

## **Impacto do fator humano em modelos de simulação: um estudo na modelagem da simulação a eventos discretos e simulação baseada em agentes**

**Mona Liza Moura De Oliveira**  
[monaoli@yahoo.com.br](mailto:monaoli@yahoo.com.br)

**Rafael de Carvalho Miranda**  
[mirandaprod@yahoo.com.br](mailto:mirandaprod@yahoo.com.br)

**José Arnaldo Barra Montevechi**  
[montevechi@unifei.edu.br](mailto:montevechi@unifei.edu.br)

**Alexandre Ferreira de Pinho**  
[pinho@unifei.edu.br](mailto:pinho@unifei.edu.br)

### **RESUMO**

A simulação a eventos discretos (SED) tem sido amplamente utilizada na análise de processos. Entretanto, autores defendem a ideia que a SED não representa corretamente o fator humano, bem como os fatores que afetam a sua produtividade prejudicando os resultados simulados. Já a Simulação Baseada em Agentes (SBA) representa agentes como seres inteligentes, autônomos e proativos, características fortemente relacionadas ao comportamento humano. Portanto, combinou-se em um modelo a SBA com a SED para representar os operadores como agentes inserindo uma característica que influencia sua produtividade, o ritmo circadiano. Construiu-se ainda um modelo de SED da mesma linha e comparou-se a produção diária dos modelos com dados reais verificando estatisticamente que ambos estão validados. Entretanto, o modelo de SBA combinado a SED se aproxima mais dos valores reais, apresentando um erro relativo médio menor. Conclui-se que esta combinação favorece a representação do fator humano e melhor se aproxima da realidade.

**PALAVRAS CHAVE.** Simulação Baseada em Agentes, Simulação a Eventos Discretos, Ritmo Circadiano.

### **ABSTRACT**

The discrete event simulation (DES) has been widely used in systems analysis. However, authors defend the idea that the DES does not properly represent the human factor, as well as the factors that affect the productivity harming the simulated results. On the other hand the Simulation-Based Agents (ABS) represents agents as intelligent beings, autonomous and proactive, strongly related features to human behavior. Therefore, it was combined the ABS with the DES to represent operators as agents and a feature that affects the productivity was input, the circadian rhythm. A model of DES was constructed of the same production line and the daily output of the models was compared to with real data and both models are statistically validated. However, the ABS model combined the DES is closer to the real values, with a lower average relative error. We conclude that this combination favors the representation of the human factor and better approaches to reality.

**KEYWORDS.** Agent Based Simulation. Discrete Event Simulation. Circadian Rhythm.

## 1. Introdução

Os sistemas produtivos são constituídos de muitas operações que ocorrem aleatoriamente e de forma não linear fazendo com que muitas vezes modelos matemáticos ou outros métodos não sejam práticos para sua análise [O’Kane et al. 2000]. Nesse sentido, a simulação pode ser utilizada para a análise destes sistemas para garantir a qualidade e eficiência dos processos estocásticos e complexos que operam em ambientes que disponham de recursos limitados [Pecek e Kovacic 2011].

Para [Harrel et al. 2000] a simulação computacional pode ser definida como a representação virtual de um sistema da vida real por meio de um modelo, tornando possível o estudo do sistema sem que seja necessário construí-lo na realidade, ou mesmo fazer modificações nesse sistema, e estudar os resultados dessas modificações, sem que haja necessidade de alterá-lo previamente. A simulação é apontada como uma das técnicas de pesquisa mais utilizadas devido principalmente à sua versatilidade, flexibilidade e poder de análise [Ryan e Heavey 2006].

Contudo, existem certas situações que são difíceis de modelar utilizando a simulação a eventos discretos (SED), como por exemplo, em situações onde o modelador deve fazer suposições precisas sobre as decisões do elemento humano, a fim de adequar o seu comportamento ao formato de modelagem deste tipo de simulação [Dubiel e Tsimhoni 2005].

[Siebers 2006] acredita que a grande maioria dos softwares de simulação representa com alto nível de detalhes o comportamento de máquinas, mas considera os trabalhadores nos modelos como simples recursos, considerando valores de desempenho determinísticos para suas atividades. De acordo com [Baines et al. 2004], para melhorar a precisão da simulação é necessário representar de forma realista as pessoas, bem como seu comportamento e desempenho.

