

# Modelagem e Simulação: Um Grande Desafio para Aspectos Humanos, Sociais e Econômicos de Software

Valdemar Vicente Graciano Neto<sup>1</sup>, Emanuel Coutinho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)  
Goiânia – GO – Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará (UFC)  
Quixadá – CE – Brasil

valdemarneto@ufg.br, emanuel.coutinho@ufc.br

**Abstract.** *Modeling and Simulation (M&S) is an essential practice for anticipating properties of complex systems, especially in critical domains such as military, energy and urban. The application of M&S in Software Engineering, including for smart cities, has gained prominence due to its ability to evaluate architectures, prototype, conduct experiments and predict project properties. Additional challenges arise with Social, Human and Economic Aspects of Software (SHEAS), raising questions about human behavior modeling, economic aspects and appropriate M&S approaches. This paper highlights M&S as a Grand Challenge for SHEAS, provoking reflections on how to address these challenges and explore opportunities in critical areas for society.*

**Resumo.** *A Modelagem e Simulação (M&S) é uma prática essencial para antecipar propriedades de sistemas complexos, especialmente em domínios críticos como militares, energéticos e urbanos. A aplicação de M&S na Engenharia de Software, incluindo para cidades inteligentes, tem ganhado destaque devido à sua capacidade de avaliar arquiteturas, prototipar, conduzir experimentos e prever propriedades do projeto. Surgem desafios adicionais com os Aspectos Sociais, Humanos e Econômicos de Software (ASHES), levantando questões sobre a modelagem do comportamento humano, aspectos econômicos e abordagens de M&S adequadas. Este artigo destaca a modelagem e simulação como um Grande Desafio para ASHES, provocando reflexões sobre como enfrentar esses desafios e explorar oportunidades em áreas críticas para a sociedade.*

## 1. Introdução

Modelagem e Simulação (M&S) refere-se a uma grande área dedicada ao uso de modelos e a sua execução através de simuladores para antecipar/predizer propriedades sobre o sistema que está sendo representado/exercitado [Ören et al. 2023]. 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 ou mesmo ambiental. Exemplos destes domínios incluem domínios bélico-militares, de usinas de vários tipos ou mesmo de cidades inteligentes [Graciano Neto and Kassab 2023], onde erros podem potencialmente causar acidentes, colisões, depredação do patrimônio público e perdas ou lesões sociais, ambientais, econômicas e/ou humanas. A investigação do uso de M&S para o domínio de software tem ascendido ao longo

dos anos [Graciano Neto et al. 2020, Lebttag et al. 2022, Graciano Neto et al. 2018a, Graciano Neto et al. 2021, Graciano Neto et al. 2018b, Delécolle et al. 2020, Pedro et al. 2023], incluindo software para domínios críticos (como cidades inteligentes). Conforme descrito por [França and Graciano Neto 2021, Tolk et al. 2023, Ali et al. 2014, de França and Travassos 2016, Cavalcante and de França 2023], as motivações para uso de M&S na Engenharia de Software são diversas, e incluem (i) a possibilidade de avaliar a arquitetura de um sistemas em tempo de projeto (incluindo prever propriedades da estrutura e comportamento deste sistema), (ii) prototipação, (iii) realizar experimentos controlados e (iv) para prever indicadores de processos de desenvolvimento de software.

Ainda nesta esteira surgem os Aspectos Sociais, Humanos e Econômicos de Software (ASHES). Estes aspectos do software, para além do aspecto técnico, trazem ainda outros desafios (mas também oportunidades [França and Graciano Neto 2021]) para a área de M&S. Surgem, como consequente, perguntas instigantes, tais como: (i) “*como modelar (e simular) o comportamento humano?*”, (ii) “*quais aspectos econômicos de software podem ser modelados (e simulados) e como modelá-los?*”, e (iii) “*quais abordagens de M&S são mais adequadas para cada um destes aspectos?*”.

À luz destas provocações, a principal contribuição deste artigo é suscitar a modelagem e simulação como um Grande Desafio para ASHES. Para tanto, a Seção 2 aborda os fundamentos da área de M&S, apresentando a área e elucidando conceitos básicos, a Seção 3 aborda o grande desafio (e as oportunidades) e discute oportunidades de pesquisa, enquanto a Seção 4 conclui o texto.

