

# Coleta e Visualização de KPIs em Redes 5G Privativas Utilizando Ferramentas *Open Source*

Maria da C. Z. B. Patricio, Rilbert L. da Silva, Michel C. Dias, Ruan D. Gomes

**Resumo**— Este trabalho propõe uma arquitetura de rede 5G privativa e uma plataforma de monitoramento para aplicações industriais, baseada nas soluções Open5GS, OAI5G, Prometheus e Grafana. Foram monitorados KPIs (Indicadores-Chave de Desempenho) como BLER (Taxa de Erro de Bloco), RSRP (Potência do Sinal de Referência Recebido), *throughput*, sessões na interface N4 (interface de sinalização entre SMF e UPF) e latência ponta a ponta (medida via RTT). O cenário incluiu um rádio USRP B210 e o OAI5G como RAN (Rede de Acesso por Rádio). A unidade de usuário foi uma *Raspberry Pi* equipada com a placa de rede *Quectel RM520N-GL*.

**Palavras-Chave**— 5G Privativa, KPIs, Monitoramento.

**Abstract**— This work proposes a private 5G network architecture and a monitoring platform for industrial applications, based on the Open5GS, OAI5G, Prometheus, and Grafana solutions. Key Performance Indicators (KPIs) such as BLER (Block Error Rate), RSRP (Reference Signal Received Power), *throughput*, sessions on the N4 interface (signaling interface between SMF and UPF), and end-to-end latency (measured via RTT) were monitored. The scenario included a USRP B210 radio and OAI5G as the RAN (Radio Access Network). The user equipment was a *Raspberry Pi* equipped with the *Quectel RM520N-GL* network module.

**Keywords**— Private 5G, KPIs, Monitoring.

## I. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 requer redes avançadas capazes de assegurar conectividade ubíqua, baixa latência, alta confiabilidade e suporte massivo a dispositivos, viabilizando aplicações como controle em tempo real, automação, robótica e monitoramento inteligente. Neste contexto, as redes 5G privativas surgem como uma solução estratégica, oferecendo maior controle sobre a infraestrutura e adaptabilidade [1]. Uma rede 5G privativa (ou não pública) é uma infraestrutura celular dedicada, operada por uma organização para uso próprio. Ela proporciona controle granular sobre aspectos como cobertura, segurança, qualidade de serviço e personalização para aplicações específicas, diferenciando-se de redes públicas operadas por provedores tradicionais. Essa característica possibilita atender a demandas de setores como a Indústria 4.0, com requisitos rigorosos de latência, confiabilidade e disponibilidade. Para

garantir desempenho adequado, torna-se essencial a observabilidade contínua por meio de indicadores-chave de desempenho (KPIs), conforme definido pela norma ETSI TS 128 554 [2].

No cenário nacional, destaca-se a iniciativa da WEG em conjunto com o OpenLab 5G, que implementou uma rede 5G privativa para aplicações industriais, avaliando parâmetros como latência, *throughput* e qualidade do sinal em ambientes produtivos reais [3]. Tais resultados evidenciam o potencial das redes 5G privativas para atender aos requisitos críticos da Indústria 4.0, além de reforçarem a importância de arquiteturas abertas e soluções *open source* para viabilizar a observabilidade e o monitoramento contínuo da infraestrutura.

Além dessa experiência prática, a da WEG em parceria com o OpenLab 5G, diversos estudos na literatura têm investigado formas de coletar, analisar e prever métricas em redes 5G. Os trabalhos descritos em [4] e [5] discutem KPIs relevantes para verticais de mídia e monitoramento autônomo. Em relação às redes com fatiamento, o artigo [6] propõe arquiteturas que incorporam observabilidade nativa. Abordagens com inteligência artificial focadas em anomalias e otimização via *Network Data Analytics Function* são discutidas em [7], [8] e [9].

Este trabalho busca preencher a lacuna de metodologias práticas para coletar e visualizar KPIs em redes 5G privativas industriais usando soluções *open source*. Propõe e avalia uma arquitetura integrada baseada em Open5GS, OAI5G, Prometheus e Grafana, demonstrando sua aplicação para observabilidade contínua voltada à Indústria 4.0. O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção II descreve a metodologia, a Seção III apresenta os resultados e a Seção IV traz as conclusões.

## II. METODOLOGIA

A arquitetura proposta utiliza uma rede 5G privativa modular em contêineres Docker orquestrados via *docker-compose*. A pilha emprega o repositório *docker-open5gs* [10], com funções AMF, SMF e UPF em contêineres isolados numa máquina virtual. A RAN é composta por uma unidade de rádio USRP B210 operando com o *software* OpenAirInterface 5G (OAI5G) [11]. O *User Equipment* (UE) é uma *Raspberry Pi* equipada com o módulo *Quectel RM520N-GL*, conectando-se à rede 5G e enviando tráfego de dados para a UPF. A Figura 1 ilustra a topologia e o fluxo de comunicação entre os componentes.

