

## Uso eBPF em Redes 5G: Um Estudo de Mapeamento Sistemático Assistido por IA

José Silvestre da Silva Galvão (IFPB, Campus João Pessoa), Ruan Delgado Gomes (IFPB, Campus João Pessoa) e Leandro C. de Almeida (IFPB, Campus João Pessoa)

**E-mails:** silvestre.galvao@academico.ifpb.edu.br, ruan.gomes@ifpb.edu.br e leandro.almeida@ifpb.edu.br.

**Área de conhecimento:(Tabela CNPq):** 1.03.03.04-9 Sistemas de Informação.

**Palavras-Chave:** Mapeamento Sistemático, Inteligência Artificial, eBPF, 5G.

### 1 Introdução

A evolução das redes de computadores tem exigido soluções de monitoramento cada vez mais eficientes para garantir desempenho, segurança e confiabilidade. Nesse cenário, o *extended Berkeley Packet Filter* (eBPF) surge como uma tecnologia que permite a execução segura e eficiente de programas diretamente no espaço de *kernel*, sem modificações no código-fonte ou reinicialização do sistema (RICE, 2023).

Recentemente, têm-se observado o interesse da comunidade científica no uso de tecnologias como o eBPF no contexto das redes 5G (GALLEGO-MADRID et al., 2024; SOLDANI et al., 2023; AMARAL et al., 2021). Apesar do interesse, não se tem conhecimento de uma visão consolidada sobre como está sendo moldado o estado da arte, o que dificulta a identificação de lacunas, tendências e oportunidades de pesquisa.

Diante dessa lacuna, este trabalho apresenta um estudo de mapeamento sistemático com foco na aplicação do eBPF em redes 5G, abrangendo casos de uso como monitoramento, gerenciamento e segurança. Para conduzir a análise de forma eficiente, o processo de triagem dos artigos foi assistido por ferramentas de Inteligência Artificial (IA), a qual apoia-se no uso de *Large Language Models* (LLMs), aplicados nas etapas iniciais do protocolo de pesquisa.

Resultados preliminares indicam que a integração de LLMs acelera o processo inicial de análise dos artigos, auxiliando e automatizando o processo de inclusão/exclusão de trabalhos. As contribuições deste estudo são as seguintes: *i*) uma integração de LLMs para automatizar as fases iniciais de um estudo de mapeamento; *ii*) uma análise profunda do estado da arte acerca das publicações científicas sobre o uso do eBPF em redes 5G.

Este artigo está estruturado da seguinte forma. Na Seção 2 estão descritos os materiais e métodos utilizados. Os resultados obtidos a partir de uma experimentação está demonstrado na Seção 3. Por fim, na Seção 4 temos as considerações finais.

### 2 Materiais e Métodos

O estudo de mapeamento sistemático utilizado neste trabalho seguiu o método definido em (PETERSEN et al., 2008), o qual define as seguintes etapas: *i*) definição dos engenheiros de busca; *ii*) construção e refinamento da *string* de busca; *iii*) resgate dos trabalhos indexados; *iv*) submissão dos trabalhos indexados aos critérios de inclusão/exclusão; *v*) classificação dos trabalhos incluídos segundo uma taxonomia utilizada.

Na fase inicial de um estudo de mapeamento sistemático, o pesquisador enfrenta um esforço considerável nas atividades de triagem dos trabalhos coletados. Nessa etapa, os estudos são catalogados e recuperados (*download*) a partir de mecanismos de busca especializados. Além disso, cada trabalho passa por uma avaliação preliminar com base em um conjunto de critérios de inclusão e exclusão, sendo realizada uma leitura em diagonal dos elementos mais relevantes: título, resumo e conclusões. Dependendo do contexto, essa tarefa pode se tornar particularmente desafiadora devido ao grande volume de artigos indexados nas bases de dados.

Conforme mencionado anteriormente, este trabalho utilizou IA através de LLMs para acelerar as fases iniciais do protocolo de pesquisa, como discutido inicialmente em (MACIEL; ANDRADE, 2025).

