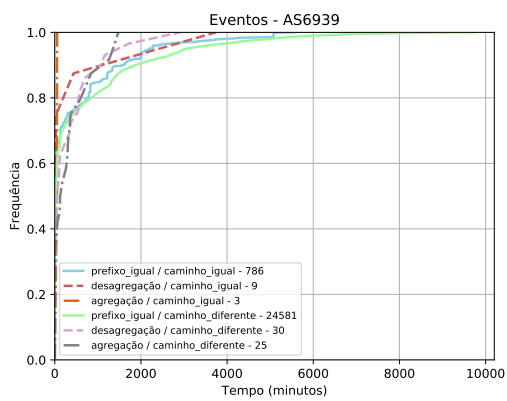
Figura 4.17: AS6939 - JPIX.



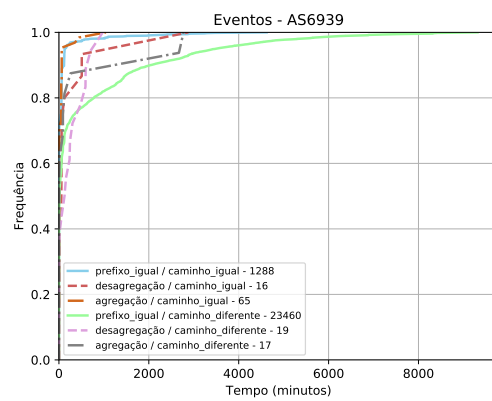
(a) Semana 1



(b) Semana 2



(c) Semana 3



(d) Semana 4

Fonte: Os Autores

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, analisamos mensagens de UPDATE do BGP em coletores geograficamente distribuídos. Para caracterizar e melhor compreender o atual cenário de instabilidade da Internet, realizamos análises globais nos dados provenientes de seis coletores de rotas da PCH no período de abril de 2019.

A primeira parte do nosso estudo caracteriza cada um dos coletores. Através destas análises, foi possível medir o tamanho dos coletores, em função dos números totais de mensagens, *peers* e prefixos. A segunda parte investiga a instabilidade de rotas nestes seis coletores. Por meio das análises feitas foi possível identificar o comportamento médio dos prefixos, as causas de instabilidade e o impacto que um AS pode fazer em um coletor.

Concluimos que: (i) mensagens de retiradas são aproximadamente 20% das mensagens totais; (ii) apesar da diferença geográfica dos coletores o comportamento médio é similar; (iii) em 80% dos casos, prefixos estão disponíveis por menos de trinta e três horas, aproximadamente; (iv) em 70% dos casos, prefixos ficam indisponíveis por até vinte minutos; (v) prefixos IPv6, quando retirados, levam menos tempo até serem reanunciados em comparação aos prefixos IPv4 e (vi) os prefixos IPv6, quando anunciados, permanecem menos tempo disponíveis em comparação aos prefixos IPv4. Além disso, nossas análises permitem obter um melhor conhecimento sobre os eventos *short-lived*.

Como trabalhos futuros, nosso objetivo é correlacionar os *datasets* de mais de um projeto, com o objetivo de fazer as análises com as mensagens da tabela de rotas completa de cada *peer*. Também iremos aprofundar a comparação de instabilidade entre prefixos IPv4 e IPv6. Além disso, pretendemos fazer um estudo longitudinal para entendermos a evolução da instabilidade ao longo dos anos.

## REFERÊNCIAS

- AGER, B. et al. Anatomy of a large european ixp. In: **Proceedings of the ACM SIGCOMM 2012 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication**. New York, NY, USA: ACM, 2012. (SIGCOMM '12), p. 163–174. ISBN 978-1-4503-1419-0. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2342356.2342393>>.
- ARTHUR, C. **iOS 5 update causes massive Internet traffic spike - to users' frustration**. 2019. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/technology/2011/oct/13/ios-5-update-internet-traffic-spike>>.
- BATES R. CHANDRA, D. K. T.; REKHTER, Y. **Multiprotocol Extensions for BGP-4**. [S.l.], 2007.
- BGPMON. 2019. Disponível em: <<https://bgpstream.com>>
- BLUNK, M. K. L.; LABOVITZ, C. **Multi-Threaded Routing Toolkit (MRT) Routing Information Export Format**. [S.l.], 2011.
- BÖTTGER, T. et al. Open connect everywhere: A glimpse at the internet ecosystem through the lens of the netflix cdn. **SIGCOMM Comput. Commun. Rev.**, ACM, New York, NY, USA, v. 48, n. 1, p. 28–34, abr. 2018. ISSN 0146-4833. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3211852.3211857>>.
- BRODKIN, J. **iOS 7 downloads consumed 20 percent of an ISP's traffic on release day**. 2019. Disponível em: <<https://arstechnica.com/information-technology/2013/11/ios-7-downloads-consumed-20-percent-of-an-isps-traffic-on-release-day/>>.
- CAESAR, M.; REXFORD, J. Bgp routing policies in isp networks. **IEEE Network**, v. 19, n. 6, p. 5–11, Nov 2005. ISSN 0890-8044.
- CARISIMO, E. et al. Studying the evolution of content providers in the internet core. In: **2018 Network Traffic Measurement and Analysis Conference (TMA)**. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–8.
- CASTRO, I. et al. Route bazaar: Automatic interdomain contract negotiation. In: **Proceedings of the 15th USENIX Conference on Hot Topics in Operating Systems**. Berkeley, CA, USA: USENIX Association, 2015. (HOTOS'15), p. 9–9. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2831090.2831099>>.
- CHIU, Y.-C. et al. Are we one hop away from a better internet? In: **Proceedings of the 2015 Internet Measurement Conference**. New York, NY, USA: ACM, 2015. (IMC '15), p. 523–529. ISBN 978-1-4503-3848-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2815675.2815719>>.
- CHOI, S.; HONG, S.; LIM, S. Chocenet: Robust learning by revealing output correlations. In: . [s.n.], 2018. abs/1805.06431. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1805.06431>>.
- DUNCAN, S. **Australian Internet slows to a crawl after undersea cable cut**. 2019. Disponível em: <<http://www.dailymail.co.uk/news/article-5146795/Aussie-internet-slows-crawl-undersea-cable-cut.html>>.

ELMOKASHFI, A.; KVALBEIN, A.; DOVROLIS, C. Bgp churn evolution: A perspective from the core. In: . Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2012. v. 20, n. 2, p. 571–584. ISSN 1063-6692. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/TNET.2011.2168610>>.

GREEN, T. et al. Leveraging inter-domain stability for bgp dynamics analysis. In: \_\_\_\_\_. [S.l.: s.n.], 2018. p. 203–215. ISBN 978-3-319-76480-1.

INTERNETPROTOCOL. [S.l.], 1981.

IPMA. 2019. Disponível em: <<http://www.merit.edu/ipma>>

ISOLARIO. 2019. Disponível em: <<https://www.isolario.it/>>.

KOMOROWSKI, M. et al. Exploratory data analysis. In: \_\_\_\_\_. [S.l.: s.n.], 2016. p. 185–203. ISBN 978-3-319-43740-8 (Print) 978-3-319-43742-2 (Online).

LABOVITZ, C. et al. Delayed internet routing convergence. In: **Proceedings of the Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication**. New York, NY, USA: ACM, 2000. (SIGCOMM '00), p. 175–187. ISBN 1-58113-223-9. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/347059.347428>>.

LABOVITZ, C. et al. The impact of internet policy and topology on delayed routing convergence. In: **Proceedings IEEE INFOCOM 2001. Conference on Computer Communications. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Society (Cat. No.01CH37213)**. [S.l.: s.n.], 2001. v. 1, p. 537–546 vol.1. ISSN 0743-166X.

LI, J. et al. Bgp routing dynamics revisited. **SIGCOMM Comput. Commun. Rev.**, ACM, New York, NY, USA, v. 37, n. 2, p. 5–16, mar. 2007. ISSN 0146-4833. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1232919.1232921>>.

LUCKIE, M. et al. As relationships, customer cones, and validation. In: **Internet Measurement Conference (IMC)**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 243–256.

MA, R. T. B. et al. On cooperative settlement between content, transit, and eyeball internet service providers. **IEEE/ACM Transactions on Networking**, v. 19, n. 3, p. 802–815, June 2011. ISSN 1063-6692.

MARCOS, P. et al. Dynam-ix: A dynamic interconnection exchange. In: **Proceedings of the Applied Networking Research Workshop**. New York, NY, USA: ACM, 2018. (ANRW '18), p. 94–94. ISBN 978-1-4503-5585-8. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3232755.3232784>>.

MCGEE-ABE, J. **Apple devices behind DE-CIX Frankfurt 5.88Tbps data traffic rate**. 2019. Disponível em: <<http://www.capacitymedia.com/Article/3751343/Apple-devices-behind-DE-CIX-Frankfurt-588Tbps-data-traffic-rate>>.

MRTPARSE. 2019. Disponível em: <<https://github.com/t2mune/mrtparse>>.

MRTPROJECT. 2019. Disponível em: <<http://www.mrtd.net>>

NETRATINGS. 2019. Disponível em: <[www.netratings.com/](http://www.netratings.com/)>.

