
ARTIGO COMPLETO/FULL PAPER

Investigando Conectividade e Engenharia de Tráfego em Pontos de Troca de Tráfego da Internet

Investigating Connectivity and Traffic Engineering in Internet eXchange Points

 **Joaquim Pereira** •  jocafp2002@furg.br

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

 **Pedro Marcos** •  pbmarcos@furg.br

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

RESUMO. A entrega eficiente de tráfego é essencial para as operações na Internet, e operadores de rede utilizam a engenharia de tráfego para influenciar o roteamento entre Sistemas Autônomos (ASes). Os pontos de troca de tráfego (IXPs) são fundamentais, permitindo a interconexão entre milhares de ASes. A escolha de onde se interconectar afeta diretamente a entrega de tráfego, pois cada IXP oferece opções de conectividade distintas. Este estudo analisa dados de sete IXPs para investigar sua composição, número de ASes conectados e comportamento de tráfego, além de avaliar como ASes utilizam técnicas de engenharia de tráfego para favorecer IXPs específicos.

ABSTRACT. Efficient traffic delivery is essential for Internet operations, and network operators use traffic engineering to influence routing between Autonomous Systems (ASes). Internet Exchange Points (IXPs) are fundamental, enabling the interconnection of thousands of ASes. The choice of where to interconnect directly impacts traffic delivery, as each IXP offers different connectivity options. This study analyzes data from seven IXPs to investigate their composition, the number of connected ASes, and traffic behavior, as well as to assess how ASes use traffic engineering techniques to favor specific IXPs.

PALAVRAS-CHAVE: Pontos de Troca de Tráfego • Sistema Autônomo • Engenharia de Tráfego

KEYWORDS: Internet eXchange Point • Autonomous System • Traffic Engineering

1 Introdução

A Internet é uma rede de conexões globais que permite o compartilhamento de dados entre dispositivos. Ela é composta por milhares de Sistemas Autônomos (ASes) interconectados que trocam tráfego, permitindo que os usuários acessem e compartilhem informações. Em 2023, a largura de banda global da Internet alcançou 1,217 terabits por segundo (Tbps), evidenciando a imensa capacidade de transmissão de dados [1].

Com a contínua expansão da Internet, suas funcionalidades e infraestrutura sofreram mudanças significativas. Inicialmente, a Internet era usada para propósitos básicos, como acessar e-mails e páginas web estáticas. No entanto, o surgimento de serviços como *streaming*, jogos online e vídeo chamadas aumentou consideravelmente o uso da Internet [2]. Algumas destas aplicações não apenas elevaram substancialmente o volume de tráfego, mas também impuseram requisitos mínimos, como a latência. Hoje em dia, a entrega eficiente de tráfego se tornou um aspecto fundamental das operações da Internet. Para alcançar isso, é essencial ter interconexões bem otimizadas entre os ASes. Uma maneira de garantir essa otimização é por meio dos pontos de troca de tráfego da Internet (IXPs) [3].

Os IXPs são uma parte crucial desse processo, pois permitem que os ASes encurtem seus caminhos entre as redes participantes e reduzam a latência, resultando em uma melhor conectividade e desempenho na entrega de tráfego [4]. Atualmente, existem mais de 1.100 IXPs ativos em todo o mundo, sendo que os maiores interconectam milhares de ASes e trocam múltiplos terabits de tráfego por segundo [5].

Nesse contexto, entender o comportamento e as características dos IXPs, bem como a maneira que os ASes otimizam suas conexões através de múltiplos IXPs, é crucial para melhorar a conectividade da rede. Enquanto as pesquisas anteriores se concentraram em compreender o ecossistema e os benefícios de se conectar nos IXPs [6–8], os aspectos de engenharia de tráfego (TE) não foram profundamente investigados. Motivados por isso, nosso estudo caracteriza esses IXPs, faz comparações entre eles, examina o espaço de endereçamento anunciado, avalia se os ASes conectados a múltiplos IXPs empregam TE para sinalizar um IXP preferido para a troca de tráfego, e explora as técnicas utilizadas para influenciar as decisões de roteamento de outros ASes.