Neste sentido, os engenhos de busca definidos foram IEEE Xplore, Scopus e Science Direct, pois são bases cujo acesso é liberado pela plataforma do Periódico CAPES. Para indexar os trabalhos nas plataformas, uma *string* de busca foi elaborada, conforme Tabela 1. Os dados retornados das bases foram exportados em formato

Tabela 1: *String* de busca utilizada para as pesquisas nas bases de dados.

<i>String</i> de Busca
("eBPF" OR "extended Berkeley Packet Filter") AND ("5G" OR "fifth generation" OR "NR" OR "New Radio" OR "6G" OR "sixth generation" OR "next generation networks")

CSV (*Comma Separated Values*) e, posteriormente, submetidos a uma implementação em Python, que utilizou a API (*Application Programming Interface*) do ChatGPT, na versão 4.1 mini. O código e a lista de artigos estão disponíveis no GitHub. A seleção primária dos artigos foi feita utilizando esta API, baseada nos seguintes critérios: *i*) publicações duplicadas entre bases de dados; *ii*) estudos que não abordam explicitamente a aplicação do eBPF em redes móveis (5G, B5G ou 6G); *iii*) artigos que não sejam científicos e que não sejam revisados por pares; *iv*) estudos que não sejam primários; *v*) artigos que não sejam completos (*full paper*); *vi*) artigos que tenham mais de 5 anos de publicação; e *vii*) artigos com idiomas que não sejam em Inglês.

Neste sentido, o código em python invocou a API do ChatGPT para realizar a inclusão/exclusão dos artigos a partir da leitura do título, palavras-chave, ano de publicação e *abstract* dos artigos. A partir disso, foram classificados como SIM, quando o trabalho deveria ser incluído, ou NÃO, quando deveria ser excluído. Além disso, a LLM retornou a justificativa para a decisão tomada.

Na segunda etapa, foi realizada uma análise para avaliar a classificação da LLM, na qual se observou a justificativa dada e a partir disso, decidiu-se manter ou não a decisão tomada anteriormente. O processo final de classificação foi armazenado em uma planilha, o que possibilitou realizar a categorização dos artigos e extrair dados importantes para a pesquisa. A taxonomia utilizada para categorizar o tipo de pesquisa aplicada nos artigos foi baseada em (PETERSEN et al., 2008). As características são descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Tipos de pesquisa e suas características baseada em (PETERSEN et al., 2008).

Categoria	Descrição
Pesquisa de Validação	As técnicas investigadas são inovadoras e ainda não foram implementadas na prática.
Pesquisa de Avaliação	As técnicas são aplicadas na prática e é realizada uma avaliação da técnica. Isso significa que é mostrada como a técnica é implementada e quais as consequências da sua implementação.
Proposta de Solução	É proposto uma solução para um problema, que pode ser nova ou a extensão de um problema existente. Os benefícios e a aplicabilidade da solução são demonstrados por meio de um pequeno exemplo ou uma linha de argumentação.

### 3 Resultados e Discussão

Como resultado da submissão da *string* de busca as bases de dados, foram retornados um total de 182 artigos. Primeiramente, foi feita a exclusão dos artigos duplicados. Como resultado, foi obtida uma planilha com 157 artigos, ou seja, 25 artigos foram excluídos nessa fase. Em seguida, foi realizada a classificação com a API do ChatGPT com a análise manual para identificar possíveis inconsistências na classificação da IA e foi obtido um conjunto de 24 artigos que fazem parte dos resultados da pesquisa.

Para a primeira questão de pesquisa, buscou-se conhecer a distribuição da quantidade de artigos publicados ao longo dos anos. A Figura 1(a) apresenta que a primeira pesquisa relacionada ao tema foi publicada em 2021.