ORSINI, C. et al. Bgpstream: A software framework for live and historical bgp data analysis. In: **Proceedings of the 2016 Internet Measurement Conference**. New York, NY, USA: ACM, 2016. (IMC '16), p. 429–444. ISBN 978-1-4503-4526-2. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2987443.2987482>>.

PCH. 2019. Disponível em: <[https://www.pch.net/resources/Raw\\_Routing\\_Data/](https://www.pch.net/resources/Raw_Routing_Data/)>.

PEI, D.; MERWE, J. Van der. Bgp convergence in virtual private networks. In: **Proceedings of the 6th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement**. New York, NY, USA: ACM, 2006. (IMC '06), p. 283–288. ISBN 1-59593-561-4. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1177080.1177117>>.

REKHTER, Y.; LI, T. **A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)**. [S.l.], 1995.

REXFORD, J. et al. Bgp routing stability of popular destinations. In: **Proceedings of the 2Nd ACM SIGCOMM Workshop on Internet Measurement**. New York, NY, USA: ACM, 2002. (IMW '02), p. 197–202. ISBN 1-58113-603-X. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/637201.637232>>.

RIPERIS. 2019. Disponível em: <<https://www.ripe.net/analyse/internet-measurements/routing-information-service-ris>>.

ROUTEVIEWS. 2019. Disponível em: <<http://www.routeviews.org/routeviews/>>.

VALANCIUS, V. et al. Mint: A market for internet transit. In: **Proceedings of the 2008 ACM CoNEXT Conference**. New York, NY, USA: ACM, 2008. (CoNEXT '08), p. 70:1–70:6. ISBN 978-1-60558-210-8. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1544012.1544082>>.

## APÊNDICE A — PREFIXOS COM ALTERAÇÃO

Tabela A.1: Número de Prefixos com Alteração por Semana - EQUINIX.

IA - BI	0	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	exclusivos
Semana 1	7k	0	1,5k	2k	1,7k	1,2k
Semana 2	17k	6k	0	6,5k	5,7k	4,9k
Semana 3	16k	1,9k	1,4k	0	1,6k	1,1k
Semana 4	19k	5,8k	4,8k	5,8k	0	4,4k

Fonte: Os Autores

Tabela A.2: Número de Prefixos com Alteração por Semana - AMSIX.

IA - BI	0	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	exclusivos
Semana 1	13,8k	0	4,8k	5,3k	5,3k	3,6k
Semana 2	14k	3,6k	0	4,1k	4,3k	2,6k
Semana 3	14k	3,7k	3,6k	0	3,4k	2,2k
Semana 4	13,5k	4k	4,2k	3,9k	0	2,7k

Fonte: Os Autores

Tabela A.3: Número de Prefixos com Alteração por Semana - SYDNEY.

IA - BI	0	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	exclusivos
Semana 1	10k	0	2,7k	2,9k	2,7k	2k
Semana 2	10k	3k	0	3k	3k	2,1k
Semana 3	10k	2,7k	2,5k	0	2,4k	1,7k
Semana 4	13k	5,9k	5,8k	5,8k	0	4,9k

Fonte: Os Autores

Tabela A.4: Número de Prefixos com Alteração por Semana - SCL.

IA - BI	0	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	exclusivos
Semana 1	175	0	103	124	125	82
Semana 2	189	135	0	132	139	84
Semana 3	173	110	86	0	101	64
Semana 4	180	140	122	130	0	99

Fonte: Os Autores

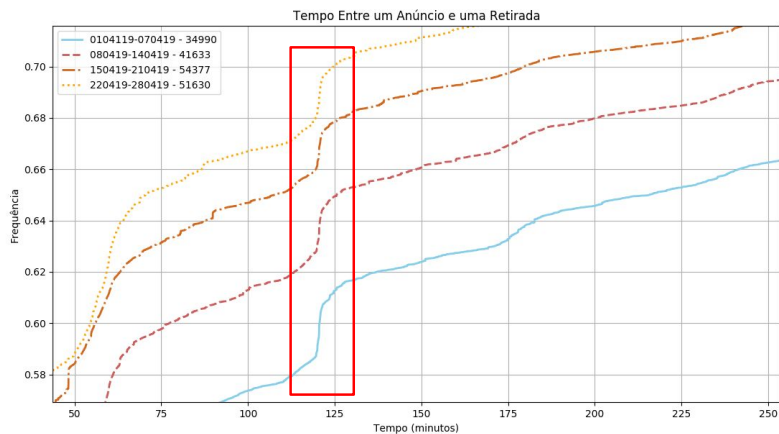
Tabela A.5: Número de Prefixos com Alteração por Semana - NAPAFRICA.

IA - BI	0	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	exclusivos
Semana 1	18,2k	0	6,9k	7,4k	7,2k	5,1k
Semana 2	17,8k	4,6k	0	5,1k	5,1k	3k
Semana 3	16,6k	4,5k	4,5k	0	4,3k	2,7k
Semana 4	17,8k	5,5k	5,6k	5,4k	0	3,7k

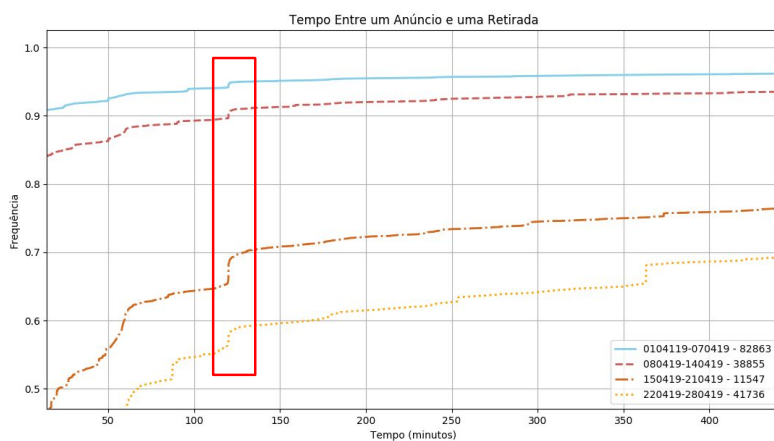
Fonte: Os Autores

## APÊNDICE B — PONTOS DE INFLEXÃO AW E WA

Figura B.1: Pontos de Inflexão Tempos AW.



(a) AMSIX

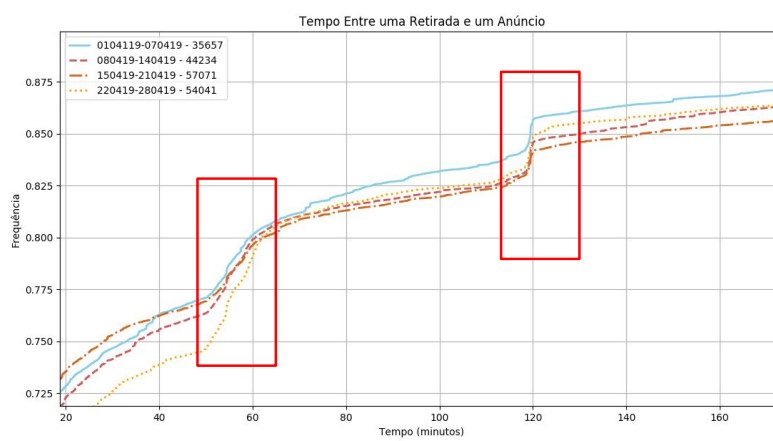


(b) SYDNEY

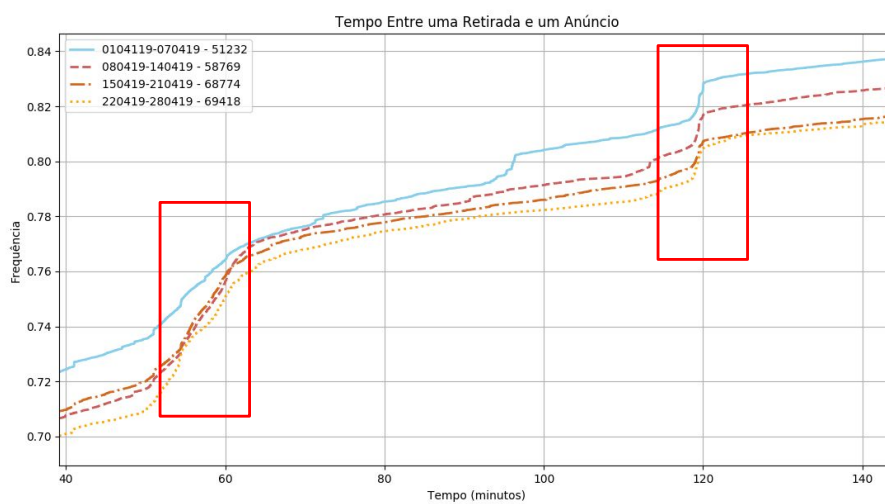
Fonte: Os Autores



Figura B.2: Pontos de Inflexão Tempos WA.