2 Fundamentos da Internet

Sistema Autônomo (AS) é um conjunto de roteadores sob a administração de uma entidade única, que gerencia blocos de endereços IP (prefixos) anunciados externamente através do protocolo *Border Gateway Protocol* (BGP).

BGP é o protocolo responsável por facilitar a comunicação entre ASes, assegurando a propagação eficaz das rotas. Um AS anuncia seu prefixo e o Número de Sistema Autônomo (ASN) para ASes vizinhos, que, por sua vez, repassam as informações, acrescentando seus próprios ASNs ao caminho. O roteamento baseado em políticas do BGP permite a seleção do caminho mais adequado conforme critérios definidos.

Engenharia de tráfego é essencial para a gestão eficiente do tráfego na Internet, especialmente para Sistemas Autônomos. As técnicas de TE ajudam esses sistemas a escolher os melhores links para a transmissão de dados, levando em consideração fatores como custo, desempenho e capacidade da rede. As técnicas analisadas incluem o *AS-Path Prepending*, que aumenta o comprimento do caminho BGP para influenciar a escolha de rotas mais curtas [9]; anúncios de prefixos mais específicos, que permitem direcionar o tráfego de forma mais granular; e anúncios seletivos de prefixos, que possibilitam a escolha de quais prefixos serão anunciados para determinadas redes [10].

Pontos de Troca de Tráfego atuam como hubs centrais que permitem a conexão direta entre múltiplos Sistemas Autônomos, facilitando a troca de dados sem a necessidade de percorrer redes intermediárias. Os IXPs desempenham um papel fundamental na otimização da infraestrutura da Internet, promovendo uma comunicação mais ágil e econômica entre os diferentes ASes.

3 Metodologia

Para caracterizar os pontos de troca de tráfego e analisar os espaços de endereçamento anunciados pelos Sistemas Autônomos, bem como avaliar a existência de preferências por determinados IXPs, foi necessário utilizar dados de roteamento.

Neste estudo, a coleta de dados foi realizada em 3 de julho de 2024. Foram coletados dados de quatro dos maiores IXPs globais em termos de ASes, além de três IXPs adicionais da América Latina. Especificamente, os IXPs incluídos foram: IX.br São Paulo (IX.br-SP), AMS-IX Amsterdã (AMS-IX), LINX Londres (LINX), IX.br Fortaleza (IX.br-CE), IX.br Rio de Janeiro (IX.br-RJ), IX.br Porto Alegre (IX.br-RS) e PIT Santiago (PIT). A seleção destes IXPs teve como objetivo maximizar

a captura de ASes presentes em múltiplos pontos de troca de tráfego.

A coleta de dados foi realizada por meio de informações disponíveis nos *Route Servers*, acessíveis por plataformas como *Looking Glasses* (para os IXPs brasileiros), *Packet Clearing House* (para o IXP de Santiago) e *RouteViews* (para IXPs europeus). Após a coleta, os dados passaram por um processo de pré-filtragem e sanitização, que eliminou informações inconsistentes, como prefixos IPv4 maiores que /24 e prefixos IPv6 maiores que /48. Em seguida, os dados foram analisados utilizando scripts que extraíram *insights* relevantes das informações brutas.

Além disso, utilizou-se o *Prefix-to-AS Mappings Dataset* (pxf2as). Este conjunto de dados contém mapeamentos de prefixos IPv4/IPv6 para os Sistemas Autônomos, derivados dos dados do *RouteViews*. Ele foi empregado para estimar o número de prefixos que cada AS anuncia na Internet.

4 Resultados

Nesta seção, analisamos as propriedades de engenharia de tráfego dos IXPs. Um passo inicial é entender a composição desses IXPs, que envolve examinar o número de ASes conectados a cada IXP, o número de prefixos anunciados e os respectivos espaços de endereçamento.

