

USO DO RITMO CIRCADIANO E RITMO DE TRABALHO EM UM PROCESSO PRODUTIVO ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES

Danillo Lopes Nunes

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Rua Dr. Pereira Cabral, 1303, Itajubá - MG
dlopesn13@gmail.com

João Paulo Barbieri

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Rua Dr. Pereira Cabral, 1303, Itajubá - MG
j.p.barbieri@hotmail.com

Renato Pontes Rodrigues

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Rua Dr. Pereira Cabral, 1303, Itajubá - MG
renatoehd@yahoo.com.br

Danielle Mayumi Campos Tamaki

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Rua Dr. Pereira Cabral, 1303, Itajubá - MG
Danielletamaki@gmail.com

Alexandre Ferreira de Pinho

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Rua Dr. Pereira Cabral, 1303, Itajubá - MG
pinho@unifei.edu.br

RESUMO

Muitos trabalhos científicos têm utilizado a Simulação a Eventos Discretos (SED) no que diz respeito à análise de sistemas. Porém, é comum encontrar na literatura a questão em que os resultados da simulação são superestimados e esta lacuna entre real e simulado se deve ao fato da SED não representar de maneira coerente o elemento humano e os fatores que influenciam na sua produtividade. De forma contrária, a Simulação Baseada em Agentes (SBA) tem sido considerada a ferramenta ideal para demonstrar as características que estão intrinsicamente ligadas ao ser humano, uma vez que representa as pessoas como agentes inteligentes, autônomos e proativos, características fortemente relacionadas ao comportamento humano. Combinou-se então neste trabalho a SED e a SBA, em modelos de simulação, com o intuito de representar os operadores de uma linha de produção como agentes. Para isso, utilizou-se de duas características inerentes ao ser humano para se construir os modelos, o ritmo circadiano e também o Sistema Westinghouse que considera o ritmo dos trabalhadores e, conseqüentemente, a produtividade dos mesmos foi comparada e analisada. Construiu-se ainda um modelo de SED da mesma linha e comparou-se a produção diária dos dois modelos com este novo modelo criado, de forma que se verificou que ambos os modelos integrados à SBA representam o modelo padrão de simulação e também que existe diferença significativa nos modelos quando consideradas características diferente dos operadores, ambas influenciando na produtividade dos mesmos.

PALAVARAS CHAVE. SBA, SED, Ritmo Circadiano, Sistema Westinghouse.

Área principal (Simulação)

Tópicos (Introdução, Fundamentação Teórica, Modelagem e Simulação, Aplicação do Método e Conclusões)

ABSTRACT

Many scientific studies have used the Discrete Event Simulation (DES) with regard to systems analysis. However, it is common to find in the literature the issue in which the simulation

results are overestimated and this gap between real and simulated is because the DES does not represent a coherent way the human element and the factors that influence their productivity. Conversely, the Simulation-Based Agents (ABS) has been considered the ideal tool to demonstrate the features that are intrinsically linked to human, as it represents the people as intelligent, autonomous and proactive agents, strongly related features to human behavior. It was agreed then this work the DES and the ABS in simulation models in order to represent the operators of a production line as agents. For this, we used two characteristics of the human being to build models, the circadian rhythm as well as the Westinghouse system, which considers the pace of working and therefore the productivity thereof was compared and analyzed. was built still a DES model of the same line and compared the daily production of the two models with this new model created, so that it was found that both integrated into the ABS models represent the standard simulation model and also that there is a difference significant models when considered different characteristics of operators, both influencing the productivity of the same.

KEYWORDS. ABS, DES, Circadian Rhythm, Westinghouse System.

Main area (Simulation)

Paper topics (Introduction, Theoretical Foundation, Modeling and Simulation, Method of Application and Conclusions)

1. Introdução

De acordo com O’Kane *et al.* (2000), observa-se a existência de diversas operações discretas em arranjos de manufatura e que, considerando os modelos matemáticos, a ocorrência desses eventos se dá de maneira não aleatória. Entretanto, segundo Chwif e Medina (2006), um modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade essas características, procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições de contorno.