A coleta de métricas foi realizada pelo Prometheus [12], configurado para varreduras a cada 5 segundos, com as funções do Open5GS expondo métricas na porta 9091. Um exporter em Python capturou dados da interface *ogstun* da UPF, viabilizando a visualização do tráfego GTP-U. O Grafana [13] foi

Maria da C. Z. B. Patricio é discente de Graduação em Engenharia Elétrica do IFPB, Campus João Pessoa, e-mail: maria.conceicao@academico.ifpb.edu.br. Rilbert L. da Silva é discente do Mestrado em Engenharia Elétrica do IFPB (PPGEE), Campus João Pessoa, e-mail: rilbert.lima@academico.ifpb.edu.br; Michel C. Dias é professor da unidade acadêmica de indústria do IFPB, Campus João Pessoa. Ruan D. Gomes é professor do PPGEE e do PPGTI no IFPB, Campus João Pessoa, e-mails: {michel.dias, ruan.gomes}@ifpb.edu.br. Este trabalho é apoiado pela EMBRAPA (BFA 2301.0001) e pelas empresas Cisco, Prysmian e MPT Cable. Os autores também agradecem ao CPQD, Inatel, Taggen, Data Machina, CNPq (305536/2021-4), IFPB e ao Polo de Inovação do IFPB.

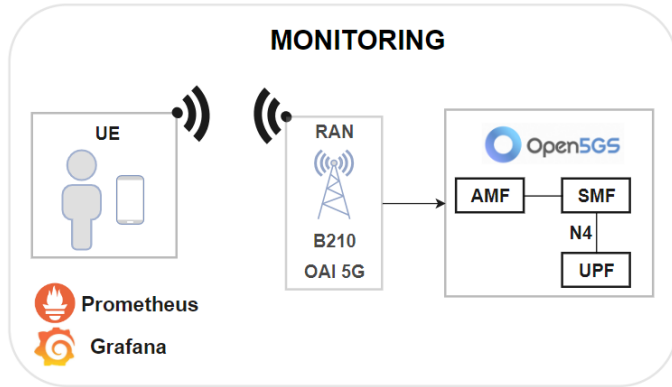


Fig. 1. Topologia da arquitetura 5G privativa implementada. O fluxo parte do Equipamento de Usuário (UE), passando pela RAN com a RU USRP B210 e OAI5G, seguindo para o núcleo 5G implementado com Open5GS (AMF, SMF, UPF), e finalizando no sistema de monitoramento baseado em Prometheus e Grafana, todos encapsulados em ambiente baseado em contêineres Docker.

utilizado para exibir dashboards com métricas como sessões PDU, BLER, RSRP, *throughput* e dados da interface N4.

Além das métricas já mencionadas, foi incluída a latência de comunicação como parâmetro essencial para avaliação do desempenho da rede 5G em cenários industriais. Para isso, foi desenvolvido um exporter Prometheus customizado em Python, o qual realiza medições periódicas de *Round-Trip Time* (RTT) entre o núcleo da rede e o Equipamento de Usuário (UE), utilizando o protocolo ICMP (*Internet Control Message Protocol*). A métrica é exposta via HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) na forma de séries temporais, sendo coletada pelo Prometheus e visualizada no Grafana. Essa abordagem permite o monitoramento contínuo da latência ponta a ponta (Core-UE), fornecendo uma estimativa precisa da responsividade da rede.

Os KPIs escolhidos neste trabalho seguem a norma ETSI TS 128 554, mas foram também definidos para atender às demandas específicas da Indústria 4.0, que exige comunicação confiável, previsível e em tempo real. O BLER foi selecionado por permitir monitorar a qualidade e a integridade do enlace rádio, aspecto crítico para ambientes industriais sujeitos a interferências ou obstáculos físicos. O RSRP fornece informações sobre a cobertura e a robustez do sinal, garantindo conectividade mesmo em áreas complexas de uma planta fabril. O *throughput* na interface N3 reflete a capacidade da rede para suportar aplicações sensoriais, transmissões intermitentes e controle distribuído. Já a latência ponta a ponta é fundamental para aplicações de controle em tempo real, como linhas de produção robotizadas e sistemas de segurança. Dessa forma, a escolha desses KPIs está diretamente alinhada aos requisitos da Indústria 4.0, permitindo que a solução proposta ofereça visibilidade prática e direcionada para o ajuste e a garantia da qualidade de serviço em redes 5G privadas.