## **2. Modelagem e Simulação para ASHES**

Existem vários tipos de formalismos de simulação, cada um com suas próprias características e áreas de aplicação. Os mais tradicionais são a Simulação de Eventos Discretos (DEVS, do inglês *Discrete-Event Systems*), criado por Bernard Zeigler na década de 1960 e refinado nos anos seguintes [Kim and Zeigler 1987] e a Dinâmica de Sistemas [Legasto et al. 1980], que deriva outra vertente de simulação e é inspirada na Teoria Geral de Sistemas de von Bertalanffy [Von Bertalanffy 1950] da Década de 1950. Diversas variantes surgiram depois, incluindo as simulações baseadas em agentes (SBA) e outros tipos de simulação.

Em DEVS, os eventos ocorrem em momentos discretos no tempo e podem ser representados por mudanças de estado no sistema, geralmente representados por um autômato. Na dinâmica de sistemas, a ideia é modelar os sistemas de modo que as variáveis mudam de forma contínua ao longo do tempo, muitas vezes através de equações diferenciais. Existem relações de causalidade estabelecidas entre os elementos representados e a simulação permite ver as consequências de mudanças no sistema. Na Simulação Baseada em Agentes (SBA), os sistemas são modelados como uma coleção de entidades autônomas chamadas agentes. Cada agente tem seu comportamento individual e interage com outros agentes e o ambiente.

Outros tipos de simulação existem e os simuladores modernos (como o MS4Me para DEVS) são capazes de realizar simulações como estas, como a simulação estocástica e a de Monte Carlo. Na Simulação Estocástica, os sistemas são influenciados pela aleatoriedade, que desempenha um papel significativo. As variáveis do sistema podem seguir distribuições probabilísticas. Por sua vez, a Simulação de Monte Carlo baseia-se em

amostragem aleatória para obter resultados numéricos. É frequentemente usado para estimar resultados em sistemas complexos ou para resolver problemas que envolvem cálculos probabilísticos. Cada tipo de formalismo de simulação tem suas vantagens e desvantagens, e a escolha do formalismo adequado depende da natureza do sistema a ser modelado e dos objetivos da simulação.

O uso de M&S para ASHES não é uma novidade plena, mas também não um problema totalmente resolvido. O aspecto econômico já fora investigado anteriormente. Em Graciano Neto et al. (2018 e 2019) [Neto et al. 2018, Graciano Neto et al. 2019] e em Bulcão-Neto et al. 2022 [Bulcão-Neto et al. 2022], os autores usaram DEVS para prever o valor de aquisição de Sistemas-de-Sistemas (SoS) com base na avaliação de múltiplas configurações arquiteturais. No entanto, outros aspectos econômicos também precisam ser investigados, por exemplo investigando a economia circular [De la Torre et al. 2021]. DEVS também tem sido usado para modelar o comportamento humano [Bouanan et al. 2016]. Agentes já foram usados para modelar sistemas sociais [Pavón et al. 2008]. Dinâmica de Sistemas também segue a mesma tendência. No entanto, ainda há alguns pontos importantes que são grandes desafios, como discutido na próxima seção.

### **3. Os Desafios (e Oportunidades) para Modelar e Simular ASHES**

Destaca-se que os desafios apresentados aqui são derivados da experiência acumulada pelos autores na condução de estudos baseados em simulação nos últimos dez anos.

**1) Qual o grande desafio proposto:** O grande desafio proposto é avançar no estado da arte e da prática, criando artefatos, métodos, processos e ferramentas que auxiliem na compreensão de ASHES e em como modelá-los e simulá-los no contexto da Engenharia de Software e também em outras áreas da computação, como Sistemas de Informação;

**1.2) Qual(is) o(s) contexto(s) específico(s) a ele relacionado e sua relevância no contexto nacional e/ou internacional de aspectos sociais, humanos e econômicos de software:** Nos Estados Unidos e Europa, M&S é uma abordagem muito comum tanto para estudos do comportamento, sociológicos, mas também no setor armamentista e de domínios críticos de modo geral. No Brasil, há um hiato, com poucos especialistas no assunto e com dependência e aquisição de tecnologias do exterior. Adicionalmente, há um custo elevado para ferramentas de simulação. Para poder romper este ciclo de dependência e começar a usufruir dos ganhos que M&S podem trazer, a comunidade brasileira deve avançar em produzir tecnologia e avanço científico nacional na área.

**1.3) Formas de avaliação do progresso do desafio proposto:** Análogo ao que já foi proposto em outros grandes desafios [Graciano Neto et al. 2017], pode-se realizar periodicamente uma revisão de escopo para saber como está progredindo a produção científica no Brasil para avançar o grande desafio, além de derivar um modelo de maturidade baseado no TAM para avaliar o que foi transferido para a indústria. Nesse sentido, um modelo, produto ou processo podem ser avaliados pelo Nível de Maturidade Tecnológica (TRL - *Technology Readiness Level*). Além do aspecto tecnológico, outra perspectiva é considerar levantamentos por pesquisas exploratórias (como *survey research* e estudos de caso) sobre o uso da M&S no dia a dia, tanto na pesquisa quanto

na indústria.