(a) AMSIX

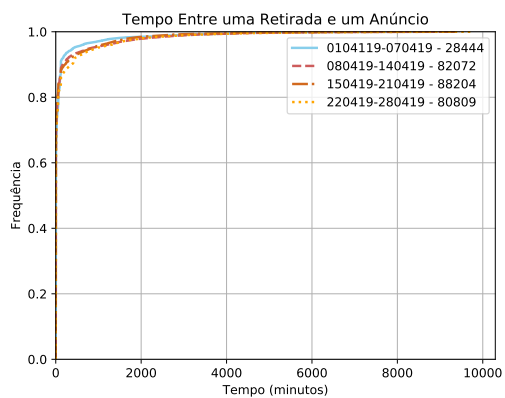


(b) JPIX

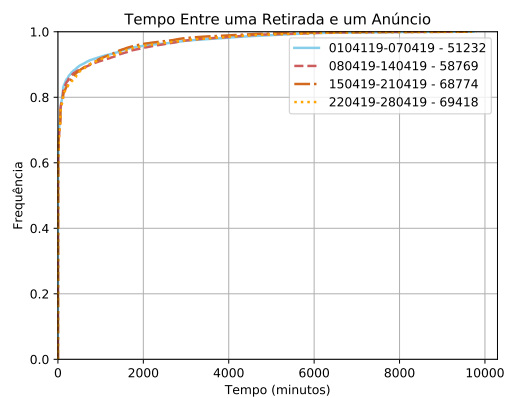
Fonte: Os Autores

## APÊNDICE C — TEMPOS WA

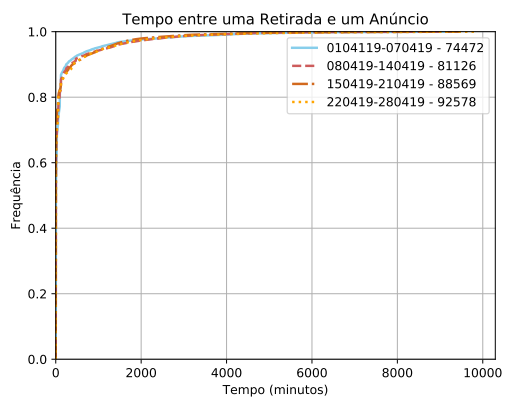
Figura C.1: Tempos WA.



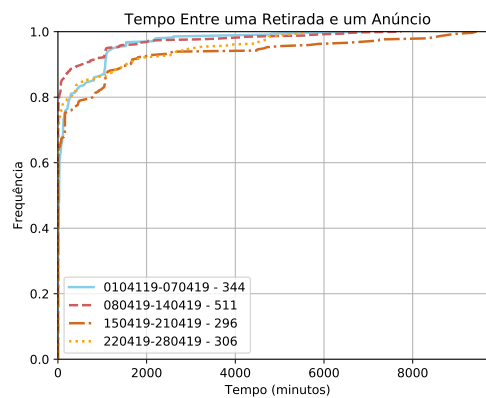
(a) EQUINIX



(b) JPIX



(c) NAPAFRICA

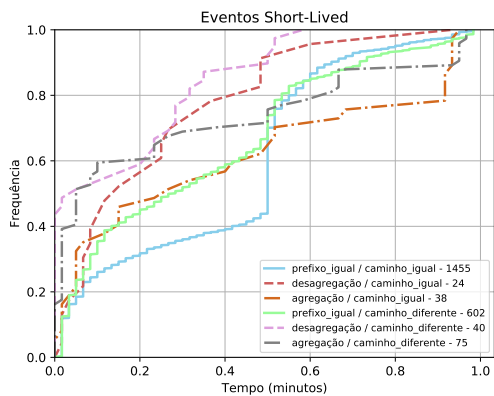


(d) SCL

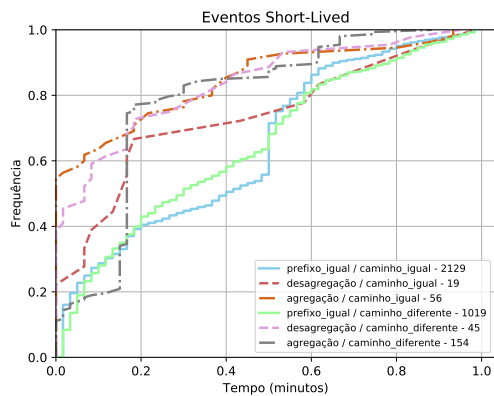
Fonte: Os Autores

## APÊNDICE D — EVENTOS *SHORT-LIVED*

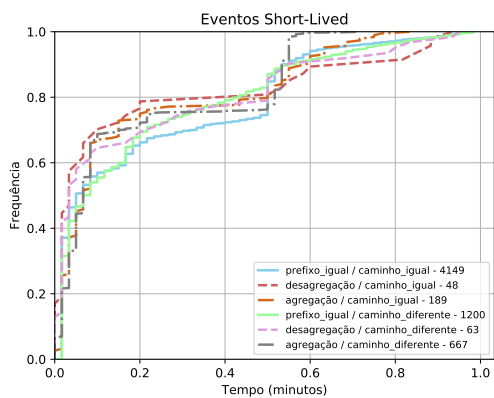
Figura D.1: Eventos *Short-Lived* - AMSIX.



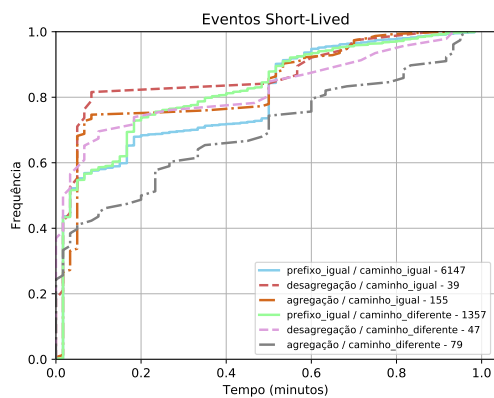
(a) Semana 1



(b) Semana 2

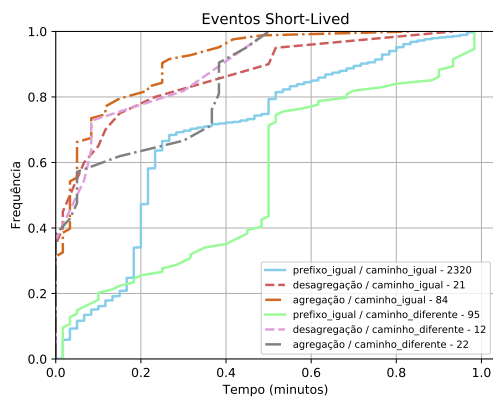


(c) Semana 3

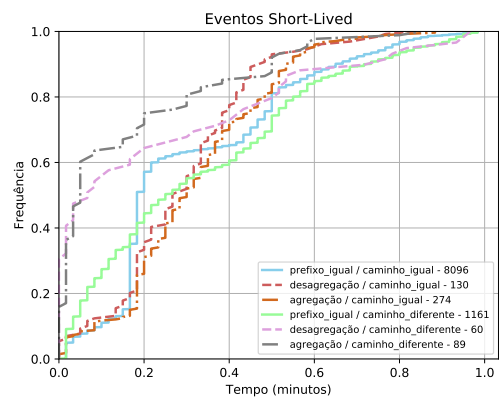


(d) Semana 4

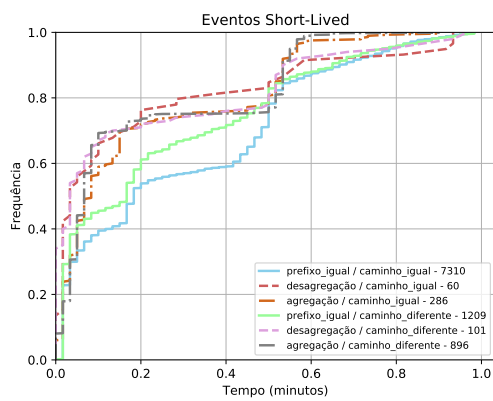
Fonte: Os Autores

Figura D.2: Eventos *Short-Lived* - EQUINIX.