Em seguida, examinamos a proporção de espaço de endereçamento anunciada por cada AS no *Route Servers* do IXP e investigamos os ASes conectados a múltiplos IXPs, buscando padrões ou variações significativas. Por fim, avaliamos as técnicas de engenharia de tráfego utilizadas pelos ASes. As Tabelas a seguir apresentam informações gerais dos IXPs para IPv4 e IPv6, respectivamente.

IXP	ASes Membros	ASes Alcançáveis	Prefixos Anunciados	% Cobertura Endereços
IX.br-SP	2008	23378	172556	37.61
IX.br-CE	623	21200	138740	18.59
AMS-IX	588	15542	103181	26.55
LINX	561	29640	219669	19.53
IX.br-RJ	523	21200	146603	28.87
IX.br-RS	235	5290	28253	12.96
PIT	126	16750	122987	95.88

IXP	ASes Membros	ASes Alcançáveis	Prefixos Anunciados	% Cobertura Endereços
IX.br-SP	1901	20951	77550	72.48
IX.br-CE	583	20124	71439	62.53
AMS-IX	493	6076	21151	31.73
IX.br-RJ	482	19602	70840	59.61
LINX	401	12199	49271	8.08
IX.br-RS	213	3932	10366	42.81
PIT	77	13777	62404	21.87

Tabelas 1 e 2. Informações Gerais dos IXPs - IPv4 e IPv6

Vale ressaltar que definimos como **membros** os Sistemas Autônomos diretamente conectados ao *Route Server* (RS) do IXP, enquanto os **membros alcançáveis** são aqueles cujos prefixos são anunciados no RS por meio de um membro diretamente conectado.

A coluna **ASes Membros** mostra o número de ASes conectados ao RS, e **ASes Alcançáveis** indica a quantidade de ASes que podem ser alcançados através de membros do IXP, mesmo que não estejam diretamente conectados. **Prefixos Anunciados** refere-se ao total de rotas únicas visíveis no IXP, e a **% Cobertura de Endereços** mostra a proporção do espaço de endereçamento visível em relação ao total alocado ao país.

4.1 Caracterizando Pontos de Troca de Tráfego

Nesta subseção, destacamos as principais características dos IXPs, abordando métricas como o número de ASes conectados, ASes alcançáveis e prefixos anunciados.

4.1.1 Membros dos IXPs

O primeiro passo para entender os IXPs é analisar sua composição. Vamos começar pelos ASes membros, que são aqueles diretamente conectados ao *Route Server* do IXP. É possível notar uma disparidade no número de membros entre diferentes IXPs para IPv4 e IPv6, com o IX.br-SP liderando por uma margem significativa. Essa dominância pode ser atribuída ao papel de São Paulo como um centro econômico e um nó central para a distribuição de conteúdo na América Latina, atraindo grandes *players* globais.

AMS-IX, LINX, IX.br-CE e IX.br-RJ apresentam um número considerável de ASes, embora significativamente inferior ao do IX.br-SP. Essa proximidade em quantidade resalta a relevância desses IXPs em suas regiões. Por outro lado, o IX.br-RS e o PIT ficam atrás, com menos da metade do número de ASes em comparação aos IXPs mencionados anteriormente.

Regionalmente, a América do Sul e a Europa mostram dinâmicas de crescimento distintas. Enquanto o AMS-IX e o LINX exibem um número expressivo de ASes, o IX.br-SP supera esses centros europeus. Na América do Sul, a disparidade entre o IX.br-RJ e o IX.br-RS evidencia um desenvolvimento desigual da infraestrutura, influenciado por condições econômicas regionais e pelo posicionamento geográfico.

4.1.2 ASes Alcançáveis nos IXPs

O conceito de **ASes alcançáveis** ajuda a medir a extensão da conectividade nos IXPs além dos membros diretamente conectados.

