

# Desempenho de Resolvedores de DNS Públicos: Uma Análise do Estado da Arte

Marcelo A. Silva, Muriel F. Franco, Eder J. Scheid,  
Luciano Zembruzki, Lisandro Z. Granville

Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
{marceloalmeida.silva, mffranco, ejscheid, lzembruzki, granville}@inf.ufrgs.br

**Abstract.** *The Domain Name System (DNS) represents one of the central systems for Internet operation. In this article, we present an analysis of research on the performance measurement of Public DNS Resolvers over the last five years. In this work, we provide an overview of the state of the art of the method for analysis of Public DNS resolvers, thus helping to understand the current state, directions, and opportunities for the research field.*

**Resumo.** *O Sistema de Nomes de Domínio (DNS) representa um dos sistemas centrais para a operação da Internet. Neste artigo, apresentamos uma análise da pesquisa sobre a medição do desempenho de resolvedores públicos de DNS nos últimos cinco anos. Assim, este trabalho fornece uma visão geral do estado da arte sobre os métodos utilizados para análise do desempenho de resolvedores DNS públicos, indicando o estado atual, direções e oportunidades de pesquisa.*

## 1. Introdução

A Internet é um componente essencial para empresas e pessoas, simplificando tarefas e facilitando a comunicação em todo o mundo. O Sistema de Nomes de Domínio (DNS, do Inglês *Domain Names System*) desempenha um papel essencial na Internet, traduzindo nomes de domínio legíveis para humanos em endereços *Internet Protocol (IP)*. O desempenho do DNS é crucial para suprir serviços da Internet, como, por exemplo, o acesso a páginas Web e a localização de arquivos em endereços eletrônicos de forma rápida e intuitiva. Para suprir tais serviços de maneira eficaz, a resolução de domínios podem ser realizados por (i) servidores resolvedores DNS privados, remunerados pelos serviços prestados, garantindo a proteção aos usuários, desempenho e privacidade ou por (ii) Servidores resolvedores DNS públicos, os quais não possuem custos e também entregam um alto grau de segurança e eficiência [Borgolte et al. 2019].

Os servidores de DNS públicos são geralmente fornecidos por grandes provedores da Internet (e.g, Google, Cloudflare e Quad9). Tais provedores oferecem resolução de nomes gratuita e segura, incluindo recursos de segurança para identificar domínios maliciosos [Affinito et al. 2022]. Geralmente, resolvedores públicos apresentam desempenho superior, com tempo de resposta inferior, a DNS privados. No entanto, a crescente centralização de serviços, fluxos de rede e infraestrutura associados a esses provedores preocupa a academia, indústria e sociedade [Zembruzki et al. 2022, Boeira et al. 2023]. Além disso, a terceirização de serviços para provedores de DNS públicos sem medidas eficazes de segurança pode expor os usuários a riscos, afetando negativamente a resolução de nomes em casos de ataques maliciosos, como ataques de amplificação e de negação

de serviço. Portanto, embora ofereçam vantagens, os servidores de DNS públicos exigem uma análise profunda em diferentes aspectos, por exemplo, desempenho e segurança.

Neste trabalho é apresentado um levantamento sobre como as pesquisas que consideram a análise ou aplicação de resolvedores de DNS em diferentes contextos. Como objetivo principal, identificaremos os desafios e oportunidades na literatura atual de desempenho de resolvedores de DNS. Para tal, foi definida uma metodologia de análise do estado da arte baseada em critérios. A análise tem como principal foco as pesquisas relacionadas a medições de desempenho de resolvedores DNS públicos. Como resultado, o trabalho provê uma análise sistemática da literatura na área, elencando os principais esforços, desafios e oportunidades de pesquisas relacionados ao tópico. Além disso, as principais metodologias e métricas de desempenho utilizadas são também discutidas.

Este artigo é organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta os conceitos básicos sobre resolvedores DNS. A Seção 3 descreve a metodologia e os critérios utilizados para análise dos trabalhos. A Seção 4 analisa e discute os resultados encontrados. Por fim, o artigo é concluído e apresenta trabalhos futuros.

