

ARTIGO COMPLETO/FULL PAPER

Análise de Visibilidade de Alocações de Recursos da Internet nos Últimos 15 Anos

Analysis of Resource Allocations Visibility on the Internet

Pedro Maciel Carneiro Ferreira • ✉ pedroferreira@furg.br
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Pedro De Botelho Marcos • ✉ pbmarcos@furg.br
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

RESUMO. Este artigo analisa a visibilidade de ASes, prefixos e espaços de endereçamento alocados pelos Registros Regionais da Internet (RIRs) para IPv4 e IPv6. Utilizando dados dos coletores Route Views, RIPE RIS e PCH, realizamos diversas análises para avaliar como esses recursos estão sendo utilizados e propagados nas tabelas de roteamento globais. O estudo busca compreender em que medida os recursos alocados estão de fato visíveis e em uso, identificando discrepâncias entre a alocação e a visibilidade observada. Os resultados fornecem uma perspectiva sobre a eficiência na utilização dos recursos alocados e ajudam a entender melhor os padrões de propagação nas redes de roteamento.

ABSTRACT. This paper analyzes the visibility of ASes, prefixes, and address spaces allocated by the Regional Internet Registries (RIRs) for both IPv4 and IPv6. Using data collected from Route Views, RIPE RIS, and PCH, we conduct various analyses to assess how these resources are being utilized and propagated across global routing tables. The study aims to understand the extent to which allocated resources are effectively visible and in use, identifying discrepancies between allocation and observed visibility. The results provide insights into the efficiency of resource utilization and offer a clearer understanding of propagation patterns in routing networks.

PALAVRAS-CHAVE: Alocação • BGP • Internet • Prefixos • Roteamento

KEYWORDS: Allocation • BGP • Internet • Prefixes • Routing

1 Introdução

A Internet é sustentada por uma vasta infraestrutura de redes interconectadas, composta por Sistemas Autônomos (ASes) e endereços IP. Para garantir o funcionamento adequado dessa infraestrutura, é essencial a alocação eficiente de recursos — como blocos de endereços IPv4, IPv6 e Números de Sistemas Autônomos (ASNs). A responsabilidade pela gestão desses recursos é atribuída à Autoridade para Atribuição de Números da Internet (IANA), que os distribui entre cinco Registros Regionais da Internet (RIRs): AFRINIC, APNIC, ARIN, LACNIC e RIPE NCC. Cada RIR é responsável pela alocação e gestão dos recursos em sua região, promovendo a interoperabilidade e o crescimento contínuo da Internet global [1].

Desde 2011, o IANA alocou os últimos blocos de endereços IPv4 para os cinco Registros Regionais da Internet (RIRs), marcando o esgotamento do *pool* central de IPv4 [2]. Desde então, os RIRs gerenciam seus estoques remanescentes e aplicam políticas restritivas de alocação. A escassez desse recurso incentivou provedores a explorar alternativas, como a reutilização de endereços, a aquisição de blocos transferidos e a participação no crescente mercado de aluguel temporário

de endereços [3]. No entanto, muitas alocações continuam subutilizadas ou não anunciadas, o que agrava a escassez e impede o reaproveitamento por outras organizações.

A alocação formal dos recursos nem sempre reflete em seu uso efetivo nas tabelas globais de roteamento. Em muitos casos, prefixos e ASNs alocados permanecem invisíveis, sugerindo problemas como subutilização, configuração inadequada ou falhas na propagação.

Diante desses desafios e da expansão do mercado de transferências e aluguéis de endereços, este estudo busca investigar a visibilidade e a utilização dos recursos alocados na Internet, analisando dados coletados de múltiplas fontes de roteamento. Ao entender como esses recursos são alocados e utilizados, é possível identificar oportunidades para aprimorar as políticas de gestão empregadas pelos RIRs, garantindo uma utilização mais eficiente dos recursos disponíveis e alinhada às necessidades das organizações.

Para esta análise, utilizamos dados de visibilidade obtidos dos principais coletores de roteamento *Border Gateway Protocol* (BGP), incluindo *Route Views* (RV)[4], *RIPE Routing Information Service* (RIPE RIS)[5] e *Packet Clearing House* (PCH)[6]. Além disso, consideramos

como base de comparação os recursos alocados, disponíveis nos arquivos públicos dos RIRs, que contêm registros detalhados de alocações realizadas em cada região[7].

