

Explorando *Network Slicing* em Redes 5G em um Contexto Educacional

Ekarani T. Silvestre¹, Ruan D. Gomes², Áxel C. e Medeiros¹, Rian I. E. de Melo¹,
João Brunet¹ e Thiago Moraes³

¹Unidade Acadêmica de Sistemas e Computação (UFCG)

²Unidade Acadêmica de Informática (IFPB)

³IBM

{ekarani.silvestre, axel.crispim, rian.melo}@ccc.ufcg.edu.br

joao.arthur@computacao.ufcg.edu.br, ruan.gomes@ifpb.edu.br

tgmoraes@br.ibm.com

Abstract. *The use of digital tools in education has accelerated during the pandemics, highlighting tools such as Moodle and intelligent systems for personalized teaching. Smart Education is increasingly empowered by the 5G networks tailored for educational purposes, which provide high data transfer rates, reduced latency, and reliable connectivity, crucial for handling multimedia applications. In this context, this paper presents a proof-of-concept based on network slicing to optimize resources in a Distance Learning environment using the Moodle platform. A xApp is used to monitor the Radio Access Network (RAN) and enable dynamic load balancing, based on the profiles of connected users.*

Resumo. *O uso de ferramentas digitais no ensino acelerou durante a pandemia, destacando plataformas como o Moodle e sistemas inteligentes para ensino personalizado. A Educação Inteligente é impulsionada pelas redes 5G, que oferecem altas taxas de dados, baixa latência e conectividade confiável, fundamentais para aplicações multimídia. Neste contexto, este artigo apresenta uma prova de conceito baseada em fatiamento de rede para otimizar recursos em um ambiente de Ensino a Distância (EAD) utilizando a plataforma Moodle. Um xApp é utilizado para monitorar a RAN e permitir o balanceamento dinâmico de carga, com base nos perfis dos usuários conectados.*

1. Introdução

A introdução das redes 5G trouxe avanços significativos em conectividade e transformação digital. Entre as inovações estão as comunicações massivas entre dispositivos e comunicações ultraconfiáveis de baixa latência, viabilizando conexões rápidas e estáveis, fundamental para aplicações em áreas como saúde e educação [Elayoubi et al. 2019]. A diversidade dos casos de uso pode ser viabilizada pelo fatiamento de rede, que permite segmentar a infraestrutura física em redes lógicas isoladas, configuradas para atender a demandas específicas [Alcardo Alex Barakabitze and Hines 2020], visando otimizar recursos e customizar as operações. No entanto, é crucial gerenciar cuidadosamente a admissão de novas solicitações de fatias para manter a qualidade de serviço (QoS) dos

usuários, sobretudo em cenários de intensa demanda por conectividade [Feng et al. 2020]. A adaptação em tempo real é muito importante para aplicações como realidade aumentada e ensino remoto, que possuem exigências particulares de latência, taxa de bits e confiabilidade.

A crescente adoção de ferramentas no ensino (p.ex: *Moodle* e *Edmodo*) reflete a importância de tecnologias avançadas no suporte à educação, que podem ser potencializadas por redes 5G confiáveis e de alta capacidade [Dake and Ofosu 2019]. Segundo [Global Mobile Suppliers Association (GSA) 2023], manufatura e educação são os setores com maior número de implementações de redes móveis privadas no mundo. Com o uso de fatiamento de rede, pode-se configurar fatias lógicas para assegurar prioridade para aplicações que exigem altas taxas de bits ou baixa latência, como vídeos educacionais e sistemas de ensino imersivos. Ferramentas de aprendizado baseado em tecnologia e sistemas personalizados demandam redes adaptáveis às necessidades variáveis dos usuários de estudantes e professores [Garlinska et al. 2023].