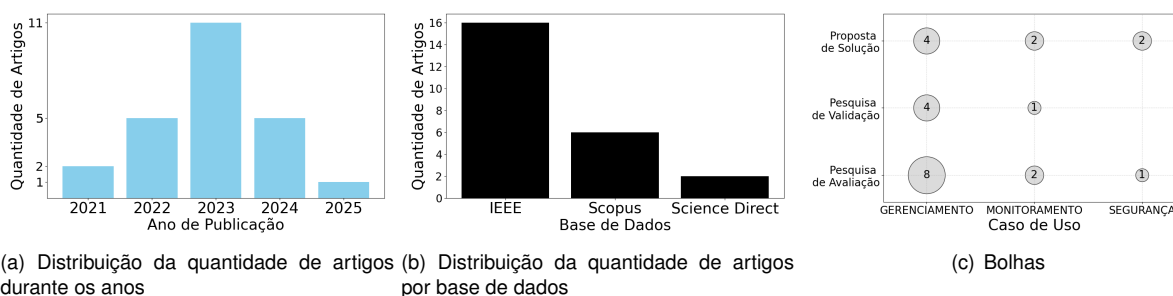


Figura 1: Resultados.

Enquanto 2023 foi o ano em que houve o maior número de pesquisas no campo, com um total de 11 artigos. Estes dados indicam que existe um interesse recente da comunidade científica acerca do tema.

A Figura 1(b) apresenta os resultados relacionados à quantidade de artigos publicados por base de dados, respondendo à questão de pesquisa proposta. Observa-se que a base IEEE Xplore foi a que mais concentrou publicações, totalizando 16 artigos. Em seguida, aparecem as bases Scopus e Science Direct, com 6 e 2 artigos, respectivamente. Esses dados indicam que há uma maior probabilidade de encontrar artigos que abordem o uso do eBPF em redes 5G na base IEEE Xplore.

Por fim, a Figura 1(c) responde à pergunta sobre os casos de uso e os tipos de pesquisas aplicadas nos artigos. O gráfico de bolhas mostra no eixo X o caso de uso do eBPF, o eixo Y mostra o tipo de estudo utilizado e as bolhas a quantidade de estudos que se relacionam com o eixo X e Y. A partir desse gráfico é possível entender que alguns campos são menos explorados do que outros. Segurança é um campo que foi pouco explorado, apesar de ser uma preocupação recorrente em redes 5G. O gerenciamento em redes 5G com o uso do eBPF está sendo muito explorado e tem uma maior concentração em avaliar soluções.

#### 4 Considerações Finais

Essa pesquisa apresentou um mapeamento sistemático assistido por IA, com o objetivo de identificar quantitativamente trabalhos na área de 5G que fazem o uso do eBPF para monitoramento, gerenciamento e segurança. Os resultados apresentados mostram que esse campo de pesquisa está sendo explorado nos últimos anos, mas ainda há lacunas que podem ser exploradas.

#### Referências

- AMARAL, T. A. N. do et al. An in-kernel solution based on xdp for 5g upf: Design, prototype and performance evaluation. In: *2021 17th International Conference on Network and Service Management (CNSM)*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 146–152.
- GALLEGO-MADRID, J. et al. Fast traffic processing in multi-tenant 5g environments: A comparative performance evaluation of p4 and ebpf technologies. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, v. 52, p. 101678, 2024. ISSN 2215-0986.
- MACIEL, V. M. B. C.; ANDRADE, W. L. Code comprehension for novice students: Teaching, assessment, tools, and challenges. In: *Frontiers in Education Conference*. [S.l.: s.n.], 2025.
- PETERSEN, K. et al. Systematic mapping studies in software engineering. *Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, v. 17, 06 2008.
- RICE, L. *Learning eBPF: Programming the Linux Kernel for Enhanced Observability, Networking, and Security*. 1. ed. [S.l.]: O'Reilly Media, 2023. ISBN 978-1-098-13512-6.
- SOLDANI, D. et al. ebpf: A new approach to cloud-native observability, networking and security for current (5g) and future mobile networks (6g and beyond). *IEEE Access*, v. 11, p. 57174–57202, 2023.