2 Contextualização

A infraestrutura da Internet depende de recursos finitos de numeração, como endereços IPv4, IPv6 e ASNs. A IANA é responsável pela gestão inicial desses recursos, distribuindo-os entre cinco Registros Regionais da Internet (RIRs): AFRINIC (África), APNIC (Ásia-Pacífico), ARIN (Estados Unidos, Canadá e Atlântico Norte), LACNIC (América Latina e Caribe) e RIPE NCC (Europa, Oriente Médio e Ásia Central), que administram suas regiões seguindo políticas das comunidades locais [1].

Durante as primeiras décadas da Internet, os endereços IPv4 foram amplamente distribuídos, mas o rápido crescimento e uma alocação inicial ineficiente resultaram no esgotamento desse espaço em 2011. Desde então, os RIRs aplicam políticas restritivas, e a transição para IPv6 tornou-se essencial para a expansão contínua da Internet [8]. Entretanto, muitos recursos alocados permanecem subutilizados ou invisíveis nas tabelas globais de roteamento, dificultando seu reaproveitamento por outras organizações.

Além da alocação eficiente, a visibilidade desses recursos nas tabelas de roteamento é um aspecto fundamental. Para monitorar essa visibilidade, são utilizados dados fornecidos por plataformas como RV, RIPE RIS e PCH. Essas plataformas mantêm sessões de peering com roteadores que compartilham suas tabelas de roteamento, fornecendo uma visão ampla e detalhada da propagação de rotas[4–6].

Comparando as alocações registradas com a visibilidade nas tabelas globais de roteamento, este estudo busca identificar discrepâncias e padrões regionais que possam revelar desafios e oportunidades na gestão desses recursos. Os resultados obtidos contribuirão para uma melhor compreensão da dinâmica atual e para o desenvolvimento de estratégias que promovam uma alocação mais eficiente e sustentável de ASNs e prefixos.

3 Metodologia de Coleta e Processamento

Este estudo utiliza dados de visibilidade coletados nas plataformas RV [4], RIPE RIS [5], e PCH [6], que, juntos, oferecem uma visão abrangente das rotas BGP globais. Foram considerados todos os coletores disponíveis em cada plataforma nas datas analisadas, garantindo uma cobertura completa e representativa do estado das tabelas de roteamento ao longo do período. Comple-

mentarmente, incorporamos dados de alocações oficiais obtidos do repositório público de estatísticas do LACNIC [7], com um *snapshot* do dia 25 de abril de 2024. Esses arquivos documentam as alocações realizadas por cada um dos cinco RIRs (AFRINIC, APNIC, ARIN, LACNIC e RIPE NCC). Para esta análise, focamos nos recursos alocados entre 2010 e 2024, permitindo identificar tendências recentes e padrões de visibilidade ao longo desse período.

Os dados de visibilidade foram extraídos de *snapshots* anuais das plataformas RV, RIS e PCH, coletados em 1º de janeiro de cada ano entre 2010 e 2023, além do *snapshot* de 25 de abril de 2024. Para coletores que não tinham *snapshots* exatos no dia 1º de janeiro — uma situação comum nos anos iniciais — foi selecionado o primeiro *snapshot* disponível no mês de janeiro.

3.1 Formato dos Arquivos de Alocação

Os arquivos de alocação seguem um formato padronizado, e contêm registros detalhados das alocações de ASNs e blocos de endereços IP (IPv4 e IPv6). Cada linha de alocação inclui as seguintes colunas:

RIR: Registro responsável pela alocação (Por exemplo: AFRINIC, ARIN).

País: Código ISO do país destinatário do recurso.

Tipo de Recurso: ASN, IPv4 ou IPv6.

Identificador do Recurso: Para IPs, o bloco de endereços; para ASN, o número.

Tamanho: Número de unidades alocadas (Por exemplo: 256 endereços).

Data: Data de alocação do recurso.

Status: Indica a situação do recurso:

Allocated: Alocado para um RIR, que pode redistribuí-lo regionalmente.

Assigned: Atribuído diretamente a uma organização para uso.

Reserved: Reservado para uso futuro ou fins específicos.

Available: Disponível para alocação, mas ainda não distribuído.

Hash: Identificador único associado ao registro para auditoria e rastreamento.

3.2 Normalização e Filtragem dos Dados

Para garantir uma análise precisa e consistente, aplicamos processos de filtragem e normalização aos dados de endereçamento. A seguir, detalhamos o tratamento dos bogons e a normalização do espaço de endereçamento.