## **2. Conceitos de Resolvedores DNS Públicos e Privados**

Os resolvedores de DNS são essenciais para o desempenho da Internet, pois grande parte da comunicação pela Internet começa com uma consulta a eles [Saha et al. 2023]. Existem dois tipos de resolvedores: Privados e Públicos. Os resolvedores de DNS privados são utilizados como um meio de negócios, com diversas empresas (*e.g.*, Akamai, Cloudflare e Quad9) oferecendo a resolução de domínio como serviço com o foco em dispor melhor desempenho ou segurança para os usuários pagantes [Ager et al. 2010].

Os resolvedores DNS públicos conquistaram atualmente um nível de confiança elevado e tornou-se o padrão *de facto* tanto para usuários quanto empresas. Esse tipo de resolvidor é utilizado como uma alternativa gratuita a resolvidores mantidos localmente e com custos inerentes de operação. Além disso, tais resolvidores podem proporcionar um melhor desempenho e disponibilidade que resolvidores menores (*e.g.*, mantidos localmente ou por pequenos provedores) [Saha et al. 2023]. Além disso, servidores de DNS públicos podem auxiliar em diversos aspectos, como contornar medidas de censura e aumentar a segurança na resolução de domínios [Zembruzki et al. 2022]. A importância de resolvidores de DNS públicos é ressaltada na literatura. Por exemplo [Radu e Hausding 2020] revela que mais de 50% das consultas de DNS são realizadas por resolvidores de DNS públicos, assim, destacando a sua popularidade e aceitação.

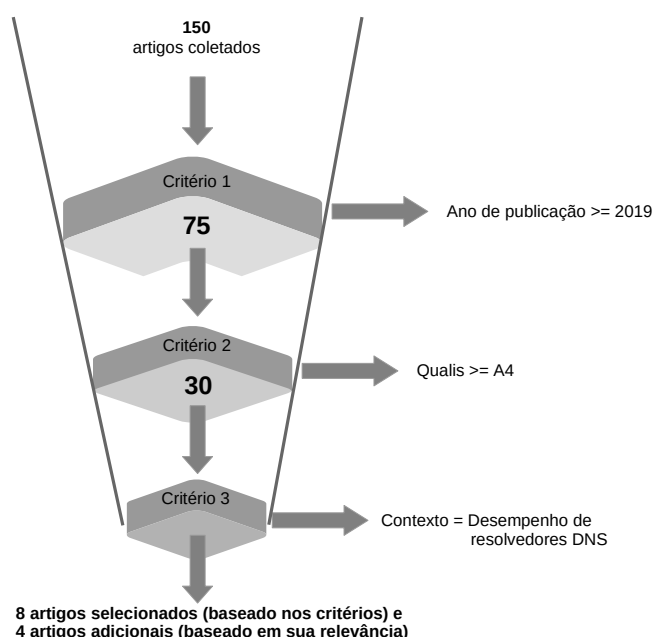
## **3. Metodologia**

Este trabalho tem como foco analisar os principais trabalhos focados em desempenho de resolvidores DNS públicos, entendendo assim suas aplicações, desafios e oportunidades de pesquisa. Para tal, a metodologia de análise foi definida em três etapas: *(i)* Definição das palavras-chave e base de dados para buscas de trabalhos, *((ii)* Definição dos critérios de inclusão baseado nos artigos coletados e *(iii)* Identificar e analisar artigos relevantes definidos com base nos critérios do item *(ii)*.

Na primeira etapa, definimos as seguintes palavras-chave para busca: *Domain name system, DNS resolvers, Public DNS resolvers e Performance of Public DNS Resolvers*. Após, buscas foram realizadas, utilizando a combinação dessas palavras-chave. As

base de dados utilizadas foram a ACM Digital Library, IEEE eXplore e Google Scholar. Tais bases foram definidas devido à qualidade dos trabalhos publicados (ou seja, revisado por pares) e também por indexarem grande quantidade de trabalhos científicos. Para cada artigo resultante da busca foi feita uma verificação a fim de assegurar sua relevância para o domínio deste estudo. Após, foram aplicados diferentes critérios de inclusão dos trabalhos coletados.

