

Modelagem e Simulação: Um Grande Desafio para Sistemas de Informação

Valdemar Vicente Graciano Neto¹, Célia Ghedini Ralha²

¹Instituto de Informática
Universidade Federal de Goiás (UFG)
Goiânia – GO – Brasil

²Universidade de Brasília (UnB)
Brasília - DF - Brasil

valdemarneto@ufg.br, ghedini@unb.br

Resumo: A crescente complexidade dos Sistemas de Informação (SI) apresenta desafios significativos, exigindo soluções capazes de antecipar interações entre vários sistemas interconectados. Esta proposta traz a perspectiva de Modelagem e Simulação (M&S) como um instrumento essencial para enfrentar esse cenário, permitindo experimentação controlada e análise preditiva de SI em escala urbana. O estudo destaca a carência de especialistas em M&S na pesquisa brasileira e a dependência de tecnologias estrangeiras. Entendemos que o avanço em M&S é crucial para reduzir essa lacuna e garantir a autonomia científica e tecnológica necessária para o desenvolvimento de SIs mais eficientes e adaptativas..

Palavras-chave: Modelagem e Simulação, M&S, Sistemas de Informação.

1. Qual é a ideia, visão ou reflexão de desafio em SI no Brasil para os próximos 10 anos?

Como observado por [Araújo e Siqueira 2023], “[...] a área de Sistemas de Informação (SI) tem um potencial para avançar como forma de repensar o mundo que se apresenta à frente, no qual tecnologia, pessoas e organizações se configuram e se reconfiguram constante e velozmente” (grifo nosso). SI frequentemente precisam inter-operar com outros sistemas para atingir objetivos mais complexos. Esta realidade já é muito comum em ambientes organizacionais, com diversos sistemas que interoperam para cumprir processos de negócios mais amplos e complexos. No entanto, a realidade à frente é de um ambiente muito dinâmico, com centenas, milhares ou mesmo milhões de sistemas de diversos tipos interagindo no mundo aberto, tais como nas cidades inteligentes (CI) [Graciano Neto e Kassab 2023].

Se CI são compostas por celulares, carros autônomos, edifícios inteligentes, casas e hospitais, com diferentes granularidades e potencialmente alcançando 50 milhões de sistemas constituintes [Graciano Neto et al. 2018], como antever minimamente as

consequências da interoperação entre os sistemas, as cadeias de valor, e demais modelagens em um ambiente tão rico, diverso e complexo como este? Neste contexto é que Modelagem e Simulação (M&S) pode ser interessante.

A tecnologia de M&S se tornou um campo promissor de pesquisa multidisciplinar aplicadas a problemas de mundo real. Em específico, a modelagem e simulação orientada a agentes (Agent-based modeling and simulation - ABMS) apresenta um método computacional adequado para o estudo de sistemas complexos através da simulação de interação entre agentes (entidades de software), os quais possuem comportamentos (behaviors) e habilidades específicas de tomada de decisão autônoma. Com a modelagem da dinâmica de interação dos agentes é possível descobrir comportamentos emergentes envolvidos na dinâmica de sistemas complexos com modelos bottom-up, dificilmente visíveis com modelagem de sistemas top-down, usualmente utilizados no desenvolvimento de SI. Desta forma, o uso e a integração de M&S, em específico orientada a agentes, é um instrumento poderoso para o estudo e desenvolvimento de SI envolvendo as perspectivas organizacionais, tecnológicas e sociais das pessoas, fundamentando o grande desafio da teoria socio-técnica na comunidade de pesquisa da área.

À luz destas reflexões, a principal contribuição deste artigo é suscitar a M&S como um Grande Desafio para SI. Para tanto, a Seção 2 aborda os fundamentos da área de M&S, apresentando e elucidando conceitos básicos, a Seção 3 aborda o grande desafio.