3.2.1 Bogons

Bogons são endereços IP ou ASNs que não deveriam ser roteados na Internet pública por falta de alocação ou atribuição adequada. Esses recursos incluem blocos reservados, internos ou disponíveis, que podem ser usados para atividades maliciosas.

Para garantir a análise apenas de dados válidos, este trabalho filtrou os recursos inválidos considerados bogons:

- **ASNs:** Todos aqueles que não estavam marcados como *allocated* ou *assigned* nos arquivos de alocação dos RIRs.
- **Prefixos IPv4 e IPv6:** Todos os prefixos que não estavam marcados como *allocated* ou *assigned* e aqueles que estão na lista de *fullbogons* disponibilizada pelo Team Cymru. [9].

3.2.2 Normalização do Espaço de Endereçamento

Para assegurar consistência na análise, os prefixos foram normalizados da seguinte forma: blocos IPv4 entre /8 e /24 foram todos ajustados para /24, e blocos IPv6 entre /16 e /48 foram normalizados para /48. Essa abordagem garante uma comparação coerente entre alocações distintas e permite avaliar com precisão a eficiência e cobertura dos recursos.

3.3 Resumo do Volume de Dados

As tabelas a seguir apresentam a distribuição dos recursos alocados e visíveis por região, utilizando como base o *snapshot* de 25 de abril de 2024. Vale destacar que, embora um recurso apareça alocado em uma determinada região, ele pode não ter sido originalmente destinado a essa mesma região. Transferências entre RIRs podem ocorrer ao longo do tempo, o que pode alterar a associação regional do recurso.

Região	ASes	IPv4	IPv6
AFRINIC	2.043	3.468	1.314
APNIC	23.952	34.183	14.208
ARIN	16.812	26.212	8.586
LACNIC	11.878	15.186	12.507
RIPE NCC	26.758	49.843	24.721
Internet	81.443	128.892	61.336

Tabela 1. Distribuição de Recursos Alocados por Região

Região	ASes	IPv4	IPv6
Internet	111.454	2.560.623	456.600

Tabela 2. Distribuição de Recursos Visíveis por Região

Os dados também mostram que foram alocados 3.944.201 blocos /24 de IPv4 e 24.284.463.059 blocos /48 de IPv6. Complementarmente, observamos 13.390.591 blocos /24 e 31.942.726.068 blocos /48 nas rotas globais. Essa diferença ocorre, porque a análise de alocações cobre apenas o período de 2010 a 2024, enquanto os dados de visibilidade incluem recursos alocados antes desse intervalo.

4 Análise de Alocação vs Visibilidade

Nesta seção, comparamos as alocações registradas nos arquivos dos RIRs com a visibilidade real nas tabelas globais de roteamento, utilizando os dados coletados das plataformas RV, RIS e PCH. A análise é dividida entre ASes e prefixos, para IPv4 e IPv6, buscando identificar discrepâncias e padrões regionais que possam indicar subutilização ou propagação inadequada dos recursos.

4.1 Análise de Alocação vs Visibilidade de ASNs

Nesta subseção, analisamos a evolução da visibilidade dos ASNs alocados em comparação com os registros dos RIRs. A visibilidade é definida como a proporção dos ASNs alocados que foram observados nas tabelas globais de roteamento ao longo dos anos.

A Figura 1 apresenta a CDF (*Cumulative Distribution Function*) do percentual de visibilidade dos ASNs em relação ao tempo em que cada recurso esteve alocado. Cada ponto da figura mostra a proporção dos ASNs que foram visíveis durante uma certa porcentagem dos anos desde sua alocação.

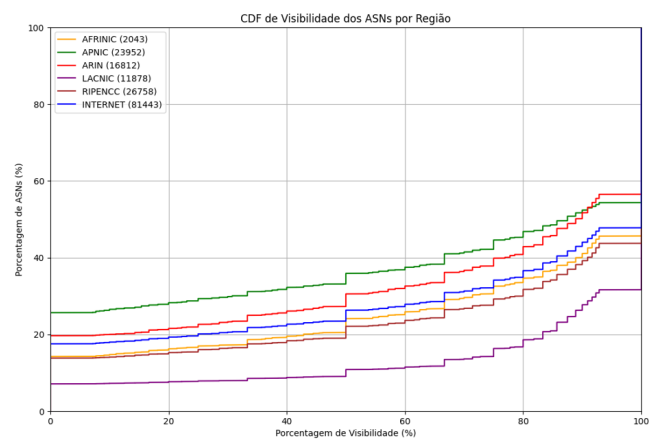


Figura 1. Percentual de Visibilidade dos ASNs em Relação aos Anos Desde a Alocação