A simulação baseada em agentes (SBA) auxilia no melhor entendimento de sistemas do mundo real onde a representação ou modelagem de pessoas é importante e os indivíduos têm comportamentos autônomos [Siebers et al. 2010]. Para [Chan et al. 2010] a simulação baseada em agentes é diferente da clássica simulação a eventos discretos por causa da natureza de seus agentes que são proativos, autônomos e inteligentes.

[Dubiel e Tsimhoni 2005] afirmam que por meio da combinação da simulação a eventos discretos e da simulação baseada em agentes é possível modelar aspectos do sistema que não poderiam ser simuladas por qualquer um destes métodos de simulação separadamente. Dentro deste contexto, este trabalho tem como questão de pesquisa: é possível aproveitar-se das vantagens oferecidas pela combinação da simulação baseada em agentes com a simulação a eventos discretos para melhor representar o elemento humano e assim tornar os resultados simulados mais próximos do real?

Para sanar esta dúvida, o presente trabalho tem como objetivo construir dois modelos computacionais, um modelo integrando a SBA com a SED e outro modelo utilizando apenas a SED a fim de verificar qual modelo se aproxima mais dos resultados reais de produtividade de uma célula de manufatura. Cabe ressaltar que no modelo de SBA combinada a SED os operadores serão representados por agentes suscetíveis a um fator que influencia o desempenho do fator humano, o ritmo circadiano. Já no modelo de SED, os operadores serão representados por simples recursos.

O presente artigo encontra-se estruturado em seis seções: fundamentação teórica, onde são apresentadas as principais discussões sobre os temas abordados no trabalho, o método de pesquisa adotado, a aplicação deste método, a análise dos resultados, e por fim, a conclusão do trabalho.

## 2. Fundamentação teórica

### 2.1. Simulação a eventos discretos

A simulação é uma metodologia de solução de problemas indispensável para a solução de muitos problemas do mundo real, uma vez que pode ser utilizada para descrever e analisar o comportamento de um sistema [Banks 2000]. De acordo com [Chwif e Medina 2015], um modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade as características dos sistemas, buscando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando este fosse submetido às mesmas condições de contorno.

Para [Giannasi et al 2001], a simulação representa um modelo dinâmico de aspectos selecionados de um mundo real ou de um sistema imaginado que não resolve por si só os problemas relacionados ao sistema, mas oferece resultados e saídas que podem ser usados na resolução destes problemas. Segundo [Montevichi et al. 2007], a simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado, onde seu comportamento pode ser estudado sob diversas condições, sem riscos físicos e/ou altos custos envolvidos.

Segundo [Melão e Pidd 2006], a simulação a eventos discretos implica na construção de modelos computacionais de simulação que imitam um processo, de modo a explorar cenários e projetos alternativos. No entanto, para [Mason et al. 2005] a variação do desempenho humano é muitas vezes modelada incorretamente em modelos de SED, tendo como consequência resultados distorcidos da simulação, fornecendo apenas uma previsão grosseira do desempenho das pessoas nos sistemas de manufatura. Ainda segundo estes autores, existe uma grande necessidade de expandir a capacidade de modelagem da SED a fim de incluir representações precisas de variação do desempenho humano. Para [Baines et al. 2005], é preciso representar as pessoas de forma realista, considerando seu comportamento e desempenho, a fim de melhorar a exatidão da simulação.

## **2. 2. Simulação baseada em agentes**

[Chan et al. 2010] apontam que a simulação baseada em agentes difere-se da clássica simulação a eventos discretos devido à natureza dos agentes, uma vez que na SBA os agentes são proativos, autônomos e inteligentes, podendo iniciar ações, comunicar com outros agentes e tomar decisões por conta própria. Já na SED as entidades são simples, reativas e com capacidades limitadas.