Desde o final do século XX, a Simulação a Eventos Discretos (SED) vem sendo aplicada em larga escala nas organizações com o objetivo de melhorar seus processos organizacionais, portanto, modelos computacionais de simulação são construídos de forma a repetir e explorar as diversas opções inerentes ao processo produtivo estudado (MELÃO; PIDD, 2006). Em razão de sua flexibilidade, versatilidade e poder de análise, pode-se afirmar que a simulação computacional se tornou uma das técnicas de pesquisa mais utilizadas (RYAN e HEAVEY, 2006).

Em contrapartida, em certas ocasiões, ao utilizar a modelagem por meio da SED, ocorrem situações de dificuldade para o modelador, pois o mesmo é obrigado a fazer suposições certas com relação aos comportamentos do fator humano e, posteriormente, esses comportamentos devem ser ajustados na modelagem da SED (DUBIEL; TSIMHONI, 2005). Nesse contexto, nota-se a dificuldade em modelar os comportamentos individuais através da SED.

Para Siebers *et al.* (2010) 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. Zhao, Zhang e Qiu (2012) afirmam que o comportamento humano pode ser representado adequadamente através do uso de agentes e sistemas multi-agente.

Além da identificação de particularidades de um ambiente, os modelos baseados em agentes possibilitam interações entre agentes e a escolha de um caminho para uma determinada ação (SAKURADA; MIYAKE, 2009). Macal e North (2009) afirmam que, devido ao fato da SBA permitir a inserção de alto nível de individualização, autonomia e interatividade aos agentes observados em um sistema modelado, a SBA é um novo paradigma de modelagem para futuros projetos de sistemas de manufatura.

Para Chan, Son e Macal (2010) simulação baseada em agentes é diferente da clássica simulação a eventos discretos por causa da natureza dos agentes que são proativos, autônomos e

inteligentes. Ainda segundo os autores, a SBA é um modelo de simulação híbrida de discreta e contínua, com entidades proativas, autônomas e inteligentes. Dubiel e Tsimhoni (2005) ressaltam a importância em utilizar a SED e SBA em conjunto, pois dessa maneira torna-se possível modelar particularidades de um determinado sistema. Por exemplo, sem a definição de um caminho ou de decisões, é plausível modelar o padrão de decisões e movimentos de indivíduos por meio da integração dessas duas técnicas de simulação.

Para Monk e Leng (1982) muitos de nossos processos, de sistemas basais, como a produção de hormônios, digestão, dentre outros, para sistemas de alto nível, como cognição e locomoção apresentam variações de excitação e eficiência ao longo do tempo. Alguns, como o ritmo circadiano, variam de acordo com uma função relativamente simples, com um período de 24 h, enquanto outros mostram variações mais complexas ao longo de semanas, meses e até anos.

É importante ressaltar que, considerando a SED e a SBA, esse artigo também leva em consideração a avaliação do ritmo por meio Sistema Westinghouse. A parte mais relevante e difícil do estudo de tempo e a determinação do fator de ritmo de um trabalho. Pode-se afirmar que o ato de avaliar o ritmo de trabalho de um operador está intrinsicamente ligado ao conceito de desempenho padrão do observador. Por isso, a avaliação do ritmo pode ocorrer de diversas maneiras possíveis (BARNES, 1977; SLACK, 2009).

Para sanar esta dúvida, o presente trabalho tem como objetivo construir modelos que integrem simulação baseada em agentes com simulação a eventos discretos, considerando o ritmo circadiano e o ritmo de trabalho do operador e como isto afeta a produtividade semanal do processo em estudo.

O artigo apresenta os seguintes conteúdos: fundamentação teórica, onde são apresentadas as principais referências sobre o tema, o método de pesquisa adotado, a aplicação deste método, a análise dos principais resultados, a conclusão final do trabalho, bem como os agradecimentos, e por fim, as referências utilizadas.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Simulação a Eventos Discretos

Considerando as diversas situações que ocorrem na realidade, Banks (2000) argumenta que 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. Conforme Montevechi et al. (2007), a simulação pode ser entendida como a transferência de informações do ambiente real para um ambiente controlado, dessa forma, nesse ambiente controlado é possível desenvolver estudos sob diversas circunstâncias com ausência de riscos físicos e/ou riscos elevados de custos.