Para calcular esse percentual, consideramos o número de anos desde a alocação do ASN até o último *snapshot* analisado (25 de abril de 2024). Em seguida, verificamos em quantos desses anos o recurso foi efe-

tivamente visto nas tabelas de roteamento. A fórmula utilizada é:

$$\% \text{ de Visibilidade} = \frac{\text{Anos Visíveis}}{\text{Anos Alocado}} \times 100 \quad (1)$$

A análise regional revela variações significativas na visibilidade dos ASNs:

- **RIPE NCC e AFRINIC:** Seguem de perto a média global, com aproximadamente 15%-20% dos ASNs nunca observados e 50%-60% dos ASNs sempre visíveis ao longo do período analisado.
- **LACNIC:** Destaca-se com maior visibilidade, registrando menos de 10% dos ASNs nunca visíveis e quase 70% sempre observados.
- **APNIC e ARIN:** Apresentam menor visibilidade, com cerca de 20%-30% dos ASNs nunca visíveis e aproximadamente 40% sempre visíveis nas tabelas de roteamento.

A média global indica que aproximadamente 20% dos ASNs nunca foram observados, enquanto pouco mais de 50% estiveram presentes durante todo o período analisado. A comparação regional evidencia diferenças relevantes nas políticas de alocação e no uso efetivo dos ASNs, sugerindo que fatores regionais podem influenciar a visibilidade dos recursos.

4.2 Análise de Alocação vs Visibilidade de Prefixos

Nesta subseção, analisamos a visibilidade dos prefixos IPv4 e IPv6 alocados em comparação com os registros dos RIRs. A visibilidade é medida como a proporção dos anos em que o prefixo foi observado nas tabelas globais de roteamento em relação ao tempo total desde sua alocação, conforme definido na Equação 1.

A Figura 2 apresenta a CDF do percentual de visibilidade dos prefixos IPv4. Cada ponto da figura indica a proporção dos prefixos que foram visíveis durante uma certa porcentagem dos anos desde sua alocação.

- **AFRINIC, ARIN, RIPE NCC:** Apresentam comportamento próximo à média global, com cerca de 20%-30% dos prefixos nunca observados e 40%-50% sempre visíveis.
- **LACNIC:** Registra maior visibilidade, com apenas 10% dos prefixos nunca visíveis e aproximadamente 50% observados durante todo o período em que esteve alocado.
- **APNIC:** Apresenta menor visibilidade, com mais de 40% dos prefixos nunca visíveis e menos de 30% observados continuamente.

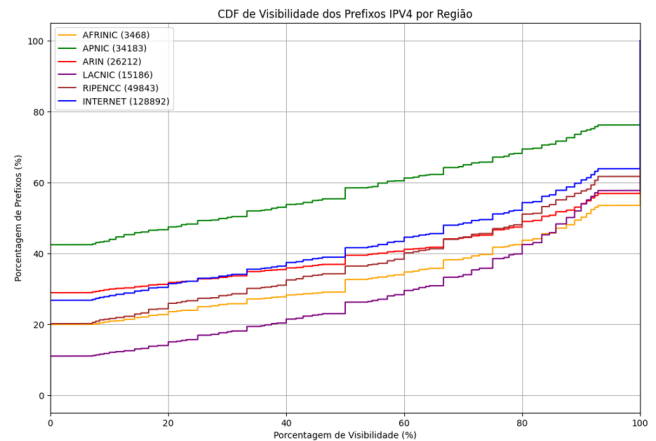


Figura 2. Percentual de Visibilidade dos Prefixos em Relação aos Anos Desde a Alocação para IPv4

Esses resultados sugerem que fatores regionais e políticas de alocação influenciam diretamente a visibilidade dos prefixos nas rotas globais.

A Figura 3 apresenta a CDF do percentual de visibilidade dos prefixos IPv6, seguindo a mesma lógica.