Segundo [Macal e North 2009], apesar da simulação baseada em agentes estar relacionada a áreas do campo da inteligência artificial, ela não é apenas ligada à compreensão e concepção de agentes "artificiais", mas também está relacionada à necessidade de representar comportamentos, a interação social, colaboração, o comportamento do grupo, e seu possível surgimento. Para [Leitão 2009] a simulação baseada em agentes (SBA) tem sido aplicada em diversas áreas como: comércio eletrônico, negócios, controle de tráfego aéreo, controle de processos, telecomunicações além de aplicações na manufatura.

A SBA possibilita ainda a modelagem e simulação do desempenho humano e sua variabilidade comportamental, fatores fundamentais para uma análise segura do desempenho do sistema. De acordo com [Lee et al. 2005] um modelo computacional do desempenho humano pode ser definido como uma representação das características comportamentais humanas que podem ser implementadas e executadas em um ambiente de simulação.

### **2. 2.1 Agentes**

Para [Leitão 2009], o agente é um componente autônomo que representa objetos físicos ou lógicos, capaz de agir para alcançar seus objetivos e ainda interagir com outros agentes quando não possui conhecimento ou habilidade para alcançar sozinho estes objetivos. Para este autor, as propriedades mais importantes de um agente são: autonomia, inteligência, adaptação e cooperação. Os agentes são solucionadores de problemas individuais com certa capacidade de compreender e agir sobre seu ambiente, para decidir seu próprio curso de ação, bem como para comunicar com outros agentes. [Monostori et al. 2006].

Agente é a unidade do modelo que tem comportamento, memória, calendário, contatos, etc. e podem representar pessoas, companhias, projetos, ativos, veículos, cidades, animais, navios, produtos, entre outros elementos [Dong et al. 2012]. [Samuelson e Macal 2006] afirmam que um agente é um indivíduo discreto com um conjunto de características e regras governando seu comportamento e sua capacidade de tomar decisões.

### 2. 3. Ritmo circadiano

Os seres humanos são criaturas suscetíveis a uma queda de performance e um aumento de sonolência para possam repousar no momento apropriado. Como consequência, os seres humanos se sentem e se desempenham de forma diferente de um período do dia ao outro. Estas mudanças são chamadas de ritmos circadianos psicológicos e são movidas pelo marca-passo circadiano endógeno [Monk et al. 1997].

Para construir o modelo proposto de integração da simulação baseada em agentes com a simulação a eventos discretos, onde os agentes são influenciados pelo ritmo circadiano, é preciso entender como essa característica inerente ao ser humano pode influenciar no seu desempenho. Para este fim, buscou-se nos resultados apresentados em [Spencer 1987] a equação para se relacionar os impactos da regularidade do sono na performance do trabalho. O referido autor observou que a produtividade média na realização de um trabalho, é representada pelo Digit Symbol Substitution Task [DSST]:

$$DSST(T, t) = 233,3 + 1,54t - 0,304t^2 + 0,0108t^3 + 4,97 \cos(2\pi(T - 17,05)/24) \quad (1)$$

Onde, T e t são medidos em horas e a variável “T” representa a hora do dia, já a variável “t” o tempo transcorrido desde o acordar e o momento T. Cabe ressaltar que esta equação será utilizada para alterar a performance dos operadores ao longo do dia no modelo de SBA integrada a SED, onde os operadores serão representados por agentes.

### 3. Modelagem e simulação

Segundo [Bertrand e Fransoo 2002], a Modelagem e Simulação deve ser utilizada quando se deseja prever o efeito de mudanças no sistema ou avaliar seu desempenho ou comportamento. Em metodologias de pesquisas envolvendo a simulação, tem-se o modelo de pesquisa desenvolvido por [Mitroff et al. 1974], mostrado na Figura 1.