### III. RESULTADOS E ANÁLISE DE MÉTRICAS

Nesta seção são apresentados os principais indicadores coletados nos testes da rede 5G privativa para aplicações industriais. As métricas — BLER, RSRP, latência e *throughput* — são fundamentais para garantir confiabilidade, cobertura e desempenho exigidos pela Indústria 4.0.

As Figuras 2 e 3 mostram a *Block Error Rate* (BLER) em downlink e uplink, com médias de **0,0423%** e **0,0994%**, respectivamente, ambas dentro dos limites definidos pela 3GPP [14]. Esses valores baixos asseguram integridade no enlace rádio, fundamental para aplicações industriais de controle sensível ao tempo.

A Figura 4 apresenta o *Reference Signal Received Power* (RSRP), cuja variação reflete o comportamento típico em ambientes fabris, com interferências, barreiras físicas e zonas de sombra que afetam a recepção do sinal. Os valores muito baixos indicam degradação significativa da cobertura, enquanto leituras em 0 dBm sugerem perda de ancoragem do UE com a estação base ou falhas pontuais de decodificação do sinal de referência. Essa métrica é essencial para identificar áreas críticas de cobertura e apoiar o planejamento e ajuste fino da rede em cenários industriais.

A latência ponta a ponta, na Figura 5, variou de **2,69 ms** a **661 ms**, com média de **54,0 ms**. Embora a média seja adequada para muitas aplicações industriais, os picos ressaltam a importância de monitoramento contínuo para detectar e mitigar eventos que possam comprometer controle em tempo real.

As Figuras 6 e 7 apresentam o *throughput* na interface N3. No *downlink*, picos de **6,5 MB/s** são consistentes com demandas intermitentes de atualização ou supervisão. No *uplink*, tráfego contínuo em torno de **48 MB/s** reflete aplicações sensoriais e sistemas de monitoramento que enviam dados constantes ao núcleo da rede.

De forma geral, os resultados evidenciam a viabilidade e o potencial da arquitetura para aplicações industriais. O monitoramento contínuo de KPIs como BLER, RSRP, *throughput* e latência oferece visão detalhada do desempenho da rede, permitindo identificar gargalos, ajustar parâmetros e garantir a confiabilidade exigida pela Indústria 4.0. Essa observabilidade em tempo real apoia decisões estratégicas e ajustes proativos para manter a qualidade de serviço em ambientes fabris complexos, destacando o uso de ferramentas open source como solução acessível e flexível para diferentes cenários.

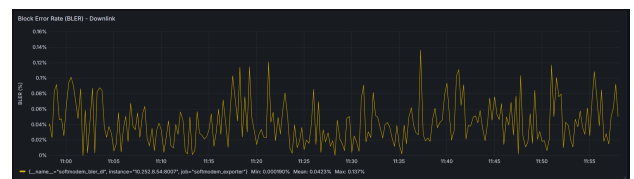


Fig. 2. Taxa de erro de bloco (BLER) no downlink.



Fig. 3. Taxa de erro de bloco (BLER) no uplink.

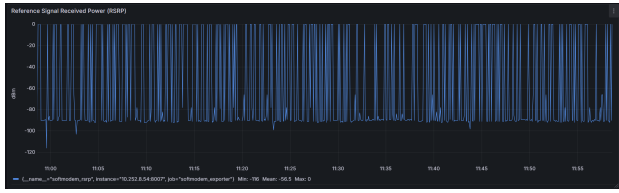


Fig. 4. Potência do sinal de referência recebido (RSRP).

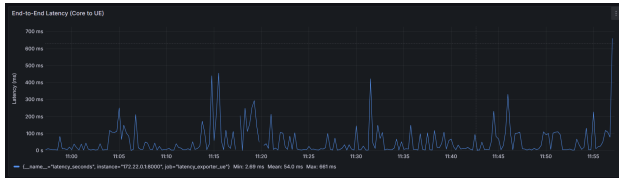


Fig. 5. Latência fim a fim (Core até UE).

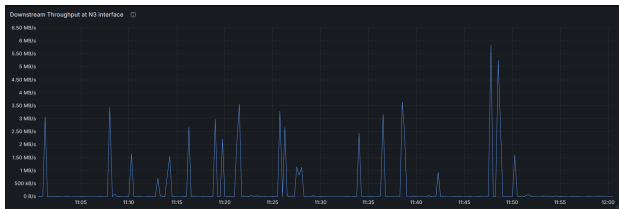


Fig. 6. Throughput na interface N3 – Downlink.



Fig. 7. Throughput na interface N3 – Uplink.

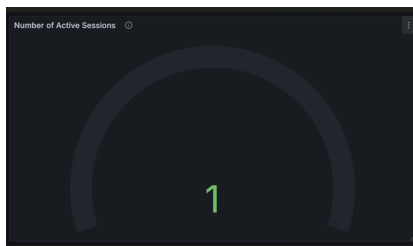


Fig. 8. Número de sessões ativas no UPF.