Um dos principais insights da análise dos ASes alcançáveis, conforme mostrado nas Tabelas, é a variabilidade entre os IXPs, que nem sempre se correlaciona diretamente com o número de membros conectados. Por exemplo, IXPs como IX.br-SP, IX.br-CE e IX.br-RJ apresentam números relativamente semelhantes de ASes alcançáveis, mesmo que SP supere significativamente os outros em termos de membros diretos. Isso pode ser atribuído à presença de grandes provedores de serviços de rede como a Hurricane Electric (ASN 6939), que anuncia rotas para mais de 10.000 redes através desses IXPs. O mesmo comportamento pode ser observado no PIT. Além disso, para IPv4, o LINX se destaca com aproximadamente 30.000 ASes alcançáveis, apesar de ter um número menor de membros em comparação com outros IXPs. O mesmo comportamento não é visto no outro IXP europeu.

4.1.3 Prefixos Anunciados nos IXPs

O número de prefixos anunciados geralmente se correlaciona com o número de ASes visto no IXP. O IX.br-SP apresenta um grande número de prefixos anunciados e é apoiado pela presença da Hurricane Electric, que anuncia um número substancial de prefixos aproximadamente 100.000 para IPv4 e 50.000 para IPv6 em vários IXPs, incluindo IX.br-CE e IX.br-RJ. O IXP de Londres apresenta um comportamento interessante para IPv4, com cerca de 200.000 prefixos anunciados, tornando-se um dos principais IXPs. Para IPv6, o comportamento de LINX não se mantém, ficando atrás de outros IXPs brasileiros em termos de anúncio de rotas. Um caso notável é o do PIT, que, apesar de contar com um número inferior de ASes, apresenta uma quantidade elevada de prefixos.

4.2 Comparando IXPs

O objetivo desta subseção é aprofundar-se nas semelhanças e diferenças entre os IXPs.

4.2.1 ASes Membros

Ao analisar a sobreposição dos ASes membros, o IX.br-SP, que é o IXP com o maior número de membros, demonstra uma sobreposição substancial com outros IXPs brasileiros. Por exemplo, o IX.br-SP e o IX.br-CE compartilham 434 ASes, o que representa 21% dos ASes de São Paulo e 69% dos de Fortaleza. De forma semelhante, a sobreposição entre o IX.br-SP e o IX.br-RJ é ainda maior. Embora o IX.br-RJ e o IX.br-CE apresentem uma sobreposição considerável com São Paulo, a sobreposição direta entre eles é menor, em torno de 37% e 30%, respectivamente. Além disso, a comparação entre os IXPs brasileiros e seus equivalentes europeus

revela uma sobreposição mínima de ASes membros, geralmente inferior a 10% para os ASes europeus. Entre os IXPs europeus, o AMS-IX e o LINX compartilham um grau maior de sobreposição, com 205 ASes em comum, o que representa 34,8% no AMS-IX e 36,5% no LINX.

4.2.2 ASes Alcançáveis

Ao analisar a sobreposição de ASes alcançáveis, observa-se uma significativa interconexão entre os IXPs brasileiros. O IX.br-SP compartilha 99,1% e 99,54% de seus ASes com o IX.br-CE e o IX.br-RJ, respectivamente, devido a grandes redes como a Hurricane Electric. A sobreposição entre o IX.br-CE e o IX.br-RJ é de 19.948 ASes, representando 94% das redes de ambos.

Em comparação com IXPs europeus, o IX.br-SP compartilha 17.033 ASes com o LINX (57,47%) e 5.823 com o AMS-IX (37,4%). O PIT também mostra uma sobreposição significativa, representando 66,4% dos ASes de São Paulo e 92,73% dos do PIT.