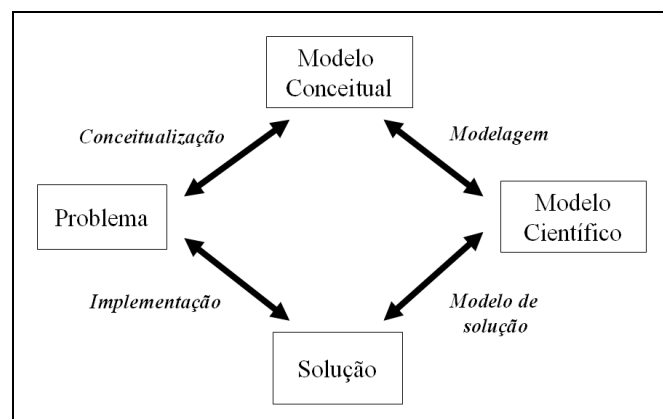


Figura 1- Passos para a realização de Modelagem e Simulação  
 Fonte: Adaptado de [Mitroff et al. 1974]

Na etapa da conceitualização, o pesquisador desenvolve um modelo conceitual do problema a ser estudado, definindo as variáveis relevantes do problema. Na fase de modelagem, constrói-se um modelo quantitativo especificando as relações causais entre as variáveis selecionadas na etapa anterior. Na fase de modelo de solução, utiliza-se um modelo de resolução de processos, através de regras matemáticas. E por fim, na fase de implementação, os resultados do modelo são aplicados.

Para [Bertrand e Fransoo 2002] nas pesquisas Axiomáticas Descritivas, os pesquisadores não passam pela fase de resolução de problemas, enquanto que nas Axiomáticas Normativas, os pesquisadores desenvolvem a modelagem e o modelo de solução. Já nas Empíricas Descritivas, os pesquisadores desenvolvem a conceitualização, modelagem e a validação e nas Empíricas Normativas, todo o ciclo é percorrido, sendo a mais completa das pesquisas.





De acordo com o apresentado anteriormente, pode-se afirmar que a metodologia de pesquisa utilizada no desenvolvimento deste trabalho é a Empírica Descritiva. Optou-se por esta metodologia, uma vez que este trabalho preocupa-se em gerar uma contribuição acadêmica ao expandir o conhecimento em relação à simulação baseada em agentes em conjunto com a simulação a eventos discretos.

#### 4. Aplicação do método

##### 4.1. Definição e modelagem conceitual do sistema

Os dados utilizados para o desenvolvimento deste artigo foram coletados do trabalho de [Paiva 2010] e está limitado aos cinco primeiros postos de manufatura uma vez que estes possuem somente atividades manuais. O trecho escolhido do sistema representa parte de uma linha de produção de chicotes elétricos responsável por produzir *kits* que serão roteados em mesas de montagem destes chicotes. Cada operador de uma célula é responsável por inserir uma quantidade pré-definida de componentes e entregar sua montagem para a célula posterior através de trilhos. O operador da última célula entrega o *Kit* final para que este possa ser roteado nas mesas de montagem do *conveyor*. A Figura 2 apresenta a modelagem conceitual do sistema simulado. Cabe ressaltar que o modelo conceitual foi construído através da utilização da técnica IDEF-SIM e na Tabela 1, têm-se a definição dos símbolos desta técnica utilizados neste modelo.

Tabela 1: Símbolos da técnica IDEF-SIM utilizados na modelagem conceitual

Elementos	Simbologia
Entidade	
Funções	
Fluxo da entidade	
Recursos	

Fluxo de entrada no sistema modelado	
Ponto final do sistema	

Fonte: Adaptado de Oliveira (2010)

A entidade 1, presente no modelo conceitual em IDEF-SIM da Figura 2, representa a demanda para a montagem de kits de chicotes elétricos. Essa demanda acontece em um ritmo de 23 peças/hora. O horário de trabalho é compreendido entre 8:00 e 17:00, com um intervalo entre 12:00 e 13:00, quando os operários se ausentam da linha de produção. Já a entidade 2 representa a entidade kit final que seria levado para as mesas de montagem.

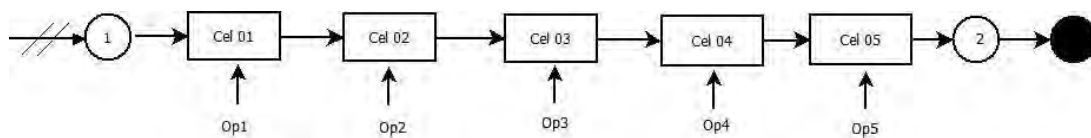


Figura 2- Modelo conceitual do sistema  
 Fonte: Adaptado de [Paiva 2010]

## 4.2. Modelagem computacional

Para a construção dos modelos computacionais propostos no trabalho, escolheu-se software *Anylogic*®, por este permitir a integração dos dois tipos de simulação. *Anylogic* é uma ferramenta muito flexível com um ambiente para a programação em Java e um suporte na especificação visual do sistema modelado em termos de biblioteca clássica da simulação [Borshchev et al. 2002].

