

MÓDULO DE GERENCIAMENTO DE MEMÓRIA VIRTUAL POR PAGINAÇÃO NO SIMULADOR DE SISTEMAS OPERACIONAIS PAMPASIM

IGOR GOMES DUTRA¹; PEDRO PORTO SOUZA²; JOÃO ANTÔNIO NEVES SOARES³; RAFAEL BURLAMAQUI AMARAL⁴

¹Universidade Federal de Pelotas — igdutra@ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas — ppsouza@inf.ufpel.edu.br

³Universidade Federal de Pelotas — jansoares@ufpel.edu.br

⁴Universidade Federal de Pelotas — rafael.amaral@inf.ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de memória é um dos tópicos centrais no estudo de Sistemas Operacionais, mas também um dos mais complexos de compreender em sala de aula. Mecanismos como paginação, substituição de páginas, *page faults*, e as diversas políticas de alocação, substituição e busca de páginas envolvem interações entre hardware e software que, embora fundamentais, permanecem abstratos para os estudantes quando apresentados apenas de forma teórica (SILBERSCHATZ; GALVIN; GAGNE, 2015). Nos sistemas modernos, a memória virtual atua como uma importante abstração que permite a execução de processos em um espaço contínuo de endereçamento, viabilizado por tabelas de páginas e algoritmos de substituição. Entender esses mecanismos é essencial para o aprendizado, mas sua observação prática em ambientes reais é limitada.

Nesse contexto, simuladores educacionais têm se mostrado uma alternativa eficaz, pois permitem visualizar de maneira controlada e didática os mecanismos internos de um sistema operacional. Entretanto, muitas ferramentas disponíveis apresentam desatualizações, não contemplam de forma adequada os conceitos de memória virtual, ou apresentam grande complexidade inicial, reduzindo sua aplicabilidade em contextos atuais de ensino.

Motivado por essa lacuna, o simulador PampaSim (SOARES et al., 2023) que foi concebido dentro de um projeto de pesquisa da Universidade Federal de Pelotas (2025), originalmente voltado ao escalonamento de processos, foi expandido com um módulo de memória virtual baseado em paginação. O novo recurso permite acompanhar em tempo real a movimentação de páginas entre memória principal e secundária, bem como analisar falhas, acertos e o impacto de diferentes algoritmos de substituição, oferecendo uma ponte entre teoria e prática no ensino de sistemas operacionais.

2. METODOLOGIA

A implementação do módulo de memória seguiu a arquitetura modular do PampaSim, estruturada no padrão Model-View-ViewModel (MVVM) (FUKSA; SPETH; BECKER, 2025). O novo componente foi concebido de forma integrada ao núcleo da simulação, mas independente em relação aos demais subsistemas, o que possibilita manutenção e expansão sem comprometer a funcionalidade existente. Essa separa-

ção de responsabilidades permitiu reutilizar mecanismos já implementados, como o gerenciamento de processos, ao mesmo tempo em que se construiu uma camada dedicada à gerência de memória. Foram desenvolvidas estruturas responsáveis pela representação da memória principal e da memória secundária, bem como das tabelas de páginas de cada processo, possibilitando a simulação de acessos, falhas e substituições de páginas.

O módulo também incorporou diferentes políticas de gerenciamento, incluindo estratégias de busca sob demanda e antecipada, esquemas de alocação fixa e variável e algoritmos de substituição de páginas, como FIFO, LRU e aleatório. A integração dessas funcionalidades em uma interface gráfica permitiu que o usuário configure os parâmetros da simulação e acompanhe em tempo real os efeitos de cada decisão de gerenciamento. Essa abordagem garantiu flexibilidade e fidelidade conceitual em relação ao funcionamento real dos sistemas operacionais. A Figura 1 apresenta o fluxograma de eventos do módulo de memória dentro da simulação.