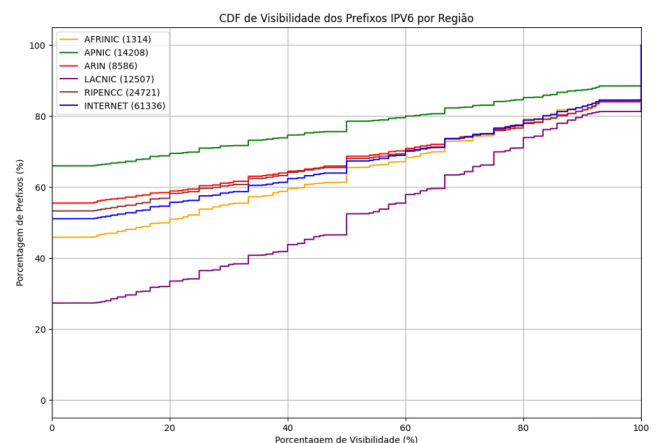


Figura 3. Percentual de Visibilidade dos Prefixos em Relação aos Anos Desde a Alocação para IPv6

- **AFRINIC, ARIN, RIPE NCC:** Demonstram comportamento alinhado com a média global, com cerca de 45%-55% dos prefixos não observados e 10%-20% consistentemente visíveis.
- **LACNIC:** Apresenta maior proporção de visibilidade, com aproximadamente 30% dos prefixos não detectados e cerca de 20% mantidos visíveis durante todo o período de alocação.
- **APNIC:** Exibe menor visibilidade, com mais de 65% dos prefixos não observados e menos de 15% continuamente presentes nas rotas globais.

Essas tendências reforçam a influência das políticas regionais e dos processos de adoção sobre a propagação

dos prefixos IPv4 e IPv6, indicando que fatores regionais desempenham um papel importante na eficiência do uso dos recursos alocados.

4.2.1 Tempo de Propagação dos Prefixos Alocados

Para cada bloco de endereços alocado, medimos o tempo entre a data de alocação e o momento em que todos os sub-blocos derivados foram observados ao menos uma vez nas tabelas de roteamento. No caso do IPv4, avaliamos a visibilidade dos blocos /24, enquanto, para o IPv6, utilizamos os blocos /48 como referência. O uso de /48 no IPv6 é amplamente aceito entre os operadores de rede e reflete uma prática consolidada de alocação para redes finais. Essa escolha permite manter consistência na análise e alinhamento com as convenções de roteamento observadas nas rotas globais [10].

Embora algumas partes do bloco possam ser anunciadas logo após a alocação, a visibilidade completa é contabilizada apenas quando todos os sub-blocos relevantes (/24 para IPv4 e /48 para IPv6) são detectados nas plataformas de roteamento.

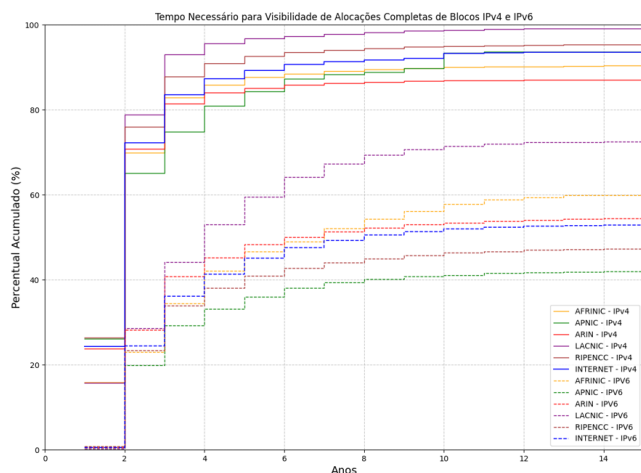


Figura 4. CDF do Tempo Necessário para a Visibilidade de Alocações Completas de Blocos IPv4 e IPv6

A Figura 4 apresenta a distribuição do tempo necessário para que os blocos alocados de IPv4 e IPv6 se tornassem completamente visíveis. A comparação entre as diferentes regiões e a Internet como um todo revela que a maioria dos blocos IPv4 alcança visibilidade em até dois anos, indicando uma adoção mais rápida. Já os blocos IPv6 tendem a demandar mais tempo para se propagar, refletindo não apenas a transição para um novo protocolo, mas também os desafios de implementação que afetam tanto o IPv4 quanto o IPv6.

Para IPv4, cerca de 5% dos prefixos alocados nunca foram observados em sua totalidade. Destes, aproximadamente 2% foram observados parcialmente, com

66,71% dos sub-blocos /24 desses prefixos aparecendo ao menos uma vez nas plataformas de roteamento.