2. Por que é crítico que a comunidade direcione esforços para superá-lo?

M&S refere-se a uma grande área dedicada ao uso de modelos e à sua execução através de simuladores para analisar propriedades sobre o sistema que está sendo representado/exercitado [Ören et al. 2023]. As motivações para o uso de M&S são diversas [França e Graciano Neto 2021, Tolk et al. 2023, França et al. 2024]: (i) a possibilidade de avaliar a arquitetura de um SI em tempo de projeto (incluindo prever propriedades da estrutura e comportamento deste sistema), (ii) prototipação, (iii) realizar experimentos controlados, e (iv) prever indicadores de processos de desenvolvimento de software.

Os avanços computacionais tornaram possível um número crescente de M&S, em especial baseados em agentes, aplicados em uma variedade de domínios, capazes de modelar o comportamento do agente no mercado de ações [Todd et al. 2016], cadeias de suprimentos e mercados de consumo [Li e Chan 2013], prever a propagação de epidemias [Perez e Dragicevic 2009], e mitigar a ameaça da guerra biológica [Sharma et al. 2019]. ABMs auxilia na compreensão dos fatores sociais, econômicos, organizacionais e ambientais, associados a problemas de mundo real, tais como, a melhoria de processos de negócios [Szimanski et al. 2013], risco sistêmico financeiro [Rosa et al. 2017], gestão ambiental [Marinelli et al. 2010, Abreu et al. 2011, Ralha et al. 2013, Abreu et al. 2014,

Coelho et al. 2016, Coelho e Ralha 2022], análise de evolução de camuflagem em seres vivos [Aguiar et al. 2016], agricultura irrigada [de Oliveira et al. 2021]. Tal progresso sugere o potencial do ABMS para ter efeitos de longo alcance na forma como as empresas utilizam computadores para apoiar a tomada de decisões e os pesquisadores utilizam modelos baseados em agentes como laboratórios eletrônicos. Os autores em [Macal e North 2009], citam que ABMS “is a third way of doing science” podendo aumentar o raciocínio dedutivo e indutivo como método de descoberta.

Uma pesquisa recente com 58 profissionais revelou que mais da metade (30 participantes) nunca teve contato com M&S [Lebttag et al. 2022]. Outra pesquisa sobre o ensino de simulação no Brasil revelou que dos 108 participantes, apenas 32 tiveram contato com simulação e 19 estudaram o tema parcialmente [Rodrigues e Neto 2025]. Outro trabalho ainda analisou 398 publicações da SBC-OpenLib para investigar o uso de simulação na pesquisa acadêmica brasileira [Lima et al. 2024]. Áreas importantes incluíam Indústria 4.0 (53), Cidades Inteligentes (46) e Biologia (37). As principais motivações para o uso da simulação incluem testes em ambientes controlados (354 estudos) e a inviabilidade de testes físicos (306). Dinâmica de sistemas foi o formalismo mais usado (56 estudos), seguido por Simulação Orientada a Objetos (41) e Simulação Baseada em Agentes (35).

3. Quais os riscos se não avançarmos em sua resolução?

Modelos de simulação permitem antecipar características dos sistemas (incluindo SI) ainda em tempo de projeto ou mesmo como forma de monitoramento constante dos estímulos recebidos, como é o caso dos gêmeos digitais. Este tipo de antecipação é especialmente útil em domínios críticos, ou seja, aqueles onde erros ou falhas podem causar danos e perdas de ordem humana, financeira, ambiental ou patrimonial. Exemplos destes domínios incluem domínios bélico-militares, de usinas de vários tipos ou mesmo de CI [Graciano Neto e Kassab 2023], onde erros podem potencialmente causar acidentes, colisões, depredação do patrimônio público e perdas ou lesões sociais, ambientais, econômicas e/ou humanas. Logo, não avançar em soluções para este contexto implica em não prover meios de subsistência para analisar problemas complexos nos SI vindouros dentro de CI sob uma lente apurada. A falta de avanço em M&S pode comprometer a capacidade de antever falhas em sistemas críticos, como cidades inteligentes e infraestruturas estratégicas. O uso inadequado de tecnologias importadas também pode limitar a competitividade nacional e a soberania tecnológica.