O *Critério 1* inclui apenas artigos que foram publicados a partir de 2019 (ou seja, últimos 5 anos). No *Critério 2* são selecionados apenas artigos publicados em conferências ou revistas de alto impacto baseado no sistema Qualis CAPES<sup>1</sup>. Após, são selecionados apenas os artigos que tem como contexto e foco principal o desempenho de resolvedores DNS.



**Figura 1. Etapas da Pesquisa**

A abordagem proposta é apresentada na Figura 1, incluindo a quantidade de artigos analisadas e a filtragem utilizando os critérios definidos. No topo da figura, temos o total de 150 artigos identificados na literatura. Após aplicar todos os critérios definidos, foram selecionados 8 artigos para serem analisados de forma mais profunda. Além disso, 4 artigos excluídos devido aos critérios aplicados foram reconsiderados e adicionados devido a sua alta relevância para o escopo do trabalho. Assim, tais artigos foram incluídos na lista e analisados de forma independente dos critérios, totalizando 12 artigos mapeados e analisados.

Com base nos artigos selecionados, é possível entender as diferentes motivações e esforços de pesquisas sobre medição do desempenho de resolvedores de DNS, bem como traçar desafios e oportunidades de pesquisas futuras. O restante deste trabalho foca em

<sup>1</sup><https://www.gov.br/capes/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/avaliacao/avaliacao-quadrinial/metodologia-do-qualis-referencia-quadrinio-2017-2020>

analisar os resultados e contribuir para o entendimento da área de pesquisa em desempenho de resolvedores DNS.

#### 4. Análise e Resultados

A análise dos métodos de avaliação de resolvedores DNS públicos revela complexidades e oportunidades na análise de desempenho e segurança. Essa análise incentiva melhorias contínuas no desempenho desses resolvedores, visando beneficiar usuários, pesquisadores e operadores de rede. Na Tabela 1, há uma comparação dos trabalhos avaliados, considerando cinco características, incluindo protocolos e métricas predominantes.

**Tabela 1. Comparação dos Trabalhos sobre Desempenho de DNS**

Trabalho	Descrição	Protocolo DNS	Métricas Analisada	# de Resolvedores	Datasets das Medições	Medições Distribuídas
[Borgolte et al. 2019]	Análise centralizada da performance de DoH e DNS local em rede universitária	Do53, DoT, DoH	Tempo de pesquisa do usuário, Tempo de carregamento de página Web	4	Privado	Não
[Hounsel et al. 2020]	Análise da performance dos protocolos DNS e criptografia através do carregamento de páginas Web	Do53, DoT, DoH	Tempo de carregamento de página Web, Tempo de resposta da consulta DNS	3	Público	Sim
[Doan et al. 2021]	Análise da performance de servidores DNS utilizando sondas RIPE	Do53	Tempo de resposta da consulta DNS	10	Público	Sim
[Chhabra et al. 2021]	Análise da performance da rede BrightData para comparar DNSSEC com DNS padrão	DoH, Do53, DNSSEC	Tempo de resposta de carregamento de página Web	4	Público	Sim
[Affinito et al. 2022]	Análise da performance de servidores DNS em domínios e o impacto sobre carregamento de página Web	Do53, DoH	Tempo de resposta da consulta DNS, Tempo de resposta de carregamento de página Web	5	Público	Não
[Kosek et al. 2022]	Análise da performance dos protocolos DNS em carregamento de página Web	DoT, DoH, Do53, DoTCP, DoQ	Tempo de carregamento de página Web	Centenas	Privado	Sim
[PerfOps 2023]	DNSPerf é uma ferramenta Web que testa a latência de mais +200 servidores globais	Do53	Tempo de resposta da consulta DNS	Centenas	Privado	Sim
[Bhowmick et al. 2023]	Análise da performance de servidores DNS que violam TTL na rede BrightData	DNSSEC e DoH	Tempo de resposta da consulta DNS	Milhares	Público	Sim