Neste sentido, pode-se elencar alguns desafios (que também são *oportunidades de pesquisa*) para os próximos anos, quais sejam:

**Questões éticas:** Há um conjunto robusto de recomendações no que tange à participação de seres humanos em investigação científica, incluindo a necessidade de submeter o protocolo à apreciação dos Comitês de Ética em Pesquisa (CEP) das IESs. M&S oferece uma oportunidade deveras interessante pois, caso o comportamento humano possa ser modelado com o mínimo de verossimilhança, seria possível evitar ou reduzir o uso de humanos em investigações na área de software e obter resultados (ainda que prévios) através de modelos de simulação. Isso poderia poupar o esforço típico de encontrar participantes para tais estudos, não constrangê-los ou expô-los a situações antiéticas, e ainda prever propriedades do sistema e do comportamento através da simulação.

**Recomendação de Paradigmas de Simulação:** Para profissionais e pesquisadores da Engenharia de Software que queiram adentrar no ramo da M&S, há alguns possíveis formalismos/paradigmas e uma infinidade de ferramentas. Qual escolher com base nas características do problema? Este é um desafio que demanda avanço.

**Como modelar ASHES:** Qual paradigma utilizar para cada aspecto? E como modelar o comportamento humano e as interações sociais em Engenharia de Software? De que modo pode-se valer de tais *insights* sem infringir questões éticas das pessoas sendo representadas ali?

**Gêmeos Digitais:** Os gêmeos digitais são sistemas em que há um modelo de simulação que recebe estímulos do sistema real que representa e ao qual está conectado [David et al. 2023]. Com base nos estímulos, o modelo de simulação pode prever anomalias e antecipar problemas, refletindo suas mudanças no sistema real, e otimizando seu funcionamento. Como criar gêmeos digitais em ASHES? Como avaliar gêmeos digitais em ASHES?

**Tendências recentes:** Outras tecnologias podem também ser associadas a simuladores, como o metaverso, algoritmos de *machine learning* e outras técnicas de inteligência artificial. Todas essas tecnologias podem ser utilizadas para investigar ASHES na engenharia de software sem os percalços típicos de realizar isso na realidade, sem simulação.

#### 4. Considerações Finais

Este artigo abordou o uso de modelagem e simulação (M&S) como um grande desafio para abordar aspectos sociais, humanos e econômicos de software (ASHES) nos anos vindouros. Uma breve revisão da literatura foi apresentada e alguns desafios típicos, além de uma proposta de avaliação do progresso. Embora as dimensões humanas, sociais e econômicas estejam entrelaçadas e sejam interdependentes, na prática elas podem demandar desafios próprios e complexos. Trabalhos futuros incluem (i) quantificar o número de publicações e pesquisas sobre o tema e (ii) definição do modelo de maturidade para avaliar o progresso na área no Brasil.