Harrel et al. (2004) salientam que através da simulação computacional torna-se possível representar um sistema real por meio de um modelo, dessa maneira pode ocorrer o desenvolvimento de estudos sobre determinado sistema em ambiente virtual sem a necessidade de construir tal sistema na vida real, também existe a possibilidade de modificar e estudar tais modificações nesse sistema sem que, previamente, seja necessário alterá-lo.

Para Giannasi et al. (2001), a simulação corresponde a um modelo dinâmico onde as características do sistema são retiradas da realidade ou do campo imaginário. Nesse contexto, a simulação tem a capacidade de oferecer informações a respeito do sistema estudado, porém é importante ressaltar que a mesma não resolve os diversos problemas relacionados ao sistema.

Com isso, de forma a se investigar diferentes contextos, a SED demanda a construção de modelos computacionais que possam representar adequadamente um sistema presente na realidade (MELÃO; PIDD, 2006).

Entretanto, de acordo com Dubiel e Tsimhoni (2005), existem certas situações que são difíceis de modelar utilizando a simulação a eventos discretos. Segundo os mesmos autores, o modelador deve fazer suposições muito precisas sobre as decisões do elemento humano, a fim de adequar o seu comportamento no formato de modelagem da simulação a eventos discretos. As decisões em tempo real de entidades individuais seriam muito difíceis de modelar utilizando este tipo de simulação.

Com isso é notável na simulação a eventos discretos uma lacuna a se preencher no que diz respeito ao fator humano dentro da simulação, de forma que se tenha uma maior aproximação com a realidade e com as características específicas deste fator em meio à simulação. Segundo 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

Em diversos campos da ciência, a SBA vem alcançando uma grande aceitação. Em suma, a ferramenta permite experimentos virtuais que levam em consideração processos de tomada de decisão e interações entre agentes; dessa forma, criam-se modelos de representação da realidade mundana e as ações dos agentes são simuladas e observadas (JANSSEN; OSTROM, 2006; ANDRADE NETO, 2010; OLIVEIRA, 2012).

Segundo Chan, Son, Macal (2010), a simulação baseada em agentes difere-se da clássica simulação a eventos discretos devido à natureza dos agentes. Para estes autores, 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.

De acordo com Macal e North (2009), além da SBA estar relacionada com a concepção e a compreensão dos agentes, ela também está intrinsecamente conectada com a necessidade de demonstrar o comportamento de um determinado grupo, bem como as interações, as ações e os comportamentos dos agentes inseridos nesse grupo.

De acordo com Dubiel e Tsimhoni (2005), a simulação baseada em agentes tem sido utilizada para modelar diferentes situações como evolução social, segregação, propagação de doenças, efetividade de propagandas e também na simulação de indústrias ao longo das últimas décadas. Já Leitão (2009) afirma que 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.

No decorrer das últimas décadas, diversos pacotes de softwares surgiram para auxiliar os estudos de modelagem baseada em agentes. Consequentemente, devido à facilidade de efetuar modelagens por meio desses softwares, é plausível dizer que houve uma considerável expansão na utilização da SBA. Assim sendo, é importante salientar que os principais softwares de SBA utilizados na modelagem de sistemas são AnyLogic, NetLogo, Ascape, Swarm, MASON e Repast (SAMUELSON; MACAL, 2006).

Com relação ao software AnyLogic, o pesquisador pode utilizá-lo combinando variadas técnicas e abordagens. Dessa maneira, o software permite simular sistemas complexos através da combinação de equações diferenciais, SED e SBA. É conveniente lembrar que o AnyLogic ajuda substancialmente na modelagem de sistemas híbridos e que o software se baseia na linguagem de programação JAVA (EMRICH *et al.*, 2007).