Diante do crescente interesse em ambientes de aprendizagem virtual, este trabalho apresenta um estudo de caso que aplica o conceito de fatiamento em uma rede 5G privada baseando-se nos perfis de usuários autenticados na plataforma *Moodle*. A pesquisa foi desenvolvida no contexto de uma colaboração estratégica entre a UFCG e as empresas FIT - Instituto de Tecnologia e IBM. Motivadas em transformar desafios relacionados à capacitação corporativa em oportunidades de inovação tecnológica, pela necessidade de escalar treinamentos para colaboradores distribuídos geograficamente, reduzir custos operacionais de capacitação presencial e aumentar o engajamento de alunos em plataformas de ensino a distância. A partir de intensas discussões, foram identificadas demandas críticas para o setor industrial, como a otimização de recursos de rede, a escalabilidade e a garantia de alta qualidade dos serviços oferecidos. As organizações parceiras participaram ativamente na definição do problema e na validação dos requisitos.

Como principais contribuições, este trabalho: (i) define uma estratégia de fatiamento baseada no perfil do usuário logado na plataforma *Moodle*; (ii) implementa um cenário de avaliação utilizando soluções de código aberto, viabilizando a configuração de um testbed de rede 5G para analisar o desempenho da estratégia de fatiamento integrada ao *Moodle*; e (iii) apresenta um caso prático em que o fatiamento de rede se mostra aplicável a cenários de capacitação profissional. Em síntese, a presente colaboração entre academia e indústria reforça a importância de soluções tecnológicas robustas para suprir demandas de ensino e treinamento, unindo rigor científico a desafios práticos de mercado.

2. Trabalhos Relacionados

Trabalhos na literatura exploram o fatiamento de redes 5G, envolvendo tanto o *Core* quanto a RAN. Em [Roddy et al. 2019] são discutidas técnicas de fatiamento cognitivo que usam aprendizado de máquina para a gestão eficiente e otimização de fatias de rede, incorporando computação na borda e aceleração por hardware, considerando uma aplicação para diagnóstico remoto na área de saúde. O trabalho destaca o potencial do fatiamento em redes 5G para missões críticas, incluindo a saúde, estendendo-se a ambientes educacionais. O *framework* FlexSlice, descrito em [Chen et al. 2023], traz avanços para o fatiamento na RAN ao introduzir controle flexível e programabilidade em tempo real na arquitetura O-RAN. O escalonador da camada de controle de acesso ao meio foi

modificado para facilitar a virtualização e alocação dinâmica de recursos. O protótipo demonstrou eficiência e flexibilidade, realizando o fatiamento dinâmico em tempo real sem comprometer o desempenho geral da rede.

No contexto educacional, em [Chen et al. 2022] é proposta uma arquitetura para educação que integra dispositivos heterogêneos e recursos borda-nuvem. Experimentos com até 20 mil usuários demonstraram a eficácia da solução, com redução do atraso e consumo de energia. Além disso, análises de características espaço-temporais de usuários permitiram a otimização de serviços, evidenciando o papel do 5G na modernização das infraestruturas educacionais. O trabalho descrito em [Ever and Rajan 2018] aborda a eficiência na educação médica, que exige a análise de grandes volumes de dados. O estudo destaca o potencial das redes 5G, ao criar cenários de ensino eficientes para atender às demandas prioritárias dos alunos. O trabalho descrito em [Vamsi Krishna et al. 2023] discute como as redes 5G podem impactar o aprendizado inteligente, especialmente após as mudanças sociais causadas pela pandemia. Os autores propõem um framework para a aceitação das redes 5G na educação, ressaltando a importância de um planejamento de longo prazo baseado nas necessidades específicas do aprendizado inteligente.

Na bibliografia, há uma ausência de relatos sobre a aplicação de fatiamento de rede para melhorar a qualidade de experiência (QoE) de forma integrada com plataformas de educação. Este trabalho se diferencia ao propor uma abordagem prática que integra fatiamento de rede com a plataforma Moodle. Além disso, complementa os trabalhos citados ao estudar a viabilidade de aplicar projetos de código aberto em cenários educacionais, explorando controle e programabilidade em tempo real para atender as demandas específicas de QoE e QoS.