4.2.3 Prefixos Anunciados e Espaço de Endereçamento

A sobreposição de ASes e prefixos nos IXPs impacta o espaço de endereços anunciado. No IPv4, o IX.br-SP cobre 37,61% do espaço alocado ao Brasil, enquanto o IX.br-CE cobre 18,6%. Com 76,44% dos prefixos do IX.br-SP também anunciados no IX.br-CE, conectar-se a ambos oferece ganhos mínimos em cobertura, já que o IX.br-SP fornece a maior parte do espaço alcançável. Para IPv6, o IX.br-SP cobre 72,48% do espaço endereçado, com uma sobreposição quase total com o IX.br-CE (99,76%), indicando que se conectar a ambos não ampliaria significativamente a cobertura.

Comparando o IX.br-RJ e o IX.br-CE, o IX.br-RJ apresenta cobertura ligeiramente maior, apesar de ter menos membros. A sobreposição de prefixos é de cerca de 77% para IPv4 e quase 99% para IPv6. O IX.br-RS, apesar de ter apenas 28.253 prefixos anunciados para IPv4, alcança uma cobertura notável de 13%, próxima à do IX.br-CE, que anuncia 138.740 prefixos.

Na Europa, há uma disparidade no número de prefixos entre o AMS-IX e o LINX, influenciada pela presença de redes importantes em cada IXP. Embora o LINX tenha mais prefixos anunciados, o AMS-IX oferece maior cobertura geográfica relativa, em parte devido às diferenças na alocação de recursos e na infraestrutura de rede entre os Países Baixos e o Reino Unido.

4.3 Engenharia de Tráfego

Nesta subseção, exploramos as propriedades de engenharia de tráfego utilizadas nos IXPs.

4.3.1 Proporção do Espaço de Endereçamento Anunciado

O objetivo é entender se um AS anuncia todo o seu espaço de endereçamento no IXP ou não. Para cada AS membro do IXP, analisamos as rotas originadas e, em seguida, as compararmos com o espaço de endereçamento que o AS está anunciando pela Internet. Para isso, combinamos nosso conjunto de dados de roteamento com o conjunto de dados de mapeamento de prefixes para AS do CAIDA e calculamos a proporção do espaço de endereçamento anunciado no IXP em relação à Internet. Para minimizar o enviesamento, consideramos apenas ASes com pelo menos 10 prefixos anunciados no RS.

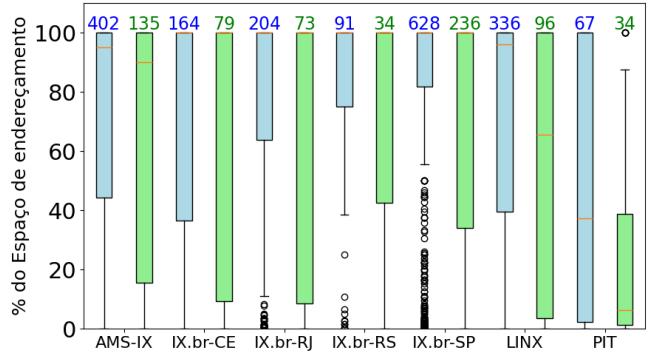


Figura 1. % do espaço de endereçamento anunciado pelos ASes em IXPs. As caixas azuis representam o IPv4 e as caixas verdes representam o IPv6. Os valores superiores indicam o número de ASes analisados.

Observamos na [Figura 1](#) que pelo menos 50% dos ASes anunciam quase a totalidade de seu espaço de endereçamento IPv4 (>96%) no *Route Server*. No IX.br-SP, a maioria dos ASes (75%) compartilha pelo menos 80% de seus endereços com o RS. Em relação ao AMS-IX e ao LINX, identificamos um padrão similar, onde 75% dos ASes anunciam pelo menos 40% de seu espaço de endereçamento. Em contrapartida, no IXP de Fortaleza, a maioria dos ASes anuncia pouco mais de 20% de seu espaço total de endereçamento. Quanto ao IPv6, nos IXPs brasileiros, novamente a maioria dos ASes anuncia todo o seu espaço de endereçamento; no entanto, há uma quantidade maior de ASes que anunciam menos espaço de endereçamento em comparação ao IPv4. Um comportamento semelhante é observado nos IXPs europeus. Com relação ao PIT, seus ASes apresentam um percentual de anúncios mais baixo em comparação aos analisados anteriormente.