2.2.1 Agentes

A modelagem efetuada com agentes permite uma investigação mais aprofundada de características ligadas à racionalidade imperfeita e social. Também é possível observar os diferentes comportamentos dos agentes em locais distintos (ANDRADE NETO, 2010). O pesquisador Andrade Neto (2010) também sugere que entidades espaciais, como agricultores ou famílias, podem ser representadas por agentes.

Para Grigoryev (2012) existe uma discussão acadêmica quando se tenta definir quais propriedades um objeto deve ter para ser chamado de agente. Entretanto, o mesmo autor, apresenta alguns fatos que podem auxiliar nessa discussão:

- Agentes não necessariamente vivem em um espaço discreto, já que em muitos modelos o espaço pode não existir.
- Agentes não necessariamente são pessoas. Podem ser veículos, peças de equipamentos, projetos, ideias, organizações ou até mesmo um investimento;
- Um objeto que pareça ser um objeto absolutamente passivo pode ser um agente;

- Podem existir muitos ou poucos agentes em um modelo baseado em agentes;
- Existem modelos baseados em agentes onde os agentes não interagem.

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, LIU e LU, 2012).

Conforme Leitão (2009), a cooperação, a inteligência, a autonomia e a adaptação são características que estão intimamente ligadas com um determinado agente. Portanto, o autor argumenta que o agente tem a capacidade de interação com outros agentes, podendo representar objetos lógicos ou físicos.

A principal característica de um agente é a capacidade de tomar decisões independentes. Um agente é um indivíduo discreto com um conjunto de características e regras governando seu comportamento e sua capacidade de tomar decisões (SAMUELSON E MACAL, 2006). Para Wooldridge and Jennings (1995), as propriedades que distinguem um agente são: autonomia, reatividade, pró-atividade e sociabilidade.

2.3 Ritmo Circadiano

Para poder ser feita a integração da SBA com a SED, utilizando o ritmo circadiano, é necessário entender como essa característica inerente ao ser humano pode influenciar no desempenho de seu labor.

Através de um experimento realizado por Spencer (1987), foi verificado quais os impactos da regularidade do sono na performance do trabalho. Assim, o autor observou que a produtividade média na realização de um trabalho, é representada pelo Digit Symbol Substitution Task (DSST):

$$DSST(T, t) = 233,3 + 1,54xt - 0,304xt^2 + 0,0108xt^3 + 4,97x \cos\left(2\pi x \frac{(T-17,05)}{24}\right) \quad (1)$$

A variável utilizada no estudo, a tarefa de substituição de símbolos digitais (DSST), é previsto para a “hora do dia”, T, e o “tempo transcorrido desde o acordar e o momento T”, t. O resultado para um operador que acorda 3 horas antes de começar cada turno de trabalho é apresentado na Figura 2.1. A Equação 1 representa a variação no tempo da atividade para um operador que esteja executando qualquer tarefa.

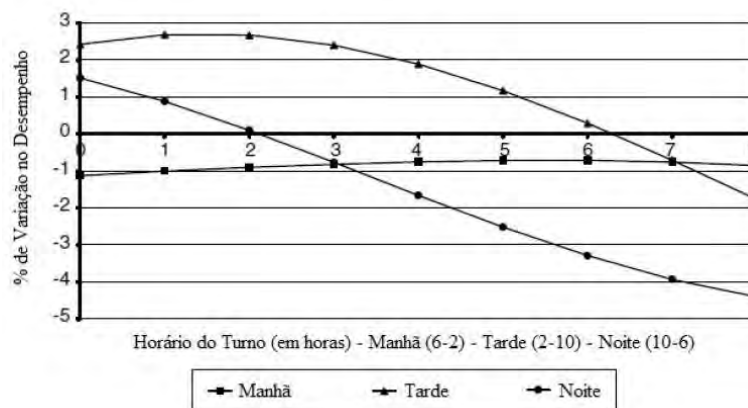


Figura 2.1 - Modelo de desempenho humano relacionado ao ritmo circadiano
 Fonte: Baines et al. (2004).