### 4.2.1. Modelagem via SED

Para o primeiro modelo construído utilizou-se da simulação a eventos discretos, onde os operadores são representados como simples recursos e o tempo de cada uma de suas atividades está relacionado distribuição de probabilidade resultante de uma coleta de dados de tempo do sistema real. A distribuição de probabilidades encontrada para cada coleta de tempo das atividades das células encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2: Distribuição dos dados de tempo para cada célula

Células	Tempo (s)
Célula 01	N (139,3)
Célula 02	N (149,3)
Célula 03	N(153,4)
Célula 04	N(147,3)
Célula 05	N (153,2)

Fonte: Adaptado de [Paiva 2010]

Já na Figura 3, tem-se a tela do modelo computacional da linha de produção em estudo, modelo este construído no software Anylogic®.

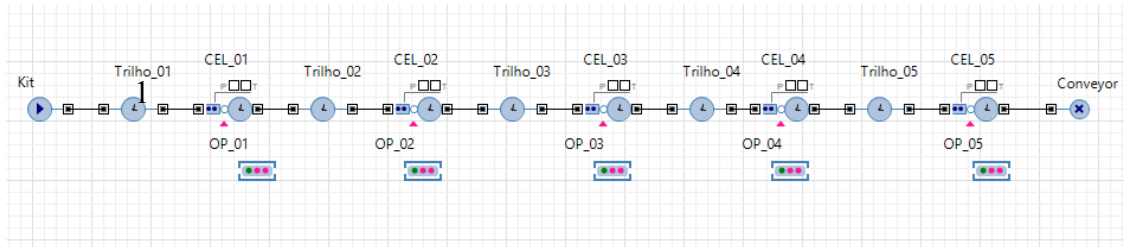


Figura 3- Modelo computacional de Simulação a Eventos Discretos

#### 4.2.1. Modelagem da SBA

O modelo computacional da simulação baseada em agentes (SBA) utiliza a mesma base do modelo utilizado na simulação de eventos discretos (SED). A principal diferença é que os operadores são representados por agentes, com características diferentes dos recursos da SED, uma vez que estes podem tomar decisões, como por exemplo, decidir a hora que cada agente desperta e serão influenciados pelo ritmo circadiano. Vale lembrar que esta influência é ditada pela equação de [Spencer 1987] que será inserida no gráfico de estado de cada agente operador.

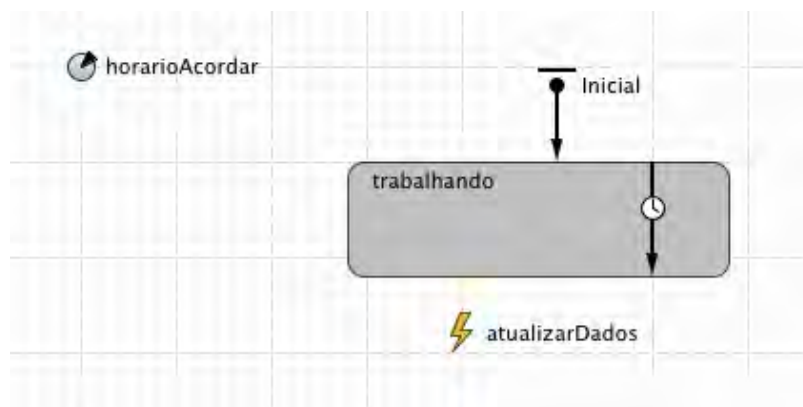


Figura 4- Representação do Agente na Simulação baseado em Agentes

A Figura 4 mostra a estrutura de um agente no modelo. O parâmetro *horarioAcordar*, representa a hora que o trabalhador irá despertar, valor este que será utilizado na equação (1) e é escolhido diariamente por cada agente. Esse parâmetro segue uma distribuição uniforme discreta que tem os valores variando entre 5 e 7 horas, conforme realidade dos funcionários da célula em análise. O ritmo circadiano irá influenciar ao longo do dia o comportamento do agente e como consequência afetará sua produtividade. Portanto, uma transição interna, que está representada com um relógio sobre ela, foi inserida no estado *trabalhando*, e irá atualizar de hora em hora essa produtividade a ser determinada pela equação (1) apresentada anteriormente.