4.3.2 Comportamento de Anúncio em Múltiplos IXPs

O objetivo agora é entender se os ASes estão anunciando os mesmos prefixos em ambos os IXPs ou se estão usando alguma técnica de engenharia de tráfego para indicar o IXP preferido. Assim, focamos nos ASes que

estão diretamente conectados a múltiplos IXPs. Para cada par de IXPs, analisamos cada AS que está presente em ambos os IXPs e os classificamos em uma das seguintes categorias: **sem preferência visível**, para ASes que anunciam exatamente os mesmos prefixos em ambos os IXPs; **sempre prefere X**, para ASes que, ao mostrar alguma preferência, preferem o IXP X; e **prefere ambos**, para ASes que, para alguns prefixos, indicam preferência por um IXP e, para outros prefixos, preferem o outro IXP.

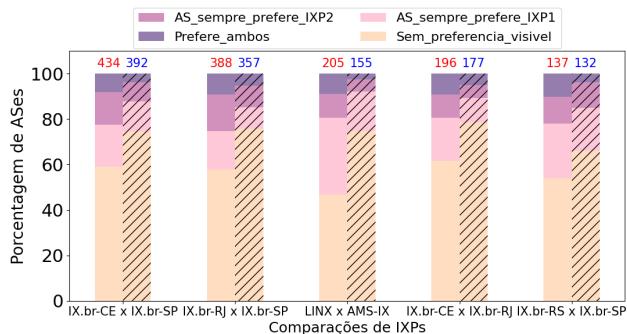


Figura 2. Comportamento de ASes conectados a múltiplos IXPs. Os valores superiores indicam o número de ASes analisados. As barras à direita representam o IPv6.

Observamos que, de modo geral, para IPv4, metade dos ASes não indica preferência entre os IXPs, o que significa que eles anunciam exatamente os mesmos prefixos em ambos os IXPs. Quando indicam preferência, o caso mais comum (e esperado) é que o AS prefira sempre um IXP em detrimento do outro. No entanto, encontramos alguns casos em que o AS indica preferência dependendo do prefixo. Para IPv6, 70% dos ASes conectados a múltiplos IXPs anunciam as mesmas rotas, com a maioria dos casos restantes indicando preferência por um único IXP. Por fim, é interessante notar que, embora o IX.br São Paulo seja o maior IXP, ele não foi o mais preferido pelos ASes conectados a outros IXPs brasileiros. Entre os IXPs europeus, há uma clara preferência por Londres.

4.3.3 Técnicas de Engenharia de Tráfego

Agora, nosso objetivo é entender *quantas e quais* técnicas de engenharia de tráfego (ou seja, AS-Path Prepend, anúncios mais específicos e seletivos) que ASes utilizam para indicar uma preferência por um determinado IXP em vez de outro.

Observamos que, sempre que indicam preferência, os ASes tendem a usar uma única técnica de engenharia de tráfego tanto para IPv4 quanto para IPv6. Também notamos que não há uma preferência clara por uma técnica específica, o que pode indicar que os ASes têm

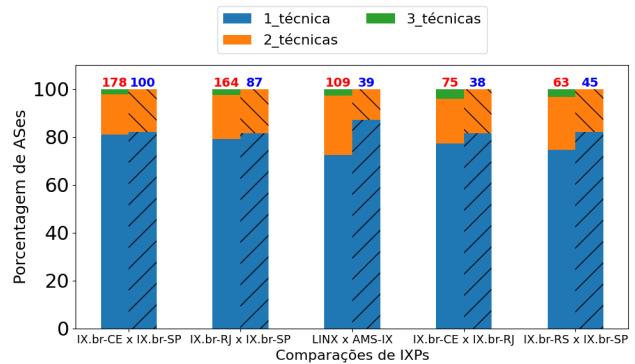


Figura 3. Número de técnicas de engenharia de tráfego utilizadas por ASes. Os valores superiores indicam o número de ASes analisados. As barras à direita representam o IPv6.