2.4. Sistema Westinghouse para avaliação do ritmo

Apesar das transformações ocorridas no mundo desde que Frederick W. Taylor construiu os pilares da Administração Científica e desenvolveu o Estudo de Tempos Cronometrados, a cronometragem é o método que continua sendo utilizado nas organizações com a intenção de estabelecer padrões para os custos e os processos produtivos (MARTINS; LAUGENI, 2002).

O aumento da produtividade, a redução de custos e a racionalização são questões centrais nos estudos de movimentos e tempos (MACHLINE, C. *et al.*, 1974). Segundo Leal *et al.* (2009), a análise da capacidade produtiva de um sistema sob o ponto de vista da utilização do tempo padrão encontra-se no bojo dos conceitos e princípios da Administração Científica, cujo objetivo é o aumento da produtividade por meio da racionalização do trabalho.

Considerando os estudos de tempos e movimentos de Taylor e dos Gilbreths, Ralph M. Barnes (1977) menciona o elemento ritmo. De acordo com Barnes (1977), determinar o fator de ritmo de um trabalho é provavelmente a parte mais relevante e, também, mais difícil do estudo de tempo. Segundo Slack *et al.* (2009), o ato de avaliar o ritmo de trabalho de um operador está intrinsecamente conectado ao conceito de desempenho padrão do observador. Dessa maneira, a avaliação do ritmo pode ser efetuada de diversas maneiras.

Todavia, Barnes (1977) cita 6 (seis) sistemas para avaliação de ritmo, são eles (1) Avaliação do ritmo através da habilidade e do esforço, (2) Sistema Westinghouse para avaliação do ritmo, (3) Avaliação sintética do ritmo, (4) Avaliação objetiva do ritmo, (5) Avaliação fisiológica do nível de desempenho, (6) Desempenho do ritmo. Todavia, neste artigo dar-se-á ênfase no Sistema Westinghouse para avaliação do ritmo.

O Sistema Westinghouse para avaliação do ritmo leva em consideração quatro fatores para estimar a eficiência do trabalho de um operador. Conforme a Tabela 2.1, os quatro fatores são: Habilidade; Esforço; Condições; Consistência (BARNES, 1977).

O Sistema Westinghouse para avaliação do ritmo atribui valores gradativos para cada elemento, levando em consideração o padrão normal. De acordo com Rodrigues *et al.* (2013) a fórmula a seguir mostra de maneira matemática como o ritmo do operador pode ser representado:

$$R = 1 + \sum F \quad (2)$$

Logo, R significa o ritmo do operador e o somatório representa a soma dos quatro fatores que estimam a eficiência do trabalho de um operador.

Tabela 2.1 - Estimativas de desempenho

HABILIDADE			ESFORÇO		
+0,15	A1	Super-hábil	+0,13	A1	Excessivo
+0,13	A2		+0,12	A2	
+0,11	B1	Excelente	+0,10	B1	Excelente
+0,08	B2		+0,08	B2	
+0,06	C1	Bom	+0,05	C1	Bom
+0,03	C2		+0,02	C2	
0,00	D	Médio	0,00	D	Médio
-0,05	E1	Regular	-0,04	E1	Regular
-0,10	E2		-0,08	E2	
-0,16	F1	Fraco	-0,12	F1	Fraco
-0,22	F2		-0,17	F2	
CONDIÇÕES			CONSISTÊNCIA		
+0,06	A	Ideal	+0,04	A	Perfeita
+0,04	B	Excelente	+0,03	B	Excelente
+0,02	C	Boa	+0,01	C	Boa
0,00	D	Média	0,00	D	Média
-0,03	E	Regular	-0,02	E	Regular
-0,07	F	Fraca	-0,04	F	Fraca

Fonte: Adaptado de Barnes (1977)

3. Modelagem e Simulação

Com relação ao gerenciamento de operações, a simulação pode ser aplicada na solução de problemas reais que abrangem aspectos de planejamento, processos de projeto, controle e operação tanto em organizações de serviços quanto em indústrias de manufatura. Assim sendo, a simulação pode ser utilizada para presumir situações de mudança no sistema. A simulação também auxilia na avaliação do desempenho e comportamento do sistema (BERTRAND; FRANSOO, 2002).