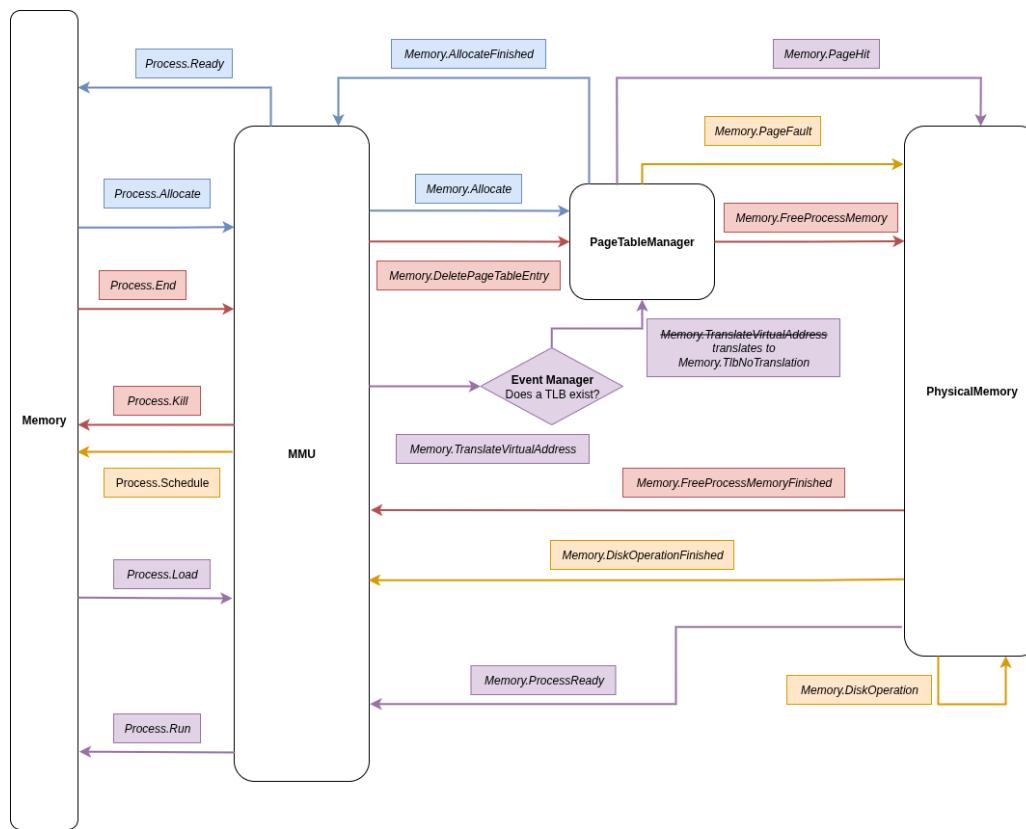


Figura 1: Fluxograma de eventos do módulo de memória no PampaSim.

As entidades do sistema comunicam-se por meio de eventos representados por setas no fluxograma. As diferentes cores indicam o estágio do ciclo de vida do processo associado a cada evento: azul corresponde à alocação, roxo à execução, amarelo à interrupção e vermelho ao término do processo. A entidade *Memory* atua como ponto de integração entre o módulo de memória e o restante do simulador, sendo responsável pelos eventos *Process*.* que correspondem às interações recebidas ou enviadas ao sistema de escalonamento de processos, já os eventos *Memory*.* representam os eventos de comunicação entre as entidades do módulo de gerência de memória.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O módulo de gerenciamento de memória expandiu significativamente as capacidades do PampaSim, permitindo que a simulação ultrapassasse o escopo do escalonamento de processos e passasse a contemplar os mecanismos de memória virtual. A interface gráfica foi projetada para tornar visíveis elementos como a memória principal, a memória secundária, estatísticas do processos, as suas tabelas de páginas, assim como estatísticas gerais da simulação. Durante a execução, o usuário pode observar a ocorrência de *page faults* e *page hits*, bem como acompanhar métricas como taxas de falhas de página e utilização da memória. Esses recursos possibilitam uma compreensão prática de como as diferentes configurações e algoritmos influenciam o desempenho do sistema.

Para assegurar a consistência do módulo, a validação foi conduzida em três etapas complementares. A primeira consistiu na execução de atividades práticas de laboratório descritas na literatura (MACHADO; MAIA, 2001) originalmente projetadas para o simulador *SOsim* (MAIA, 2001), adaptadas para o PampaSim. Esse procedimento permitiu verificar se os resultados obtidos correspondiam ao esperado em situações já consolidadas no ensino de Sistemas Operacionais. Em seguida, foi analisado um caso de uso detalhado, no qual a execução de três processos foram acompanhadas passo a passo, permitindo confirmar a correta ocorrência de *page faults* e o comportamento esperado de acordo com a teoria. Por fim, realizou-se a validação do fluxo de eventos, assegurando que a comunicação entre as entidades do sistema seguisse a lógica especificada no projeto e refletisse fielmente os diferentes estágios do ciclo de vida de um processo.

Essa metodologia de validação demonstrou que o módulo não apenas implementa corretamente os mecanismos de memória virtual, mas também oferece suporte didático para atividades esperadas de estudantes. A Figura 2 apresenta a interface gráfica do módulo em execução.