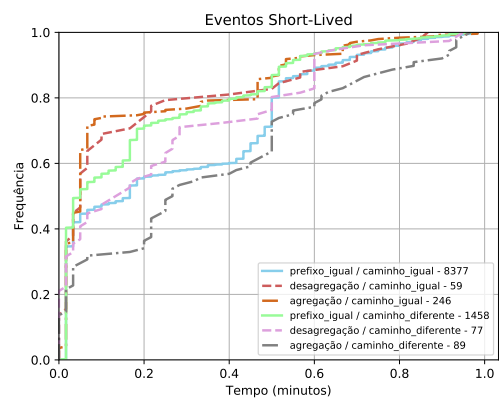
(a) Semana 1



(b) Semana 2



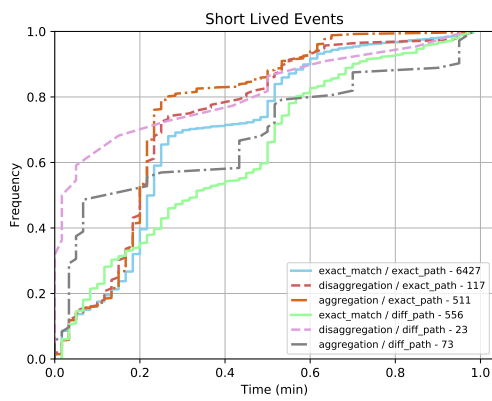
(c) Semana 3



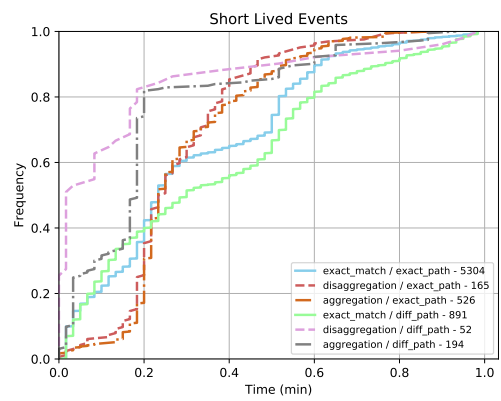
(d) Semana 4

Fonte: Os Autores

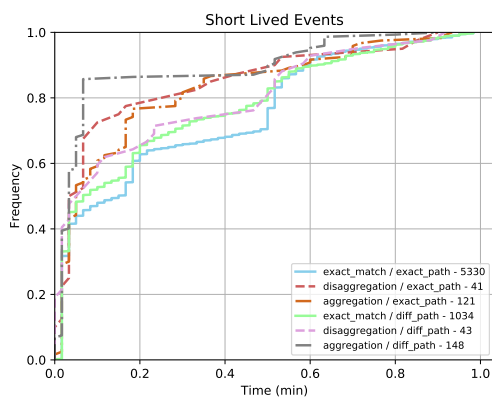
Figura D.3: Eventos *Short-Lived* - NAPAFRICA.



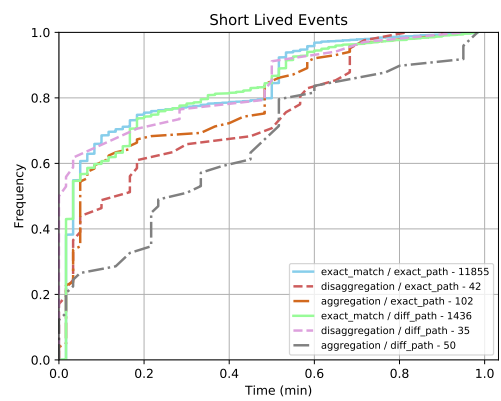
(a) Semana 1



(b) Semana 2



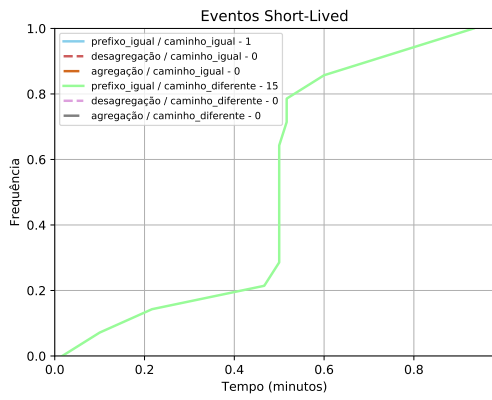
(c) Semana 3



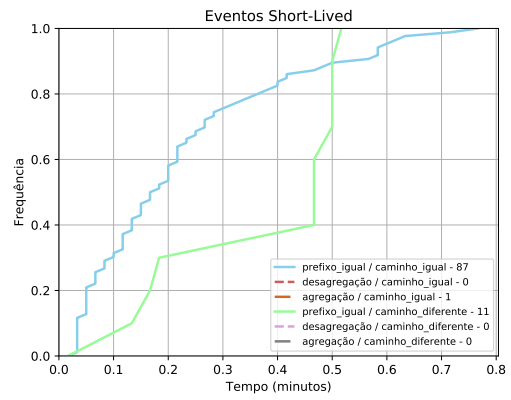
(d) Semana 4

Fonte: Os Autores

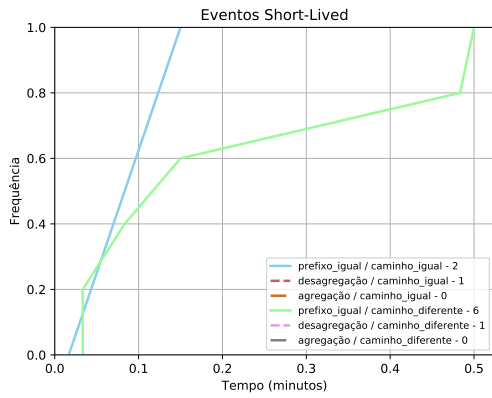
Figura D.4: Eventos *Short-Lived* - SCL.



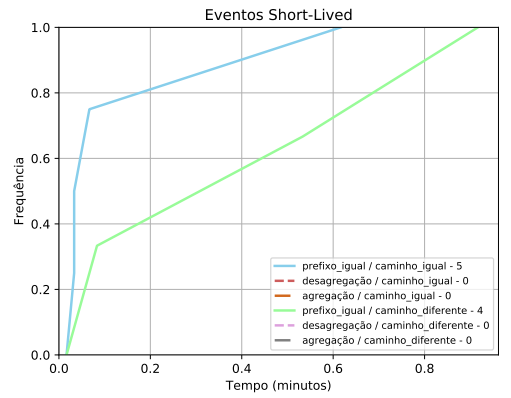
(a) Semana 1



(b) Semana 2

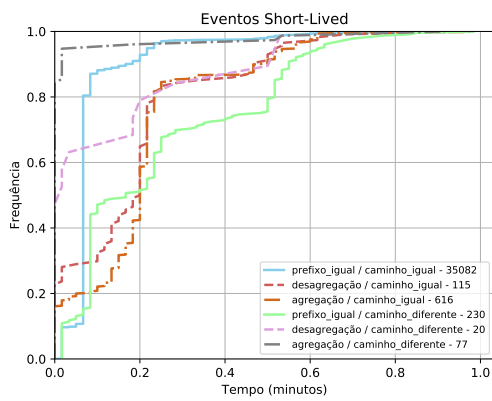


(c) Semana 3

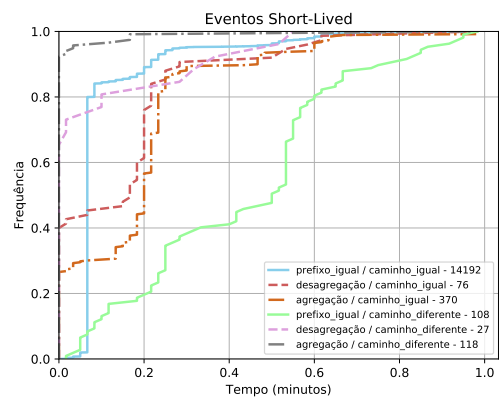


(d) Semana 4

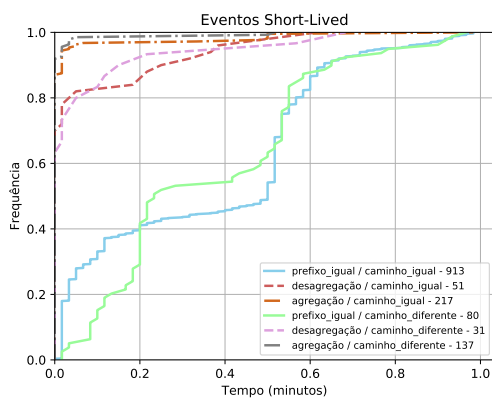
Fonte: Os Autores

Figura D.5: Eventos *Short-Lived* - SYDNEY.