Como pode ser observado, a Figura 3.1 mostra o modelo de pesquisa envolvendo a simulação de acordo Mitroff *et al.* (1974).

Vale acrescentar que, conforme Bertrand e Fransoo (2002), os modelos quantitativos são constituídos por diversas variáveis que podem sofrer alterações sobre um específico domínio. Os mesmos autores salientam que para modelagens quantitativas existem duas classes de metodologia, sendo elas: pesquisas empíricas e pesquisas axiomáticas. Nas pesquisas empíricas, o pesquisador declara a existência de um modelo que ajusta as ações e as observações da realidade. Já nas pesquisas axiomáticas, a obtenção de soluções dentro de um modelo específico é a principal preocupação do pesquisador. É importante destacar que a pesquisa axiomática permite a produção de conhecimento sobre determinadas variáveis do modelo.

No que se refere às pesquisas empíricas e axiomáticas, é possível classificá-las como normativas e descritivas. Nas pesquisas empíricas normativas, considera-se o desenvolvimento de políticas, ações e estratégias visando melhorar a situação atual. Nas pesquisas empíricas descritivas, a preocupação está na criação de modelos que possam descrever as relações causais que existem na realidade. Com relação às pesquisas axiomáticas normativas, a pesquisa central ocorre por meio de um modelo de solução do processo. Já nas pesquisas axiomáticas descritivas, um modelo conceitual é buscado na literatura para que um modelo científico seja desenvolvido (BERTRAND; FRANSOO, 2002).

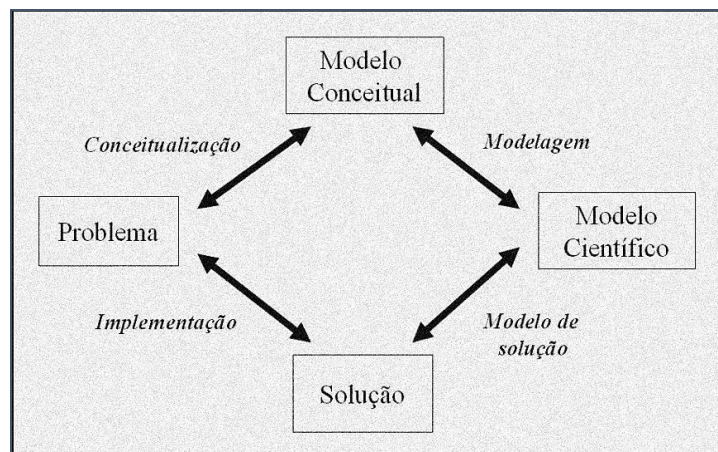


Figura 3.1 – Estrutura de pesquisa em Simulação
 Fonte: Adaptado de Mitroff *et al.* (1974)

De acordo com o que foi citado anteriormente, pode-se afirmar que a metodologia de pesquisa utilizada neste projeto é a Empírica Descritiva. Optou-se por esta metodologia, pois este trabalho preocupa-se em gerar uma contribuição acadêmica no conhecimento com relação à simulação baseada em agentes em conjunto com a simulação a eventos discretos.

Outros autores, tendo como referência o método proposto por Mitroff *et al.* (1974), elaboraram diferentes métodos para aplicação da simulação. Um desses métodos proposto por Montevechi *et al.* (2010) é utilizado nesta pesquisa. Os autores construíram um fluxograma de forma a representar a lógica de um projeto de simulação que usa o planejamento e análise de experimentos para conduzir a fase de análise dos resultados do modelo de simulação.