3. Descrição do Estudo de Caso

Nesta seção, é descrito um estudo de caso sobre a implementação de fatiamento de rede para melhorar a QoE em contextos educacionais. O protótipo, denominado *Slice App*, realiza o balanceamento de carga considerando as ações de *login/logout* dos usuários do *Moodle*, alocando dinamicamente fatias de rede para cada equipamento de usuário (*User Equipment* - UE). Isso permite que usuários prioritários executem atividades que exigem mais recursos de rede, como *streaming* de vídeo em alta resolução, sem comprometer o desempenho. São consideradas duas classes de usuário: comuns (estudantes) e privilegiados (professores), com a conexão sendo gerenciada por um balanceador de carga.

Em redes 5G, xApps são aplicações executadas no Near-RT *RAN Intelligent Controller* (Near-RT RIC), permitindo monitoramento e gerenciamento customizado dos recursos de rádio para otimizar o desempenho. Já os rApps operam no Non-RT RIC, lidando com gerenciamento de políticas de alto nível e estratégias de otimização de longo prazo [Santos et al. 2025]. A solução proposta neste artigo é gerenciada por um xApp, que é responsável por monitorar métricas de desempenho da rede. Com base nesses dados, o xApp define regras de fatiamento para garantir um desempenho adequado para os usuários prioritários. Essa solução se integra ao *Moodle*, permitindo tanto a transferência de conteúdo da plataforma quanto o acesso a informações das sessões ativas.

O diferencial deste caso de uso reside na utilização de informações de alto nível, como os dados de sessão do *Moodle*, para orientar decisões de balanceamento e fatiamento da rede, diferente do modelo tradicional de fatiamento baseado apenas no NSSAI

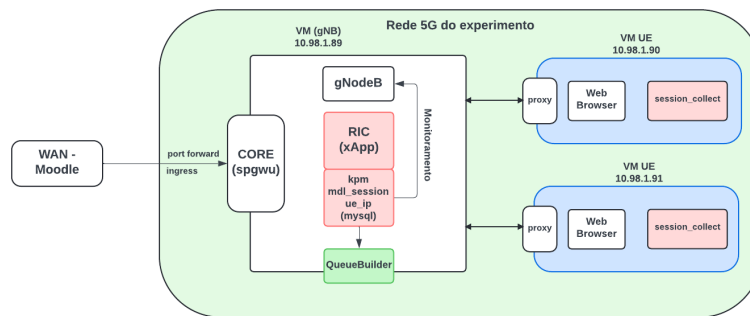


Figura 1. Diagrama representando arquitetura do protótipo.

(*Network Slice Selection Assistance Information*) do UE. Dessa forma, o novo modelo oferece maior flexibilidade para ambientes educacionais, onde o uso de múltiplos dispositivos por estudantes e professores é comum. Foram utilizadas soluções de código aberto, como o FlexRIC, o OpenAirInterface5G e OAI CN 5G.

3.1. Arquitetura do Experimento

A estratégia de garantia de QoS foi baseada na ferramenta de controle de tráfego do *kernel* do Linux (*tc*¹), implementando o fatiamento de rede por meio da configuração de filas de QoS. Essa abordagem permite a personalização da rede e atende a diferentes aplicações. Além disso, apresenta baixa complexidade operacional, tempo de implantação reduzido e não depende de hardware especializado. A solução pode ser implementada em qualquer nó da rede 5G, seja no *Core* ou na RAN, desde que envolva as rotas de tráfego entre os UEs e a rede de dados. Devido às limitações das ferramentas para controle da RAN, o monitoramento foi implementado via xApp e o controle foi simulado com o *tc*, visando reproduzir a alocação de blocos de recursos na RAN.

Devido ao uso do tunelamento GTP (*GPRS Tunnelling Protocol*) nas interfaces da RAN, o *tc* não consegue acessar o cabeçalho interno dos pacotes. Como solução, foi implementada uma inspeção profunda usando a biblioteca Scapy de Python, por meio da edição do campo *Type of Service* (ToS) do cabeçalho externo a partir das informações extraídas do cabeçalho interno. Essa abordagem permitiu a alocação de filas de forma indireta, mas o custo computacional elevado comprometeu a qualidade da rede, especialmente em cenários com tráfego intenso. Apesar das limitações, a solução demonstrou a viabilidade da técnica empregada, encorajando a investigação de soluções com suporte nativo ao GTP ou acesso direto ao plano de usuário do UE para reduzir a sobrecarga.