### 5. Análise dos resultados

Após a modelagem computacional, realizou-se um teste estatístico para verificar se os modelos 1 e 2 podem ser considerados válidos, ou sejam se representam o sistema real. Cabe ressaltar que no modelo 1, utilizando SED, os operadores são representados como recursos. Já no modelo 2 que utiliza a SED combinada a SBA, os recursos humanos são representados por agentes que decidem, dentro de uma distribuição, que horas irão despertar, apresentando assim biorritmos variados para diferentes operadores e consequentemente variações na produtividade.

O teste estatístico utilizado para validação foi o teste de hipóteses *Two Sample t*, onde foi possível comparar os resultados do modelo computacional com os dados do sistema real. Para o desenvolvimento deste teste, certificou-se a normalidade dos dados reais e simulados e verificou-se ainda a igualdade de variância destes. Em seguida, realizou-se o teste de hipóteses e foi possível verificar que para ambos os modelos de simulação o *p-value* é maior que 0,05, ou seja, pode-se afirmar com 95% de confiança que os dados simulados são estaticamente iguais aos dados reais, podendo estes modelos ser considerados validados. Os valores dos *p-values* dos testes de hipóteses realizados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados dos testes de hipóteses realizados

	SED x dados reais	SBA +SED x dados reais
<i>P-value</i>	0,083	0,257

Uma vez que estes modelos são considerados válidos, é possível verificar então qual mais se aproxima do resultado do sistema real. Por meio do gráfico da figura 5, é possível comparar o comportamento dos resultados de ambos os modelos computacionais, SED e SBA, com relação aos dados reais do sistema em análise, neste caso a produtividade diária da célula. É possível verificar que o modelo de SBA combinado a SED é o que melhor se aproxima do comportamento do sistema produtivo real.

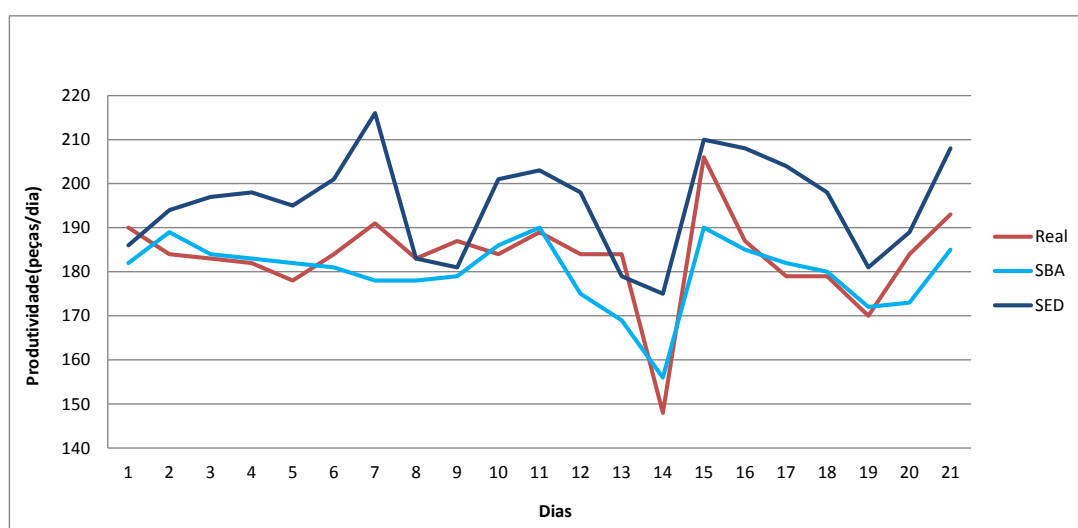


Figura 5- Gráfico dos resultados



A fim de quantificar a diferença entre dado simulado e dado real, calculou-se o erro relativo médio entre os resultados dos modelos computacionais e o resultado coletado na linha de produção real. Os resultados encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4: Erro relativo médio dos modelos simulados