4. Aplicação do método

4.1 Concepção

De forma a se fazer a modelagem dos dados de entrada, foi observado todo o processo e foram levantados todos os dados necessários para a elaboração do modelo conceitual e do modelo computacional. Primeiramente, observou-se o tempo de trabalho dos operadores, representado pelo turno de serviço. A empresa trabalha em apenas um turno, iniciando o expediente as 07h40min e encerrando as 17h00min, contando com um intervalo reservado para o almoço dos operadores entre 11h40min e 13h00min. Trabalha-se semanalmente de segunda a sexta-feira, completando-se assim um regime de trabalho de 40 horas semanais. Os tempos de processamento de cada uma das etapas do processo em análise estão representados por meio de distribuições na Tabela 4.1.

O processo produtivo utilizado no desenvolvimento deste artigo se resume a oito etapas de uma linha de produção de placas de circuito utilizadas em geladeiras, com grande atividade manual dos operadores. Cada operador realiza sua atividade e em seguida direciona a peça trabalhada para a etapa seguinte da linha de produção. Foi realizada a modelagem conceitual do processo através da técnica IDEF-SIM e está apresentada na Figura 4.1.

Tabela 4.1 – Distribuição obtida para os tempos de processamento coletados através da cronoanálise

Etapa do Processo Produtivo	Distribuição de Probabilidade (s)
PTH01	Normal (9,84; 65,8)
PTH02	Normal (7,28; 57,3)
PTH03	Normal (5,39; 48,1)
Revisão PCI	Uniforme (77; 97)
TOUCH-UP	Uniforme (140; 226)
CQP	Normal (72,9; 10,1)

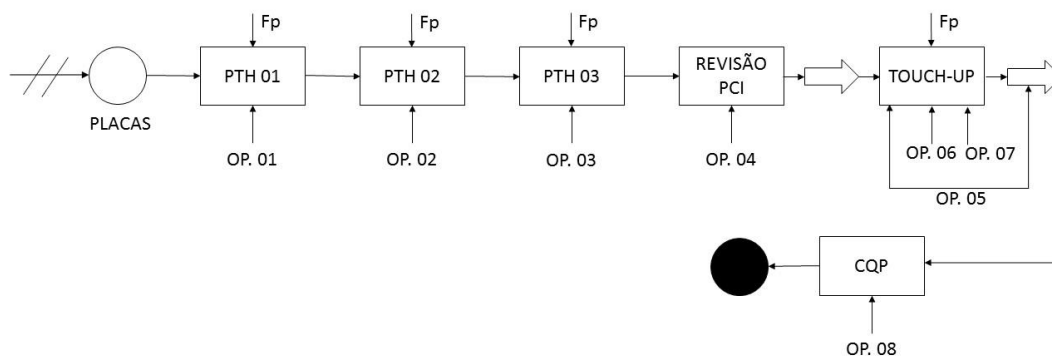


Figura 4.1 – Modelo Conceitual representado por IDEF-SIM

A fabricação das placas inicia na etapa PTH01, onde os primeiros componentes eletrônicos são inseridos na placa manualmente por meio de um operador que utiliza como referência a folha de processo 1 que serve para indicar onde cada componente deveria ser colocado. Na etapa PTH02, mais componentes eletrônicos eram inseridos na placa manualmente por meio de um operador que utilizava como referência a folha de processo 2, semelhante ao primeiro processo. A terceira etapa, PTH03, representa a última parte da inserção de componentes eletrônicos na placa, também realizada por um operador que utilizava como referência a folha de processo 3, de forma similar aos dois processos anteriores. Na sequência, as placas chegam à revisão da PCI, onde um operador

verifica se a montagem no processo anterior estava correta; segue-se então para a etapa *Touch-Up*, nessa etapa três operadores observando as orientações da folha de processo realizam a inserção de componentes mais críticos do ponto de vista da montagem. Ou seja, componentes mais trabalhosos para inserir e que requerem vários pontos de solda específicos.

Na etapa CQP (Controle de Qualidade da Produção), um operador tem como tarefa verificar se até esse estágio a placa está corretamente montada e se todas as soldas da placa estão feitas e se não há nenhum curto-circuito ou sujeira na mesma. Com isso este processo se finda e as placas neste estágio final são transferidas para um outro processo.