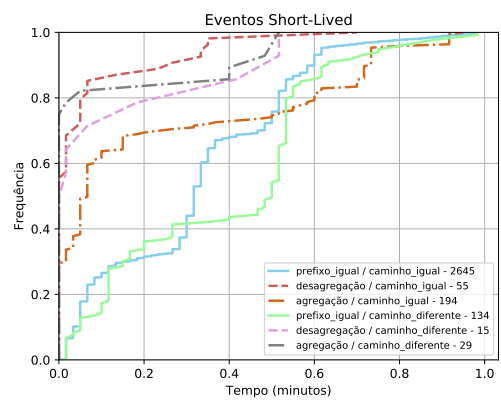
(a) Semana 1



(b) Semana 2



(c) Semana 3

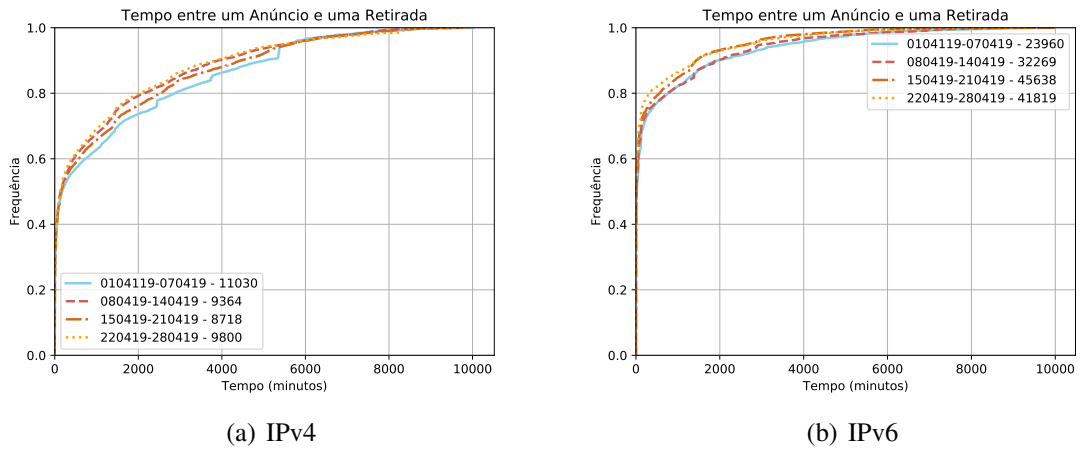


(d) Semana 4

Fonte: Os Autores

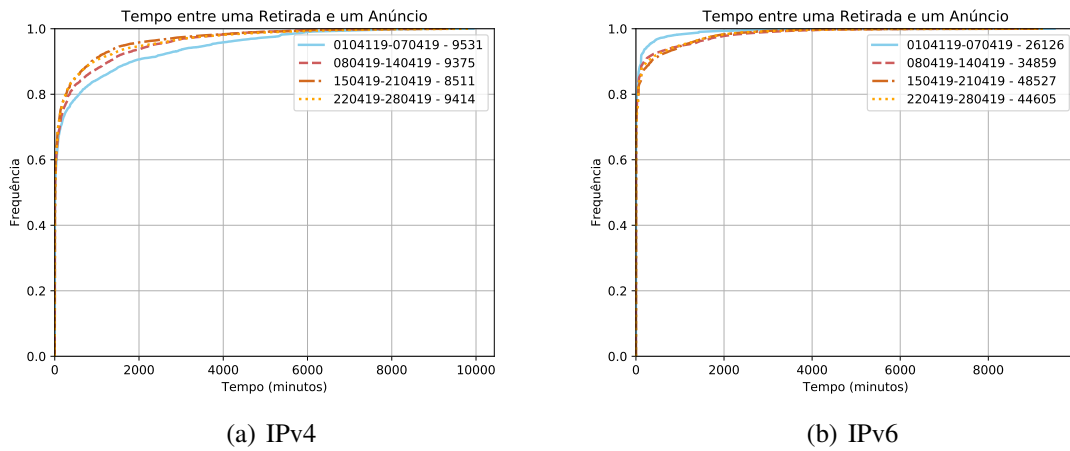
## APÊNDICE E — IPV4 X IPV6

Figura E.1: Tempos AW - AMSIX.



Fonte: Os Autores

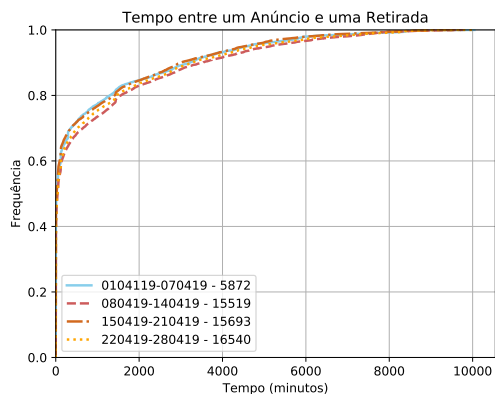
Figura E.2: Tempos WA - AMSIX.



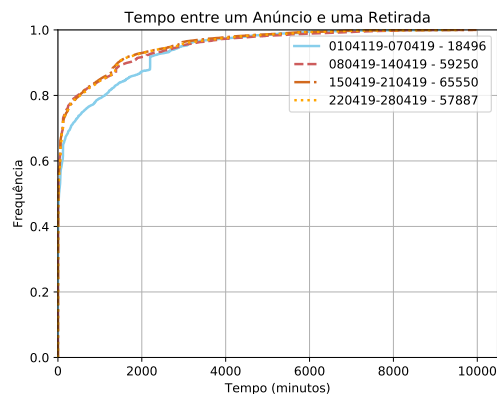
Fonte: Os Autores



Figura E.3: Tempos AW - EQUINIX.



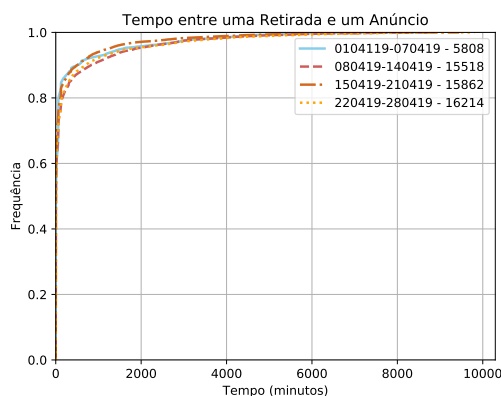
(a) IPv4



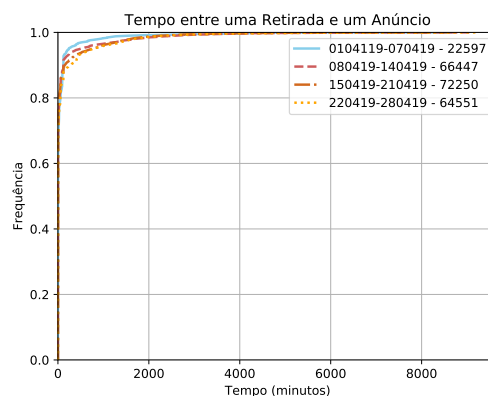
(b) IPv6

Fonte: Os Autores

Figura E.4: Tempos WA - EQUINIX.



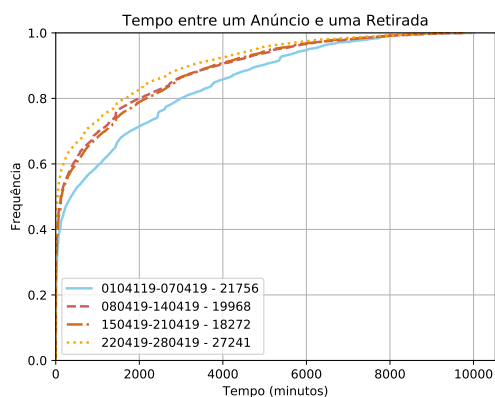
(a) IPv4



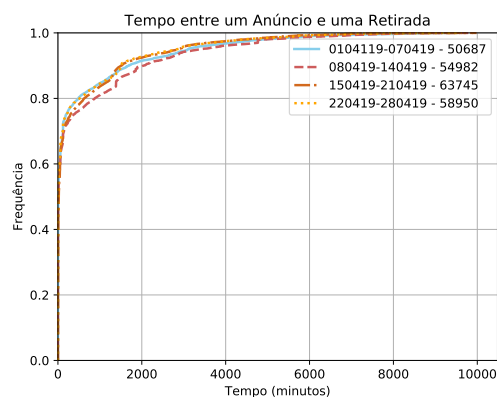
(b) IPv6

Fonte: Os Autores

Figura E.5: Tempos AW - NAPAFRICA.



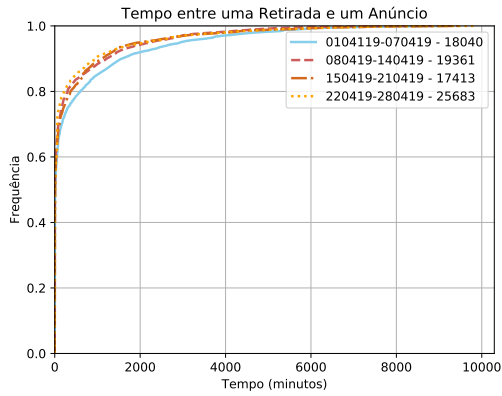
(a) IPv4



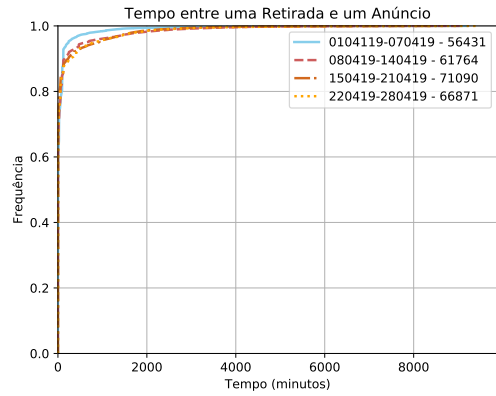
(b) IPv6

Fonte: Os Autores

Figura E.6: Tempos WA - NAPAFRICA.