## References

- Ali, N. B., Petersen, K., and Wohlin, C. (2014). A systematic literature review on the industrial use of software process simulation. *J. Syst. Softw.*, 97(C):65–85.
- Bouanan, Y., Zacharewicz, G., and Vallespir, B. (2016). Devs modelling and simulation of human social interaction and influence. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 50:83–92.
- Bulcão-Neto, R., Teixeira, P., Lebttag, B., Graciano-Neto, V., Macedo, A., and Zeigler, B. (2022). Simulation of iot-oriented fall detection systems architectures for in-home patients. *IEEE Latin America Transactions*, 21(1):16–26.
- Cavalcante, A. S. N. and de França, B. B. N. (2023). Simulation-supported development for cooperative multi-uav systems with the mysterio framework. *J. Softw. Eng. Res. Dev.*, 11:11:1–11:17.
- David, I., Archambault, P., Wolak, Q., Vu, C. V., Lalonde, T., Riaz, K., Syriani, E., and Sahraoui, H. A. (2023). Digital twins for cyber-biophysical systems: Challenges and lessons learned. In *26th ACM/IEEE MODELS*, pages 1–12, Västerås, Sweden. IEEE.
- de França, B. B. N. and Travassos, G. H. (2016). Experimentation with dynamic simulation models in software engineering: planning and reporting guidelines. *Empir. Softw. Eng.*, 21(3):1302–1345.
- De la Torre, R., Onggo, B. S., Corlu, C. G., Nogal, M., and Juan, A. A. (2021). The role of simulation and serious games in teaching concepts on circular economy and sustainable energy. *Energies*, 14(4):1138.
- Delécolle, A., Lima, R. S., Graciano Neto, V. V., and Buisson, J. (2020). Architectural strategy to enhance the availability quality attribute in system-of-systems architectures: a case study. In *15th IEEE International Conference of System of Systems Engineering, SoSE 2020, Budapest, Hungary, June 2-4, 2020*, pages 93–98. IEEE.
- França, B. and Graciano Neto, V. V. (2021). Opportunities for simulation in software engineering. In *Anais do III Workshop em Modelagem e Simulação de Sistemas Intensivos em Software*, pages 50–54, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Graciano Neto, V. V., Horita, F. E. A., dos Santos, R., Viana, D., and Kassab, M. (2018a). How much does it cost? a simulation-based method for cost prediction in systems-of-systems acquisition processes. In *Anais do III Workshop sobre Aspectos Sociais, Humanos e Econômicos de Software*, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Graciano Neto, V. V., Horita, F. E. A., dos Santos, R. P., Viana, D., Kassab, M., Manzano, W., and Nakagawa, E. Y. (2019). S.O.B (save our budget) - A simulation-based method for prediction of acquisition costs of constituents of a system-of-systems. *Braz. J. Inf. Syst.*, 12(4):6–35.
- Graciano Neto, V. V., Horita, F. E. A., Santos, R., Viana, D., Kassab, M., Manzano, W., and Nakagawa, E. Y. (2020). S.o.b (save our budget) - a simulation-based method for prediction of acquisition costs of constituents of a system-of-systems. *iSys - Brazilian Journal of Information Systems*, 12(4):6–35.
- 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., Antonino, P. O., and Nakagawa, E. Y. (2021). Foundations and research agenda for simulation of smart ecosystems architectures. In Scandurra, P., Galster, M., Mirandola, R., and Weyns, D., editors, *Software Architecture - 15th ECSA Tracks and Workshops*, volume 13365 of *LNCS*, pages 333–352, Växjö, Sweden. Springer.
- Graciano Neto, V. V., Manzano, W., Kassab, M., and Nakagawa, E. Y. (2018b). Model-based engineering & simulation of software-intensive systems-of-systems: experience report and lessons learned. In Pérez, J., Mirandola, R., and Chen, H., editors, *Proceedings of the 12th European Conference on Software Architecture: Companion Proceedings, ECSA 2018, Madrid, Spain, September 24-28, 2018*, pages 27:1–27:7. ACM.
- Graciano Neto, V. V., Oquendo, F., and Nakagawa, E. Y. (2017). Smart Systems-of-Information Systems: Foundations and an Assessment Model for Research Development. In Araujo, R., Maciel, R., and Boscaroli, C., editors, *Grand Challenges in Information Systems for the Next 10 years*, pages 1–12. Brazilian Computer Society, Porto Alegre, Brazil.
- Kim, T. G. and Zeigler, B. P. (1987). The DEVS formalism: hierarchical, modular systems specification in an object oriented framework. In Thesen, A., Grant, H., and Kelton, W. D., editors, *19th WSC*, pages 559–566, Atlanta, USA. 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.
- Legasto, A., Forrester, J. W., and Lyneis, J. M. (1980). *System dynamics*. North-Holland Amsterdam.
- Neto, V. G., Horita, F. E. A., dos Santos, R., Viana, D., and Kassab, M. (2018). How much does it cost? a simulation-based method for cost prediction in systems-of-systems acquisition processes. In *III WASHES*, Natal. 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.
- Pavón, J., Sansores, C., and Gómez-Sanz, J. J. (2008). Modelling and simulation of social systems with ingenias. *International Journal of Agent-Oriented Software Engineering*, 2(2):196–221.
- Pedro, R., Bulcão-Neto, R., Coutinho, E., and Graciano Neto, V. V. (2023). Uma análise do workshop de modelagem e simulação em sistemas intensivos de software. In *Anais do V Workshop em Modelagem e Simulação de Sistemas Intensivos em Software*, pages 1–10, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- 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: A Handbook by the Society for Modeling and Simulation International*, Simulation Foundations, Methods and Applications, pages 383–412. Springer.
- Von Bertalanffy, L. (1950). An outline of general system theory. *The British Journal for the Philosophy of science*, 1(2):134–165.