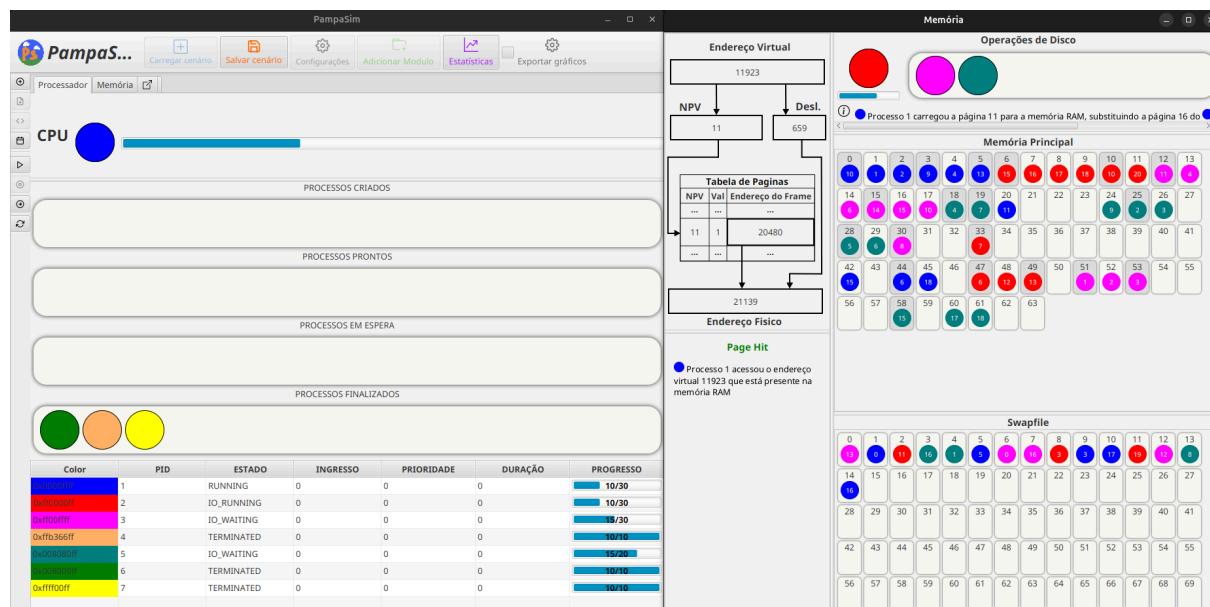


Figura 2: Interface gráfica do módulo de memória no PampaSim.

4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do módulo de gerenciamento de memória ampliou as funcionalidades do PampaSim e consolidou o simulador como uma ferramenta didática mais completa para o ensino de Sistemas Operacionais. A implementação dos mecanismos de paginação, associados a diferentes políticas de busca, alocação e substituição, possibilitou a visualização prática de conceitos que tradicionalmente permanecem abstratos no ambiente de sala de aula.

Os resultados da validação confirmaram que o módulo reproduz corretamente o comportamento esperado de sistemas de memória virtual, oferecendo ao estudante a oportunidade de experimentar cenários variados e compreender de forma comparativa os impactos das diferentes escolhas de gerenciamento. Com a interface gráfica, foi possível integrar informações numéricas (estatísticas) e visuais, facilitando a interpretação dos fenômenos estudados que são observados na simulação, e fortalecendo a relação entre teoria e prática.

Como perspectivas futuras, propõe-se expandir o simulador com o suporte a outros mecanismos de gerenciamento, como segmentação, políticas mais avançadas de substituição, gerência de armazenamento, expansão de funcionalidades na gerência de memória como por exemplo, a inclusão de uma TLB ou outros mecanismos como o *OOM Killer* do *linux* (LOVE, 2010). Dessa forma, o PampaSim poderá evoluir continuamente como um ambiente educacional versátil e atualizado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MACHADO, F. B.; MAIA, L. A. **Arquitetura de Sistemas Operacionais**. 7.ed. São Paulo: LTC, 2013.

SILBERSCHATZ, A.; GALVIN, P. B.; GAGNE, G. **Operating System Concepts**. 9.ed. Hoboken: Wiley, 2015.

TANENBAUM, A. S.; WOODHULL, A. S. **Sistemas Operacionais Modernos**. 3.ed. São Paulo: Pearson, 2008.

FUKSA, M.; SPETH, S.; BECKER, S. **MVVM Revisited: Exploring Design Variants of the Model-View-ViewModel Pattern**. Springer Nature Switzerland, 2025.

LOVE, R. **Linux Kernel Development**. 3.ed. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley Professional, 2010.

SOARES, J. A. N. et al. **PAMPAOS: Um Ambiente para a Simulação de Sistemas Operacionais**. In: ANAIS DA XXXII CIC - CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, NA 9ª SEMANA ACADÊMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS (UFPEL). Pelotas, RS: Universidade Federal de Pelotas, 2023.

MAIA, L. P. **Sosim: Simulador para o ensino de sistemas operacionais**. Rio de Janeiro, v. 31, 2001.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. Projeto PampaSim: Simulador de Sistemas Operacionais. Disponível em: <https://institucional.ufpel.edu.br/projetos/id/u3777>. Acesso em: 20 ago. 2025.