A Figura 1 ilustra o caso de uso, que consiste na plataforma educacional *Moodle* utilizando uma rede 5G privada simulada. Foi gerado tráfego por meio do consumo de vídeos e arquivos a partir do *Moodle*. Todos os elementos da rede estão implantados em máquinas virtuais (VMs). A gNB (*demo-oai*) conecta os usuários finais ao *Core*. Os usuários finais são representados por duas VMs (IPs 10.98.1.90 e 10.98.1.91), configuradas como UEs, cada uma executando um navegador web para gerar tráfego e o módulo “*session_collect*” para coletar dados das sessões. O *proxy* no UE existe para forçar o navegador da VM a usar a interface de rede provida pela rede 5G ao UE simulado.

¹<https://man7.org/linux/man-pages/man8/tc.8.html>

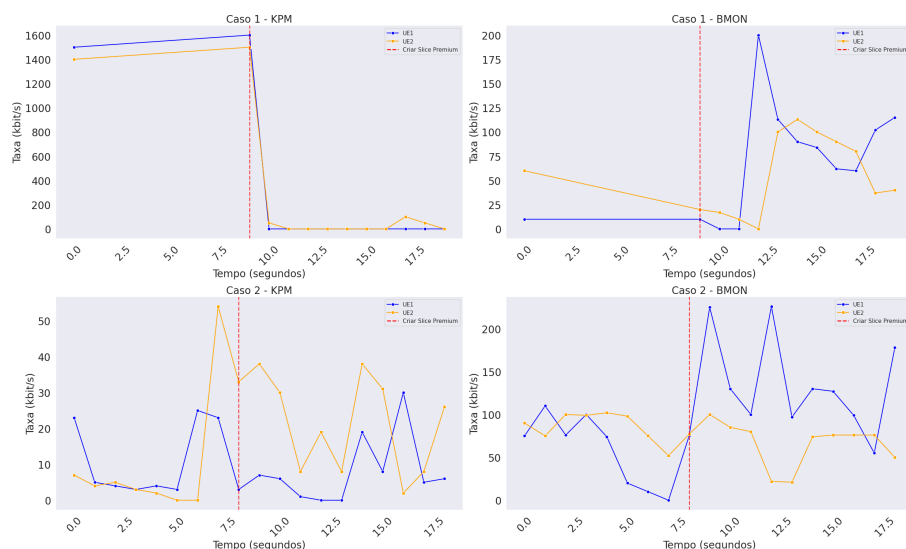


Figura 2. Taxas de bits registradas com KPM (esquerda) e Bmon (direita).

A arquitetura envolve o monitoramento integrado a elementos do plano de controle e de dados. O tráfego externo, originado da WAN, ingressa na rede 5G através de um *port forward* configurado no componente *spgwi* do *Core*, que é responsável pelo roteamento de pacotes entre a WAN e as VMs. O xApp integra funcionalidades como o banco de dados “md_session_ue.ip” (MySQL), que armazena sessões dos UEs e seus IPs, e o módulo KPM, que monitora métricas de desempenho. Um componente adicional, o QueueBuilder, é responsável pela alocação dinâmica de filas de pacotes com base em métricas e prioridades de tráfego, a partir de regras definidas pelo xApp.

3.2. Resultados

Com o ambiente configurado, foi realizada uma atividade no Moodle para consumo de um *streaming* de vídeo do YouTube. Durante o experimento, dados monitorados via xApp de KPM do FlexRIC (métrica *DRB.UEThpUL*) e BMon (monitorando a interface *demo-oai*, que representa a rede de contêineres 5G) foram registrados. Foram avaliados dois cenários, denominados de *Caso 1* e *Caso 2*. O *Caso 1* representa o experimento com duas UEs classificadas como usuários comuns. No *Caso 2* uma das UEs (UE01) possui acesso privilegiado, por meio da alocação de uma fatia de rede maior.