No caso do IPv6, a visibilidade completa é menos frequente, com aproximadamente 45% dos prefixos alocados não alcançando visibilidade plena. Desses prefixos incompletamente observados, 9% foram vistos parcialmente, com apenas 13,25% dos sub-blocos /48 sendo detectados ao longo do período analisado. Esses resultados sugerem uma adoção mais lenta para IPv6 e reforçam a importância de políticas que incentivem o uso eficiente dos recursos alocados em ambas as versões do protocolo.

5 Trabalhos Futuros

Como parte do cronograma deste estudo, estão previstas novas análises para aprofundar a compreensão da visibilidade dos recursos alocados na Internet. Uma das próximas etapas é investigar a visibilidade após a transferência de recursos entre organizações, avaliando se essas transferências afetam a visibilidade dos ASNs e prefixos nas tabelas globais de roteamento.

Além disso, pretendemos realizar uma análise comparativa entre diferentes tipos de ASNs, como ASNs de conteúdo, trânsito e acesso, buscando identificar padrões específicos de visibilidade entre esses perfis. Essa análise pode fornecer um melhor entendimento sobre a utilização e propagação de diferentes categorias de ASNs, contribuindo para o desenvolvimento de políticas mais eficientes de alocação e uso de recursos.

6 Conclusão

Este estudo analisou a alocação e visibilidade de recursos na Internet, concentrando-se em ASNs e prefixos IPv4 e IPv6. Foram identificadas discrepâncias entre os recursos alocados e sua presença nas tabelas globais de roteamento, indicando que fatores como políticas regionais e práticas operacionais influenciam seu uso.

As variações observadas entre regiões sugerem que alguns RIRs, como LACNIC, conseguem manter uma maior visibilidade de seus recursos, enquanto outros, como APNIC, enfrentam desafios na propagação, especialmente de IPv6. Isso pode indicar a necessidade de aprimorar as práticas locais para otimizar o aproveitamento dos recursos disponíveis.

A comparação entre a alocação e a visibilidade efetiva reforça a importância de identificar e reutilizar recursos subutilizados. Políticas mais claras e uma coordenação mais eficaz entre as organizações podem melhorar o uso dos recursos e facilitar sua gestão ao longo do tempo.

Referências

- 1 Cotton, M. et al. *Internet Assigned Numbers Authority (IANA) Procedures for the Management of the Service Name and Transport Protocol Port Number Registry*. RFC Editor, ago. 2011. 33 p. RFC 6335. (Request for Comments, 6335). DOI: [10.17487/RFC6335](https://doi.org/10.17487/RFC6335). Disponível em: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc6335>.
- 2 Wu, P. et al. Transition from IPv4 to IPv6: A State-of-the-Art Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 15, n. 3, p. 1407–1424, 2012. Acesso em: 18 de outubro de 2024. DOI: [10.1109/SURV.2012.110112.00200](https://doi.org/10.1109/SURV.2012.110112.00200). Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6380492>.
- 3 Prehn, L.; Lichtblau, F.; Feldmann, A. When Wells Run Dry: The 2020 IPv4 Address Market. *CoNEXT '20: Proceedings of the 16th International Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies*, p. 46–54, 2020. DOI: [10.1145/3386367.3431301](https://doi.org/10.1145/3386367.3431301).
- 4 University of Oregon. *Route Views Project*. 2024. Disponível em: <http://www.routeviews.org/>.
- 5 RIPE NCC. *RIPE Routing Information Service (RIS)*. 2024. Disponível em: <https://ris.ripe.net/docs/mrt/>.
- 6 Packet Clearing House. *Packet Clearing House (PCH)*. 2024. Disponível em: https://www.pch.net/resources/Routing_Data/.
- 7 LACNIC. *LACNIC Statistics FTP Directory*. Jul. 2024. <https://ftp.lacnic.net/pub/stats/>. Accessed: 2024-10-17.
- 8 Curran, J. *An Internet Transition Plan*. RFC Editor, jul. 2008. 8 p. RFC 5211. (Request for Comments, 5211). DOI: [10.17487/RFC5211](https://doi.org/10.17487/RFC5211). Disponível em: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc5211>.
- 9 Team Cymru. *Bogon Reference - HTTP*. 2024. Último acesso em: 18 de outubro de 2024. Disponível em: <https://www.team-cymru.com/bogon-reference-http>.
- 10 Huston, G. *BGP in 2020 — The BGP Table*. Accessed: 2024-10-17. 2021. Disponível em: <https://blog.apnic.net/2021/01/05/bgp-in-2020-the-bgp-table/>.