	Modelo 1 (SED)	Modelo 2 (SBA + SED)
Erro relativo médio	7,6%	3,6%

É possível, portanto, verificar que o modelo 2 apresenta um erro relativo médio menor, ou seja, ambos os modelos computacionais da célula foram validados estatisticamente e podem representar o sistema real, mas o modelo que combina a SBA com SED representando os operadores por agentes influenciados pelo o ritmo circadiano apresenta resultados mais próximos do sistema real.

## 6. Conclusão

De acordo com alguns pesquisadores na literatura, a simulação a eventos discretos não representa corretamente o fator humano, nem as características que afetam a sua produtividade. Já a simulação baseada em agentes representa seus agentes como seres autônomos, inteligentes e proativos, características fortemente relacionadas ao fator humano.

A fim de verificar se a simulação baseada em agentes é uma possível solução para esta lacuna de representação do fator humano na simulação a eventos discretos, construiu-se um modelo de uma determinada linha de produção combinando a SBA com a SED. Os operadores foram representados por agentes e assim foi possível inserir uma das características do fator humano que afetam a produtividade, neste caso, o ritmo circadiano.

Construiu-se ainda, um modelo utilizando somente de simulação a eventos discretos a fim de comparar os modelos computacionais e verificar qual mais se aproxima do resultado real da linha produtiva em análise. Foi realizado um teste de hipóteses para validar os modelos computacionais e uma vez validados foi possível calcular o erro relativo médio entre resultados da produção diária dos modelos simulados e sistema real. Pode-se verificar que os resultados do modelo de SBA combinado a SED tem um erro relativo médio menor e, portanto tem uma aproximação maior dos dados reais quando comparados aos do modelo de SED.

Portanto é possível responder a questão de pesquisa levantada neste trabalho, confirmando que a simulação baseada em agentes integrada a simulação a eventos discretos melhor representa a linha de produção em estudo. O modelo de SBA combinado a SED, além de ser validado estatisticamente, ainda apresenta resultados mais próximos do real do que SED, isso porque a SBA permite inserir nos agentes características inerentes ao ser humano, como o ritmo circadiano, conferindo um maior nível de realidade aos operadores.

Para trabalhos futuros, sugere-se a comparação entre modelos de simulação baseada em agentes e simulação a eventos discretos considerando outros fatores que podem afetar a produtividade do ser humano, como por exemplo, fatores ambientais.

## Agradecimentos:

Os autores agradecem aos órgãos de fomento CAPES, FAPEMIG e CNPq.

## Referências

- Baines, T. S., Asch, R., Hadfield, L., Mason, J. P, Fletcher, S., Kay, J. M. (2005). Towards a theoretical framework for human performance modeling within manufacturing systems design. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 13: 486–504.
- Baines, T. S., Mason, S., Siebers, P. O., Ladbrook, J. (2004). Humans: the missing link in manufacturing simulation? *Simulation Modelling Practice and Theory*, 12: 515–526.
- Banks, J. Introduction to simulation (2000). In *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. Atlanta, WSC.
- Bertrand, J. W. M., Fransoo, J. C. (2002). Modelling and Simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, 22:241-264.
- Borshchev, A., Karpov, Y., Kharitonov, V. (2002). Distributed simulation of hybrid systems with AnyLogic and HLA. *Future Generation Computer Systems*, 18(6): 829-839.
- Chan, W. K. V., Son, Y. J., Macal, C. M. (2010). Agent-Based Simulation Tutorial -Simulation of Emergent Behavior And Differences Between Agent-Based Simulation And Discrete-Event Simulation. In: *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 135-150, Baltimore, MD, WSC.
- Chwif, L., Medina, A. C. (2015). Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações. São Paulo: Ed. dos Autores.
- Dong, F., Liu, H., Lu, B. (2012). Agent-based Simulation Model of Single Point Inventory System, *Systems Engineering Procedia*, 4:298 – 304
- Dubiel, B.; Tsimhoni, O. (2005). Integrating Agent Based Modeling into a Discrete Event Simulation. In: *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, 1029-1037, Orlando, Flórida, WSC.
- Emrich, S., Suslov, S., Judex, F. (2007). Fully Agent Based Modellings Of Epidemic Spread Using Anylogic, In: *Proceedings of the EUROSIM*, 1-7.
- Giannasi, F., Lovett, P.; Godwin, A. N. (2001). Enhancing confidence in discrete event simulations. *Computers in Industry*, 44: 141-157.
- Grigoryev, I. (2012). AnyLogic 6 in three days: a quick course in simulation modeling. Hampton, NJ: AnyLogic North America.
- Harrell, C., Ghosh, B. K., Bowden, R. (2000). Simulation Using Promodel. 3. ed., Boston: McGraw-Hill.
- Lee, S. M., Remington, R. W., Ravinder, U. (2005). A framework for modeling and simulating human behavior in complex systems. In *Systems, Man and Cybernetics*, IEEE International Conference, 4: 3161-3166.
- Leitão, P. (2009). Agent-based distributed manufacturing control: A state-of-the-art survey. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22. 979–991.