Os resultados podem ser vistos na Figura 2. Para o *Caso 1*, inicialmente houve um pico (acima de 1000 kbit/s no KPM e 180 kbit/s no Bmon), mas, após a aplicação das filas, os usuários padrão foram limitados a 100 kbit/s. Foi observada uma diferença significativa entre as métricas, especialmente pós criação do *slice*, com o KPM registrando taxas muito menores (cerca de 10 kbit/s). Isso se deve ao fato de cada ferramenta de monitoramento observar pontos diferentes da rede 5G: o Bmon na rede de contêineres do *Core* e a métrica do KPM na DRB (Portadora de Dados do Rádio), representando de maneira mais fiel o tráfego de plano de dados dos usuários. No *Caso 2*, quando o usuário *admin* fez login no UE01, sua taxa aumentou para 230 kbit/s, enquanto que o outro dispositivo manteve-se com 100 kbit/s, confirmando a alocação em *slices* distintos. No entanto, as taxas registradas pelo KPM (5 a 40 kbit/s) ficaram abaixo das fatias definidas, indicando a necessidade de aprimorar sua integração com as filas de QoS.

4. Conclusões

Este trabalho descreve a implementação de uma estratégia de fatiamento de rede integrado a uma rede 5G privada simulada, aplicada no ambiente educacional do *Moodle*. Apesar das limitações, especialmente devido à sobrecarga para inspeção profunda de pacotes com encapsulamento GTP, o estudo é um ponto de partida para estratégias de fatiamento voltadas ao QoS e QoE no contexto educacional. Trabalhos futuros visam explorar abordagens mais eficientes para inspeção de pacotes de rede (p.ex: utilizando eBPF), e integrar modelos de aprendizado de máquina para realizar o gerenciamento proativo da rede.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela FIT - Instituto de Tecnologia/IBM (EMBRAPII PCEE-2310.0243). Os autores também agradecem ao CNPq (305536/2021-4).

Referências

- Rashid Mijumbi Alcardo Alex Barakabitze, Arslan Ahmad et al. (2020). 5G network slicing using SDN and NFV: A survey of taxonomy, architectures and future challenges. *Computer Networks*, 167:106984.
- Chieh-Chun Chen et al. (2023). FlexSlice: Flexible and real-time programmable RAN slicing framework. In IEEE, editor, *GLOBECOM 2023, IEEE Global Communications Conference, 4-8 December 2023, Kuala Lumpur, Malaysia*, Kuala Lumpur.
- Qingyong Chen et al. (2022). Educational 5G Edge Computing: Framework and Experimental Study. *Electronics*, 11(17).
- Delali Kwasi Dake et al. (2019). 5G Enabled Technologies for Smart Education. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(12).
- Salah Eddine Elayoubi et al. (2019). 5G RAN Slicing for Verticals: Enablers and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 57(1):28–34.
- Yöney Kirsal Ever et al. (2018). The role of 5g networks in the field of medical sciences education. In *2018 IEEE 43rd Conference on Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops)*, pages 59–63.
- Jie Feng et al. (2020). Dynamic Network Slicing and Resource Allocation in Mobile Edge Computing Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(7):7863–7878.
- Magdalena Garlinska et al. (2023). The Influence of Emerging Technologies on Distance Education. *Electronics*, 12(7).
- Global Mobile Suppliers Association (GSA) (2023). Private Mobile Networks February 2023 Summary Report. Technical report, Global mobile Suppliers Association.
- Mark Roddy et al. (2019). 5G Network Slicing for Mission-critical use cases. In *2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF)*, pages 409–414.
- Joao F. Santos et al. (2025). Managing O-RAN Networks: xApp Development From Zero to Hero. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, pages 1–1.
- B. Vamsi Krishna et al. (2023). An empirical study on application of 5G smart system in education. In *2023 3rd International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE)*, pages 637–642.