diferentes técnicas de engenharia de tráfego favoritas. Por exemplo, os ASes conectados aos IXPs em São Paulo e Rio de Janeiro utilizam predominantemente os anúncios mais específicos para IPv4. Em contrapartida, nos IXPs em Amsterdã e Londres, a técnica mais comum é a de anúncios seletivos. Por fim, identificamos que, ao utilizar mais de uma técnica, os ASes tendem a combinar anúncios mais específicos com uma das outras técnicas.

4.4 Considerações Finais

A engenharia de tráfego desempenha um papel importante na Internet, e isso não é diferente nos IXPs. Nossa pesquisa identificou que, enquanto metade dos ASes tende a anunciar todo o seu espaço de endereçamento no IXP, a outra metade não o faz, indicando o uso de engenharia de tráfego. Além disso, ASes conectados a múltiplos IXPs tendem a anunciar os mesmos prefixos em ambas as localidades e, ao dar preferência para um IXP específico, geralmente utilizam uma única técnica. Nossa agenda de pesquisa inclui expandir o conjunto de IXPs analisados e realizar uma análise longitudinal do uso de TE pelos ASes.

Referências

- 1 Telegeography. *Total International Bandwidth Now Stands at 121.7 Tbps*. 2023. Disponível em: <https://blog.telegeography.com/total-international-bandwidth-now-stands-at-1217-tbps>. Acesso em: 3 mar. 2024.
- 2 Cisco. *Global VNI Forecast Highlights 2021*. 2021. Disponível em: https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights/pdf/Global_2021_Forecast_Highlights.pdf. Acesso em: 3 mar. 2024.
- 3 Ofa, S. *Estimating the Effects of Internet Exchange Points on Fixed-Broadband Speed and Latency*. Technical Report, fev. 2020.

- 4 Ahmed, A. et al. Peering vs. Transit: Performance Comparison of Peering and Transit Interconnections. In: PROCEEDINGS of the 25th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP). Out. 2017. P. 1–10. DOI: [10.1109/ICNP.2017.8117549](https://doi.org/10.1109/ICNP.2017.8117549).
- 5 Society, I. *IXP Tracker*. Out. 2023. Disponível em: <https://pulse.internetsociety.org/en/ixp-tracker/>. Acesso em: 5 mar. 2024.
- 6 Prehn, L. et al. Peering Only? Analyzing the Reachability Benefits of Joining Large IXPs Today. In: PASSIVE and Active Measurement: 23rd International Conference, PAM 2022, Virtual Event, March 28–30, 2022, Proceedings. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2022. P. 338–366. ISBN 978-3-030-98784-8. DOI: [10.1007/978-3-030-98785-5_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-98785-5_15). Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-98785-5_15.
- 7 Brito, S. et al. An Analysis of the Largest National Ecosystem of Public Internet eXchange Points: The Case of Brazil. *Journal of Communication and Information Systems*, v. 31, out. 2016. DOI: [10.14209/jcis.2016.23](https://doi.org/10.14209/jcis.2016.23).
- 8 Chatzis, N.; Smaragdakis, G.; Feldmann, A. On the importance of Internet eXchange Points for today's Internet ecosystem, jul. 2013. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:384168>.
- 9 Marcos, P. et al. AS-Path Prepending: there is no rose without a thorn. In: PROCEEDINGS of the ACM Internet Measurement Conference. Virtual Event, USA: Association for Computing Machinery, 2020. (IMC '20), p. 506–520. ISBN 9781450381383. DOI: [10.1145/3419394.3423642](https://doi.org/10.1145/3419394.3423642). Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3419394.3423642>.
- 10 Chen, Y.; Liu, H.; Wang, H. BGP Selective Prefix Announcements: A Study of Performance and Scalability. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, IEEE, v. 6, n. 2, p. 114–127, 2009. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5118785>.