4. Com quais outros problemas, áreas, conhecimentos, ações, iniciativas, tecnologias etc o desafio se relaciona.

Este desafio se relaciona com vários outros desafios anteriormente propostos pela comunidade e que ainda demandam avanços: Cidades Inteligentes, Sistemas-de-Sistemas de Informação, Interoperabilidade Plena e Mundo Aberto.

5. Considerações Finais:

A M&S é um campo essencial para o futuro dos SI. Para que o Brasil reduza sua dependência tecnológica e amplie suas capacidades de inovação, é fundamental investir na formação de especialistas, no desenvolvimento de ferramentas acessíveis e na integração de M&S em processos de pesquisa e desenvolvimento.

Referências

- Abreu, C. G., Coelho, C. G. C., Ralha, C. G., and Macchiavello, B. (2014). A model and simulation framework for exploring potential impacts of land use policies: The brazilian cerrado case. In 47th HICSS, pages 847–856, Waikoloa, HI, USA. IEEE Computer Society.
- Abreu, C. G., Coelho, C. G. C., Ralha, C. G., Zaghetto, A., and Macchiavello, B. (2011). Ferramenta de simulação com abordagem de sistema multiagente híbrida para gestão ambiental. *Braz. J. Inf. Syst.*, 4.
- Aguiar, L. H. M., Zaghetto, A., Zaghetto, C., Ralha, C. G., and de Barros Vidal, F. (2016). Demiourgos: Simulação baseada em agentes para análise da evolução de camuflagem em seres vivos. In Siqueira, F., Vilain, P., Cappelli, C., and Wazlawick, R. S., editors, XII SBSI, pages 92–99, Florianópolis, SC, Brasil. ACM.
- Araújo, R. and Siqueira, S. (2023). Vamos ampliar nossa visão sobre sistemas de informação? *SBC Horizontes*. Acesso em: 17 fev. 2025.
- Coelho, C. G. C., Abreu, C. G., Ramos, R. M., Mendes, A. H. D., Teodoro, G., and Ralha, C. G. (2016). MASE-BDI: agent-based simulator for environmental land change with efficient and parallel auto-tuning. *Appl. Intell.*, 45(3):904–922.
- Coelho, C. G. C. and Ralha, C. G. (2022). MASE-EGTI: an agent-based simulator for environmental land change. *Environ. Model. Softw.*, 147:105252.
- de Oliveira, G. D., Porto, P. P. G., de Maria Albuquerque Alves, C., and Ralha, C. G. (2021). An agent-based model for simulating irrigated agriculture in the samambaia basin in goiás. *RITA*, 28(2):107–123.
- França, B. B. N. d., Pfahl, D., Vicente Graciano Neto, V., and Ali, N. B. (2024). Teaching simulation as a research method in empirical software engineering. In Mendez, D., Avgeriou, P., Kalinowski, M., and Ali, N. B., editors, *Handbook on Teaching Empirical Software Engineering*, pages 363–385. Springer Nature Switzerland, Cham.
- França, B. and Graciano Neto, V. V. (2021). Opportunities for simulation in software engineering. In III MSSiS, pages 50–54, Joinville, SC, Brasil. SBC.
- Graciano Neto, V. V. and Kassab, M. (2023). *What Every Engineer Should Know About Smart Cities*. CRC Press - Taylor & Francis. 1st Edition. 254 p.
- Graciano Neto, V. V., Manzano, W., Kassab, M., and Nakagawa, E. Y. (2018). Model-based engineering & simulation of software-intensive systems-of-systems: experience report and lessons learned. In Pérez, J., Mirandola, R., and Chen, H., editors, *WDES@ECSA*, pages 27:1–27:7, Madrid, Spain. ACM.