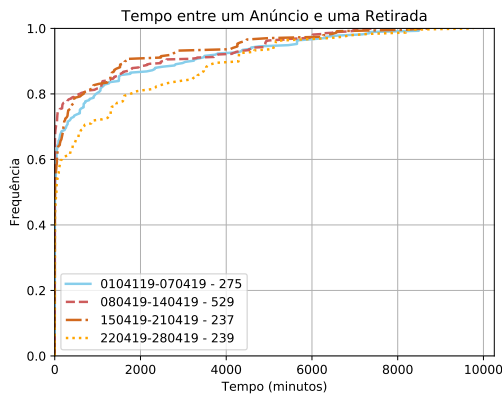
(a) IPv4



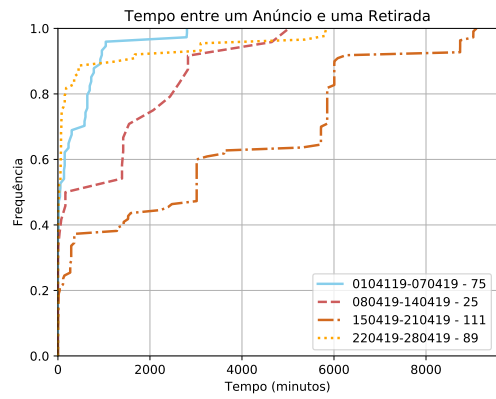
(b) IPv6

Fonte: Os Autores

Figura E.7: Tempos AW - SCL.



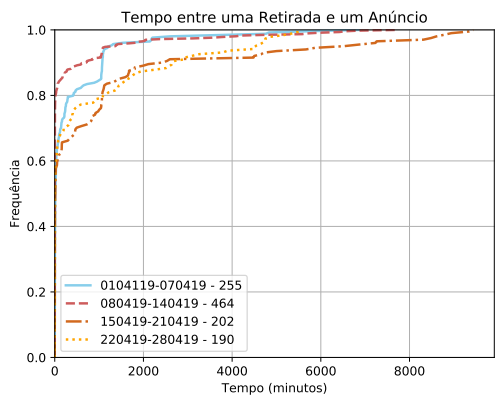
(a) IPv4



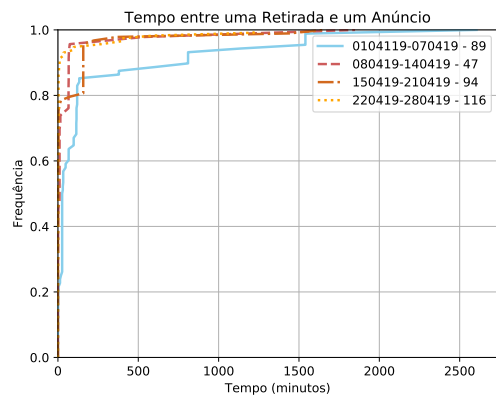
(b) IPv6

Fonte: Os Autores

Figura E.8: Tempos WA - SCL.



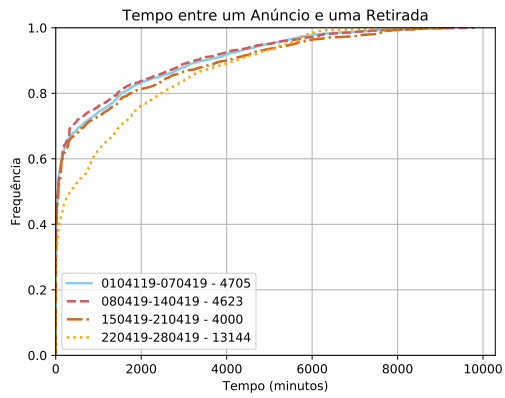
(a) IPv4



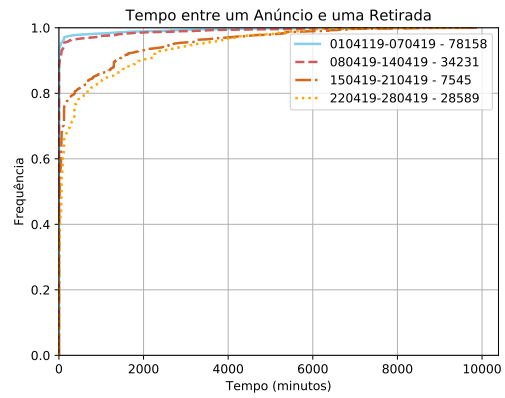
(b) IPv6

Fonte: Os Autores

Figura E.9: Tempos AW - SYDNEY.



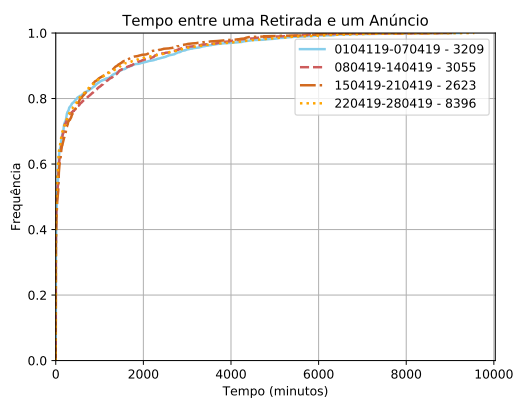
(a) IPv4



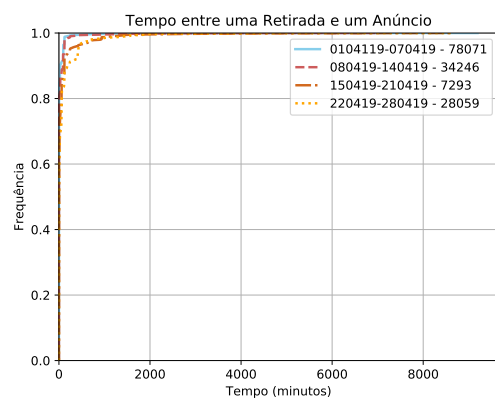
(b) IPv6

Fonte: Os Autores

Figura E.10: Tempos WA - SYDNEY.



(a) IPv4

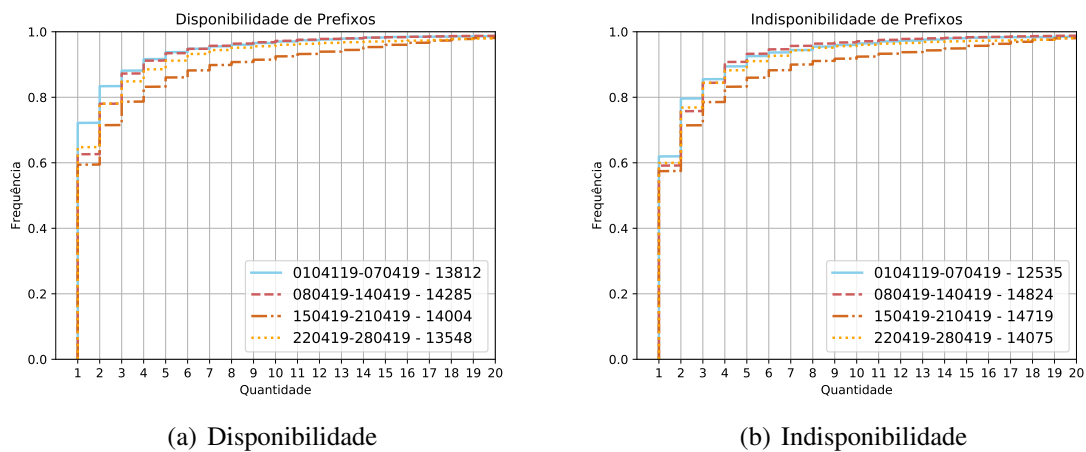


(b) IPv6

Fonte: Os Autores

## APÊNDICE F — PREFIXOS

Figura F.1: Prefixos - AMSIX.

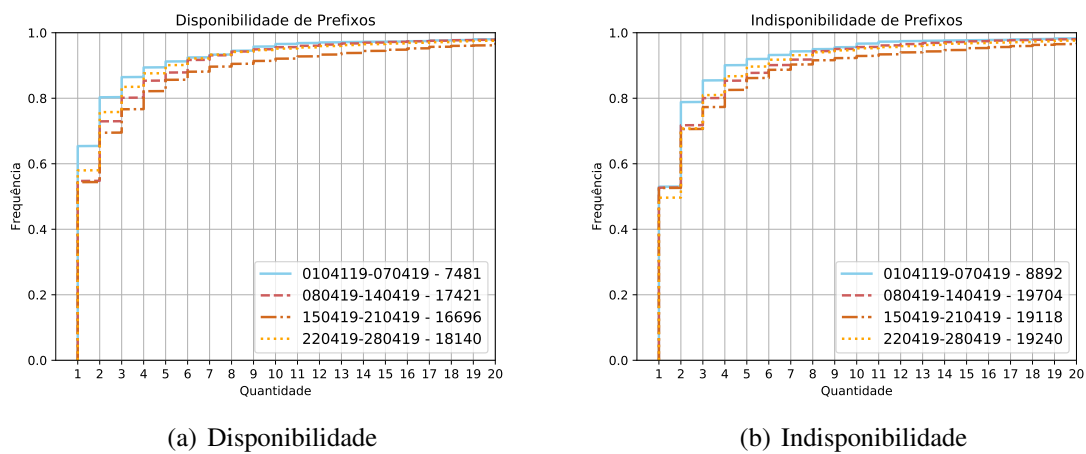


(a) Disponibilidade

(b) Indisponibilidade

Fonte: Os Autores

Figura F.2: Prefixos - EQUINIX.