- Macal, C. M., North, M. J. (2009). Agent-Based Modeling And Simulation. In: *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*. 87-98, Austin, Texas, WSC.
- Melão, N., Pidd, M. (2006). Using component technology to develop a simulation library for business process modeling. *European Journal of Operational Research*, 172: 163–178.
- Monostori, L., Váncza, J., Kumara, S. R. (2006). Agent-based systems for manufacturing. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 55(2): 697-720.
- Montevichi, J. A. B., Pinho, A. F. De, Leal, F, Marins, F. A. S. (2007). Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Washington, DC, USA.
- Monk T. H., Buysse D. J., Reynolds C. F., Berga S. L., Jarret D. B., Begley A. E., Kupfer D. J. (1997), Circadian rhythms in human performance and mood under constant conditions. *European Sleep Research Society*, 6:9-18.
- O’kane, J.F., Spenceley, J.R.; Taylor, R. (2000). Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems. *Journal of Materials Processing Technology*, 107, 412-424.
- Oliveira, M. L. M. (2010). Análise da Aplicabilidade da Técnica de Modelagem IDEF-SIM nas etapas de um Projeto de Simulação a Eventos Discretos. Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia De Produção da UNIFEI. Itajubá.
- Paiva, C. N. (2010). A relevância do fator humano na simulação computacional. Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia De Produção da UNIFEI. Itajubá.
- Pecek, B., Kovacic, A. (2011). Business process management: use of simulation in the public sector. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 24(1): 95-106.
- Ryan, J, Heavey, C. (2006). Process modeling for simulation. *Computers in Industry*, 57: 437-450.
- Samuelson, D.A. E Macal, C.M.( 2006). Agent-Based Simulation Comes of Age: Software opens up many new areas of application [http:// www.lionhrtpub.com/orms/orms-8-06/agent.html](http://www.lionhrtpub.com/orms/orms-8-06/agent.html) . Acessado em 2016-05-03.
- Siebers, P.O.(2006). Worker Performance Modeling in Manufacturing Systems Simulation. Chapter in J-P. Rennard (Eds.) *Handbook of Research on Nature. Inspired Computing for Economy and Management*. Pennsylvania: Idea Group Publishing.
- Siebers,P.O., Macal, C.M., Garnett, J., Buxton, D., Pidd, M. (2010), Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation! *Journal of Simulation*, 4: 204–210.
- Spencer, M. B. (1987). The influence of irregularity of rest and activity on performance: a model based on time sleep and time of day. *Ergonomics*. 30:1275-1286.
- Wooldridge, M. J., Jennings, N. R. (1995). Intelligent Agents: Theory and Practice. *The Knowledge Engineering Review*, 10: 115-152.

Zhao, C., Zhang, X., Qiu, J. (2012). Modelling and Simulation on Collaborative Work in Cellular Manufacturing, *Proceedings of the 16th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*, 730-733.