- Lebttag, B. G. A., Teixeira, P. G., dos Santos, R. P., Viana, D., and Graciano Neto, V. V. (2022). Strategies to evolve exm notations extracted from a survey with software engineering professionals perspective. *J. Softw. Eng. Res. Dev.*, 10:2:1–2:24.
- Li, J. and Chan, F. T. (2013). An agent-based model of supply chains with dynamic structures. *Applied Mathematical Modelling*, 37(7):5403–5413.
- Lima, M., Neto, V. G., James, D., Dias, E., de Bastos Chagas, A., and de Brito Tomé, J. (2024). Como a comunidade que publica na sbc tem utilizado simulação? uma revisão rápida e de escopo na biblioteca sbc-openlib. In *ERI-GO*, pages 129–138, Ceres, GO, Brasil. SBC.
- Macal, C. M. and North, M. J. (2009). Agent-based modeling and simulation. In *WSC’09*, pages 86–98, Austin, Texas, USA.
- Marinelli, C. E., Coelho, C. G. C., Ralha, C. G., Zaghetto, A., and Macchiavello, B. (2010). Modelo de simulação com uso de abordagem de SMA para o zoneamento de unidades de conservação da amazônia. In *Cidral, A. and Kahwage, C., editors, VI SBSI*, pages 73–84, Marabá, PA, Brasil. SBC.
- Ören, T. I., Zeigler, B. P., and Tolk, A., editors (2023). *Body of Knowledge for Modeling and Simulation: A Handbook by the Society for Modeling and Simulation International. Simulation Foundations, Methods and Applications*. Springer.
- Perez, L. and Dragicevic, S. (2009). An agent-based approach for modeling dynamics of contagious disease spread. *International Journal of Health Geographics*, 8(1):50.
- Ralha, C. G., Abreu, C. G., Coelho, C. G. C., Zaghetto, A., Macchiavello, B., and Machado, R. B. (2013). A multi-agent model system for land-use change simulation. *Environ. Model. Softw.*, 42:30–46.
- Rodrigues, F. B. and Neto, V. V. G. (2025). Assessing simulation knowledge and proficiency among undergraduate computing students in brazil: Insights and results from a survey research. *arXiv preprint*.
- Rosa, P. S., Ralha, C. G., and Gartner, I. R. (2017). The agent rationality in the doom loop of sovereign debt: An agent-based model simulation of systemic risk emergence process. In *Dimuro, G. P. and Antunes, L., editors, XVIII MABS, volume 10798 of LNCS*, pages 197–210, São Paulo, SP, Brasil. Springer.
- Sharma, A., Gupta, G., Ahmad, T., Krishan, K., and Kaur, B. (2019). Next generation agents (synthetic agents): Emerging threats and challenges in detection, protection, and decontamination. *Handbook on Biological Warfare Preparedness*, pages 217–256. PMID: PMC7153315.
- Szimanski, F., Ralha, C. G., Wagner, G., and Ferreira, D. R. (2013). Improving business process models with agent-based simulation and process mining. In *Nurcan, S., Proper, H. A., Soffer, P., Krogstie, J., Schmidt, R., Halpin, T. A., and Bider, I., editors, 14th BPMDS, 18th EMMSAD, Held at CAiSE 2013, LNBIP*, pages 124–138, Valencia, Spain. Springer.
- Todd, A., Beling, P., Scherer, W., and Yang, S. Y. (2016). Agent-based financial markets: A review of the methodology and domain. In *IEEE SSCI*, pages 1–5, Athens, Greece.

Tolk, A., Page, E. H., Graciano Neto, V. V., Weirich, P., Formanek, N., Durán, J. M., Santucci, J. F., and Mittal, S. (2023). Philosophy and modeling and simulation. In Ören, T. I., Zeigler, B. P., and Tolk, A., editors, *Body of Knowledge for Modeling and Simulation, Simulation Foundations, Methods and Applications*, pages 383–412. Springer.