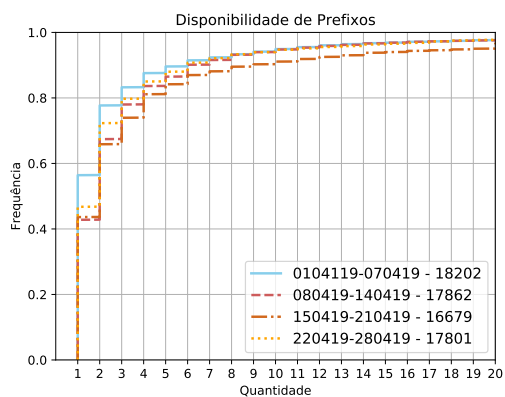


(a) Disponibilidade

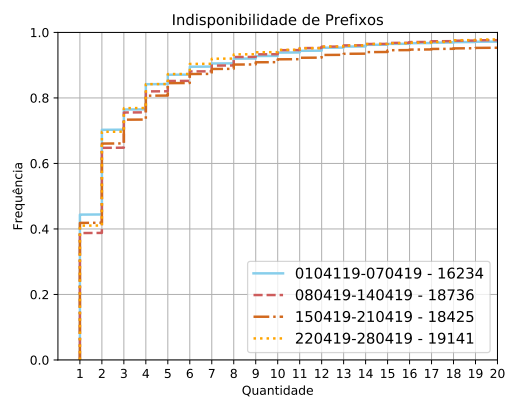
(b) Indisponibilidade

Fonte: Os Autores

Figura F.3: Prefixos - NAPAFRICA.



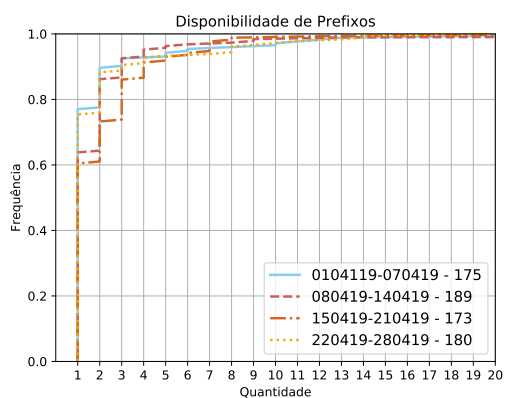
(a) Disponibilidade



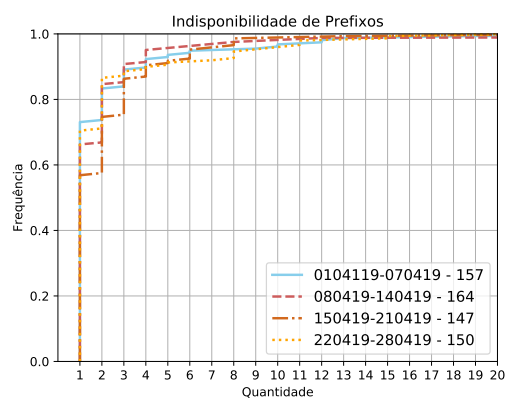
(b) Indisponibilidade

Fonte: Os Autores

Figura F.4: Prefixos - SCL.



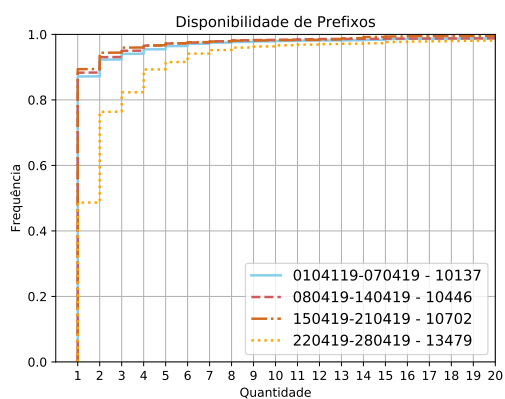
(a) Disponibilidade



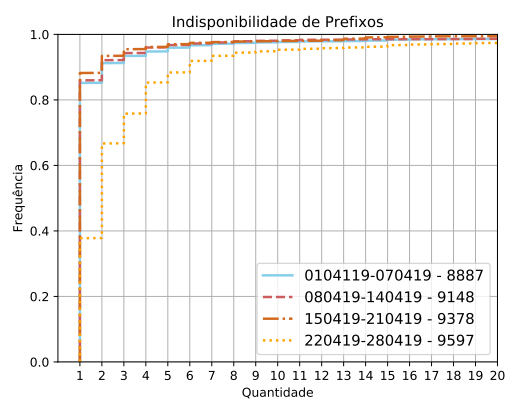
(b) Indisponibilidade

Fonte: Os Autores

Figura F.5: Prefixos - SYDNEY.



(a) Disponibilidade

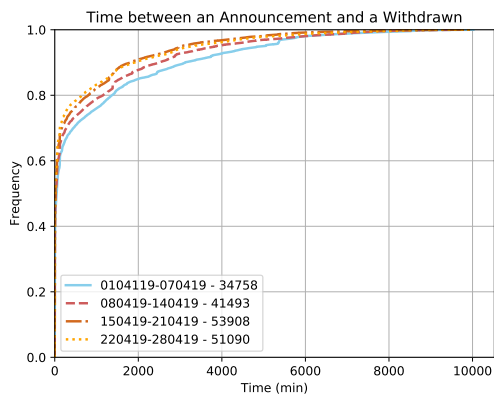


(b) Indisponibilidade

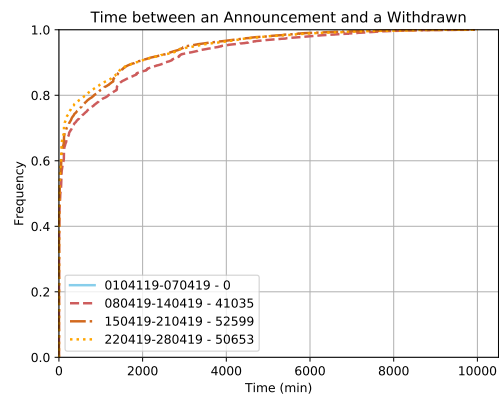
Fonte: Os Autores

## APÊNDICE G — TEMPOS AW E WA - AS6939

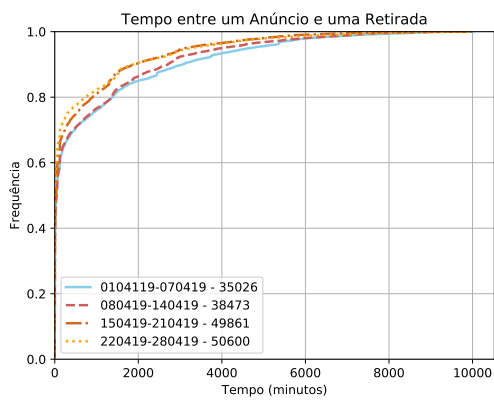
Figura G.1: Tempos AW.



(a) AMSIX



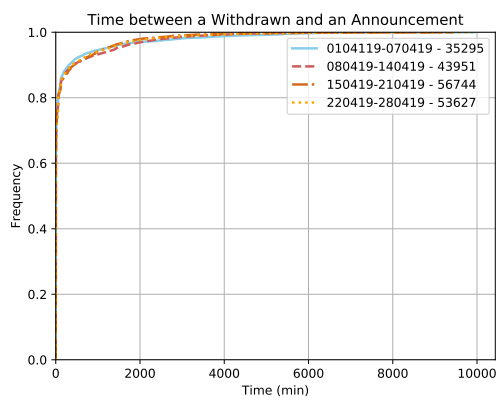
(b) EQUINIX



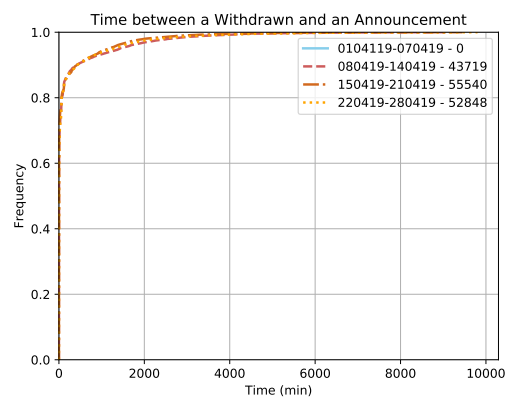
(c) NAPAFRICA

Fonte: Os Autores

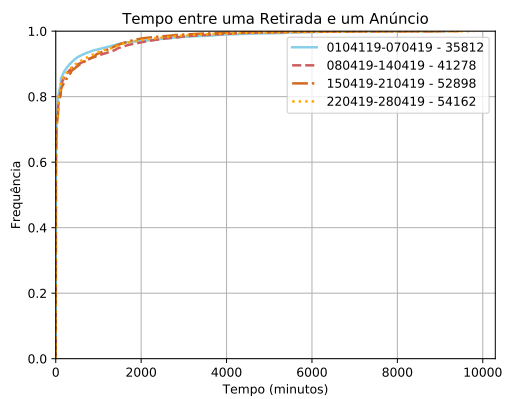
Figura G.2: Tempos WA.