DNS-over-Port 53 (Do53), DNS-over-TLS (DoT), DNS-over-TCP (DoTCP), DNS-over-QUIC (DoQ)

Em suma, foram analisados 8 artigos selecionados baseados nos critérios definidos e 4 artigos adicionais baseados em sua relevância. A primeira análise se concentra na avaliação do desempenho realizada usando os protocolos DNS, conforme demonstrado no estudo de [Borgolte et al. 2019]. Além disso, investigações de desempenho são conduzidas usando o protocolo *DNS Security (DNSSEC)*, com um foco na experiência do usuário final ao acessar páginas da Web, como abordado no por [Hounsel et al. 2020].

Diversos estudos avaliam o impacto do protocolo DNS no carregamento de páginas web, exemplificado em [Affinito et al. 2022]. O desempenho com o protocolo *Quick UDP Internet Connections (QUIC)* também é analisado, como visto em [Kosek et al. 2022]. A segurança e análises de desempenho relacionadas são discutidas em [Chhabra et al. 2021], bem como questões envolvendo o *Time-To-Live (TTL)*, exploradas em [Bhowmick et al. 2023]. Outros estudos abordam o desempenho em relação ao tempo de resposta dos resolvedores DNS públicos, usando sondas RIPE Atlas para confiabilidade e segurança, conforme [Doan et al. 2021]. Além disso, ferramentas comerciais como o *Performance DNS (DNSPerf)* [PerfOps 2023] realizam testes de latência para avaliar o desempenho.

Os trabalhos adicionais também são relevantes para entender o estado da arte. Em [Ager et al. 2010], há uma comparação de resolvedores DNS locais que avalia a ca-

pacidade de resposta e o impacto na latência do resolvidor e do cache DNS. Em outro estudo, [Otto et al. 2012] analisou como o uso de serviços DNS remotos afeta o desempenho das *Content Delivery Network (CDN)*. Em outro trabalho, [Rula e Bustamante 2014] investigou o desempenho dos resolvidores DNS em redes celulares nos EUA e Coreia do Sul, revelando desafios na localização de clientes devido à opacidade da rede e desacordos. Neste estudo, os autores realizaram um experimento com mais de 340 dispositivos, onde foi constatado que, em 75% das vezes, o tempo de resposta em redes celulares se igualou ou superou o de redes tradicionais. Por fim, [Hours et al. 2016] avaliou o impacto no desempenho de downloads ao usar o DNS do provedor de Internet versus o DNS público do Google.

Com base na análise da literatura, é possível observar um interesse crescente sobre as implicações em questões de desempenho e segurança, como, por exemplo, os impactos do *DNS-over-HTTPS (DoH)* no desempenho e privacidade. Diversos estudos têm focado na medição da variação dos tempos de resposta de resolvidores DNS públicos. Alguns estudos demonstram que em certas regiões, como África e América do Sul, os resolvidores públicos têm tempos de resposta mais longos. As análises também variam em definir quais resolvidores possuem o melhor desempenho geral, visto que diversos atributos devem ser considerados, como, por exemplo, a geolocalização, políticas de segurança implementadas e o tempo de resposta. Além disso, a centralização de resolvidores DNS e seus potenciais impactos na privacidade do usuário e na soberania digital de nações [Zembruzki et al. 2022, Boeira et al. 2023] também é analisado e discutido.

## 5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste artigo, conduzimos uma pesquisa visando analisar estudos relacionados aos resolvidores DNS públicos a partir de várias perspectivas. Para isso, revisamos a literatura mais recente sobre o tema, com o intuito de identificar e listar suas principais características, tais como os protocolos, métricas, resolvidores e conjuntos de dados utilizados nas pesquisas. A metodologia para a seleção dos trabalhos analisados empregou diversos critérios de inclusão (*cf.* Figura 1).

A análise considerou os métodos de análise empregados nas pesquisas relacionadas ao desempenho de resolvidores DNS públicos. Assim, identificamos que diversos trabalhos utilizam pontos geo-distribuídos para a análise de desempenho e que tópicos como segurança e desempenho são crescentes alvos de pesquisa, pois resolvidores DNS exercem um papel crucial para o acesso a recursos da Internet.