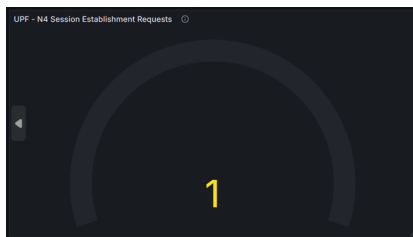


Fig. 9. Solicitações de estabelecimento de sessão N4 no UPF.

#### IV. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou uma arquitetura de rede 5G privativa para a Indústria 4.0, com monitoramento em tempo real por ferramentas *open source*. A solução viabilizou a coleta de KPIs como BLER, RSRP, *throughput* e sessões N4, permitindo avaliar integridade do enlace rádio e desempenho do plano de usuário. Os resultados confirmaram sua aplicabilidade em cenários industriais. Para trabalhos futuros, prevê-se incorporar análises preditivas com aprendizado de máquina e ampliar o cenário para múltiplos usuários e cargas variadas.

#### REFERÊNCIAS

- [1] H. Kagermann, W. Wahlster, and J. Helbig, “Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0,” *acatech – National Academy of Science and Engineering*, 2013. Disponível em: [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/Final\\_report\\_\\_Industrie\\_4.0\\_accessible.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf). Acesso em: 7 maio 2025.
- [2] ETSI, “5G; Management and orchestration; 5G end to end Key Performance Indicators (KPI) (3GPP TS 28.554 version 16.7.0 Release 16),” *ETSI TS 128 554 V16.7.0*, 2021. Disponível em: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/128500\\_128599/128554/16.07.00\\_60/ts\\_128554v160700p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/128500_128599/128554/16.07.00_60/ts_128554v160700p.pdf). Acesso em: 7 maio 2025.
- [3] V2COM, WEG, “Relatório Técnico OpenLab 5G Release 15,” 2022. Disponível em: [https://v2com.com/wp-content/uploads/2022/11/Relatorio\\_Tecnico\\_OpenLab5G\\_Release15.pdf](https://v2com.com/wp-content/uploads/2022/11/Relatorio_Tecnico_OpenLab5G_Release15.pdf). Acesso em: 15 julho 2025.
- [4] P. Papaioannou *et al.*, “Measuring 5G KPIs for the media vertical,” in *Proc. IEEE Int. Mediterranean Conf. on Communications and Networking (MeditCom)*, 2021.
- [5] J. Trujillo, J. de-la Bandera, and J. Burgueño *et al.*, “Methodology for autonomous monitoring of mobile networks,” in *Proc. Int. Conf. on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)*, 2022.
- [6] N. Saha, N. Shahriar, R. Boutaba, and A. Saleh, “MonArch: Network slice monitoring architecture for cloud native 5G deployments,” in *Proc. IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS)*, 2023.
- [7] A. A. Bayleyegn, Z. Fernández, and F. Granelli, “Real-time monitoring of 5G networks: An NWDAF and ML based KPI prediction,” in *Proc. NetSoft 2024 – 6th Int. Workshop on Perf. Evaluation of Next Gen Virtualized Environments and SDNs*, 2024.
- [8] M. Polese, L. Bonati, S. D’Oro, S. Basagni, and T. Melodia, “KPI-based predictive computational resource consumption in 5G Open RAN networks,” in *Proc. IEEE Conf. on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN)*, 2024.
- [9] J. Xu, H. Wu, J. Wang, and M. Long, “Masked transformer-based multi-GAN for 5G core network KPI anomaly detection,” in *Proc. 27th Int. Conf. on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*, 2024.
- [10] H. Supreeth *et al.*, “Docker files to run Open5GS, IMS, eNB, gNB, NR-UE in a docker,” Disponível em: [https://github.com/herlesupreeth/docker\\_open5gs](https://github.com/herlesupreeth/docker_open5gs). Acesso em: 20 abril 2025.
- [11] N. Nikaein, M. K. Marina, S. Manickam, A. Dawson, R. Knopp, and C. Bonnet, “OpenAirInterface: A flexible platform for 5G research,” *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 44, no. 5, pp. 33–38, 2014.
- [12] Cloud Native Computing Foundation, “Prometheus: Monitoring system & time series database,” Disponível em: <https://prometheus.io>. Acesso em: 20 abril 2025.
- [13] Grafana Labs, “Grafana: The open observability platform,” Disponível em: <https://grafana.com/>. Acesso em: 20 abril 2025.
- [14] 3GPP, “Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies,” *3GPP TR 38.913, V16.3.0*, 2020. Disponível em: [https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/38\\_series/38.913/](https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/38_series/38.913/). Acesso em: 19 maio 2025.