(a) AMSIX



(b) EQUINIX

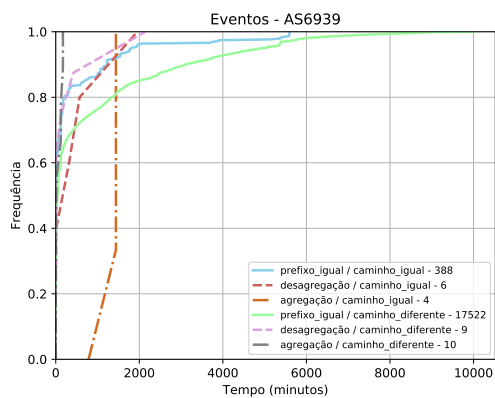


(c) NAPAFRICA

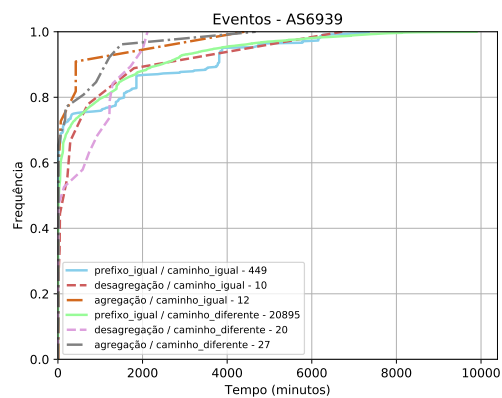
Fonte: Os Autores

## APÊNDICE H — EVENTOS - AS6939

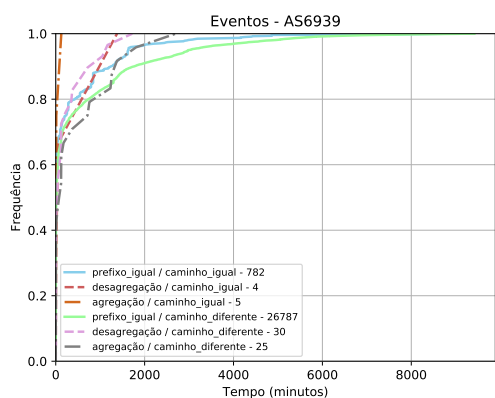
Figura H.1: AS6939 - AMSIX.



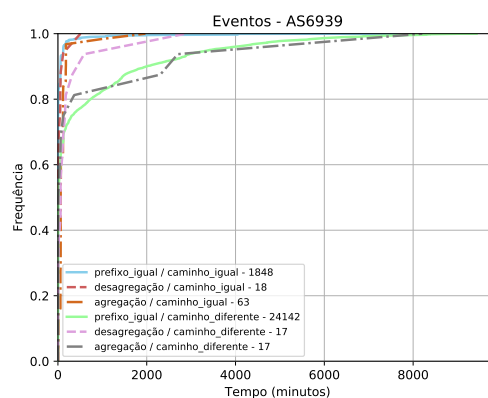
(a) Semana 1



(b) Semana 2



(c) Semana 3

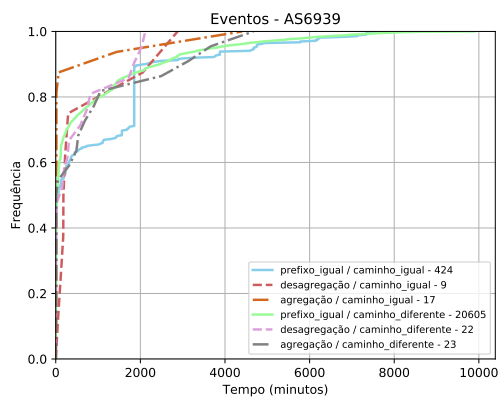


(d) Semana 4

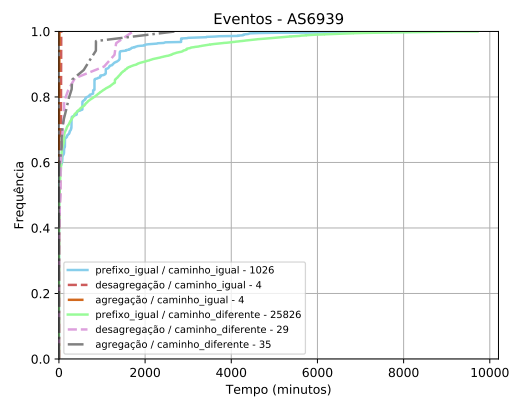
Fonte: Os Autores



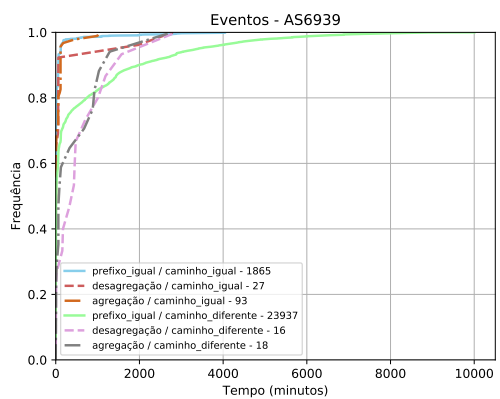
Figura H.2: AS6939 - EQUINIX/SYDNEY.



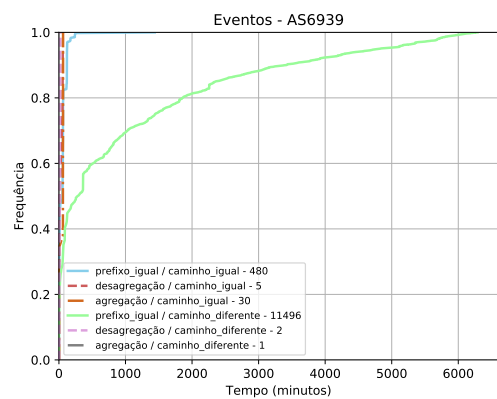
(a) EQUINIX - Semana 2



(b) EQUINIX - Semana 3



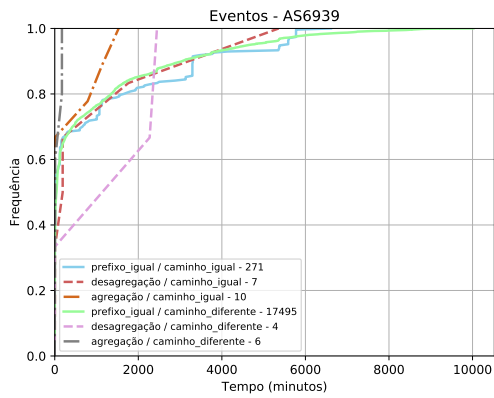
(c) EQUINIX - Semana 4



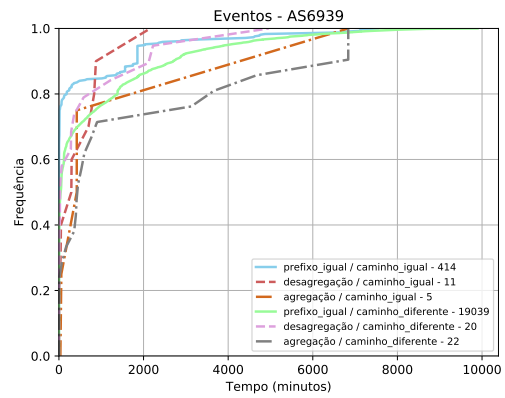
(d) SYDNEY - Semana 4

Fonte: Os Autores

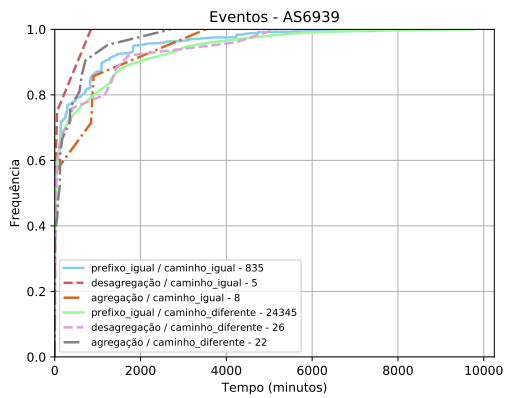
Figura H.3: AS6939 - NAPAFRICA.



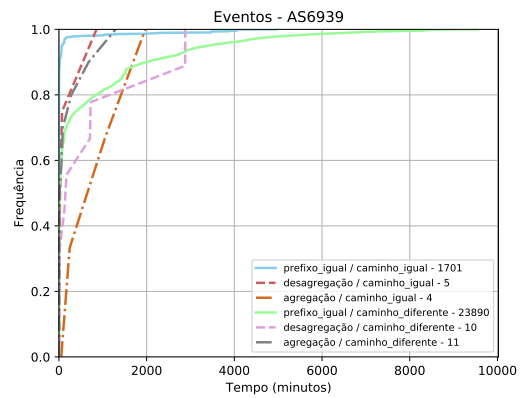
(a) Semana 1



(b) Semana 2



(c) Semana 3



(d) Semana 4

Fonte: Os Autores