Como trabalho futuro, pretendemos propor uma abordagem geo-distribuída para análise do efeito da popularidade de domínios no tempo de resposta de resolvidores DNS públicos. Assim, será possível entender o desempenho em diferentes regiões do planeta e também a variação no tempo de resposta de resolução de domínios mais e menos acessados por região (ou seja, popularidade).

## Referências

Affinito, A., Botta, A., e Ventre, G. (2022). Local and Public DNS Resolvers: Do You Tradeoff Performance Against Security? In *IFIP Networking Conference (IFIP Networking)*, pages 1–9. IEEE.

- Ager, B., Mühlbauer, W., Smaragdakis, G., e Uhlig, S. (2010). Comparing DNS Resolvers in the Wild. In *Proceedings of the 10th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pages 15–21.
- Bhowmick, P., Ashiq, M. I., Deccio, C., e Chung, T. (2023). TTL Violation of DNS Resolvers in the Wild. In *International Conference on Passive and Active Network Measurement*, pages 550–563. Springer.
- Boeira, D. F., Scheid, E. J., Franco, M. F., Zembruzki, L., e Granville, L. Z. (2023). Traffic Centralization and Digital Sovereignty: An Analysis Under the Lens of DNS Servers.
- Borgolte, K., Chattopadhyay, T., Feamster, N., Kshirsagar, M., Holland, J., Hounsel, A., e Schmitt, P. (2019). How DNS over HTTPS is Reshaping Privacy, Performance, and Policy in the Internet Ecosystem. In *47th Research Conference on Communication, Information and Internet Policy*.
- Chhabra, R., Murley, P., Kumar, D., Bailey, M., e Wang, G. (2021). Measuring DNS-over-HTTPS Performance around the World. In *21st ACM Internet Measurement Conference*, pages 351–365.
- Doan, T. V., Fries, J., e Bajpai, V. (2021). Evaluating Public DNS Services in the Wake of Increasing Centralization of DNS. In *IFIP Networking Conference (IFIP Networking 2021)*, pages 1–9, Espoo, Finland.
- Hounsel, A., Borgolte, K., Schmitt, P., Holland, J., e Feamster, N. (2020). Comparing the Effects of DNS, DoT, and DoH on Web Performance. In *The Web Conference*, pages 562–572.
- Hours, H., Biersack, E., Loiseau, P., Finamore, A., e Mellia, M. (2016). A Study of the Impact of DNS Resolvers on CDN Performance using a Causal Approach. *Computer Networks*, 109:200–210.
- Kosek, M., Schumann, L., Marx, R., Doan, T. V., e Bajpai, V. (2022). DNS Privacy with Speed? Evaluating DNS over QUIC and its Impact on Web Performance. In *22nd ACM Internet Measurement Conference*, pages 44–50.
- Otto, J. S., Sánchez, M. A., Rula, J. P., e Bustamante, F. E. (2012). Content delivery and the natural evolution of dns: remote dns trends, performance issues and alternative solutions. In *Internet Measurement Conference*, pages 523–536.
- PerfOps (2023). DNSPERf - DNS Performance Analytics and Comparison. <https://www.dnsperf.com>.
- Radu, R. e Hausding, M. (2020). Consolidation in the dns resolver market—how much, how fast, how dangerous? *Journal of Cyber Policy*, 5(1):46–64.
- Rula, J. P. e Bustamante, F. E. (2014). Behind the Curtain: Cellular DNS and Content Replica Selection. In *Conference on Internet Measurement Conference*, pages 59–72.
- Saha, S., Karapoolaa, S., Rebeiro, C., e Kamakoti, V. (2023). YODA: Covert Communication Channel over Public DNS Resolvers. In *Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN)*, pages 252–260. IEEE.
- Zembruzki, L., Jacobs, A. S., e Granville, L. Z. (2022). On the Consolidation of the Internet Domain Name System. In *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2022)*, pages 2122–2127. IEEE.