4.2 Implementação

O software AnyLogic® foi escolhido para a modelagem computacional dessa pesquisa, uma vez que, mediante os inúmeros softwares disponíveis no mercado para aplicação da simulação computacional é o único (até o término do desenvolvimento dessa pesquisa) que possibilita a criação de um modelo computacional integrando a SBA com a SED.

Procurou-se então desenvolver três modelos distintos para se averiguar as características do fator humano em meio ao processo produtivo. O primeiro modelo computacional desenvolvido está ilustrado na Figura 4.2 e representa o modelo elaborado através da SED apenas, considerando os operadores como simples recursos. Foram utilizadas as distribuições de tempo definidas anteriormente para cada um dos processos e os operadores seguiam esta distribuição de tempo.

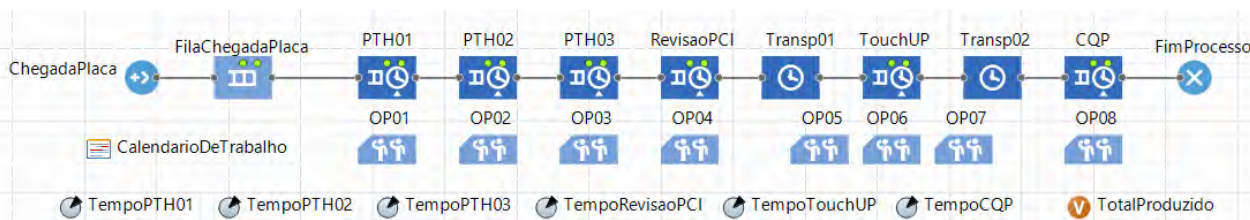


Figura 4.2 - Modelo Computacional para SED no AnyLogic®

Nos outros dois modelos, buscou-se integrar a SBA com a SED, de forma a se considerar as características humanas em questão. No modelo computacional da Figura 4.3 foi aplicada a integração da SED com a SBA para representar o operador com as características do ritmo circadiano, onde se utilizou a equação (1) para modelar o desempenho da produtividade do operador com relação ao horário do dia e da hora em que este acordou. Na Figura 4.4 usou-se a integração da SBA com a SED juntamente com a aplicação do ritmo de trabalho por meio do Sistema Westinghouse. Na implementação desse modelo o tempo de produção de cada etapa, é afetado pelas características do operador (fator humano) de acordo com os fatores considerados pelo sistema Westinghouse. Foram criadas quatro tabelas contendo os valores apresentados na Tabela 2.1, e a partir desses valores, utilizando-se a equação (2), cada operador leva para a produção as características intrínsecas a ele, interferindo assim no resultado final da produção.

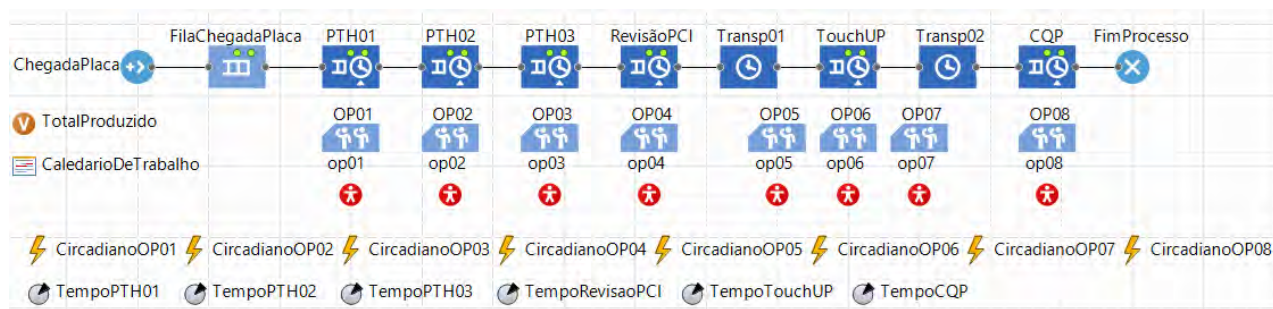


Figura 4.3 - Modelo Computacional com a integração da SBA e da SED com Ritmo Circadiano

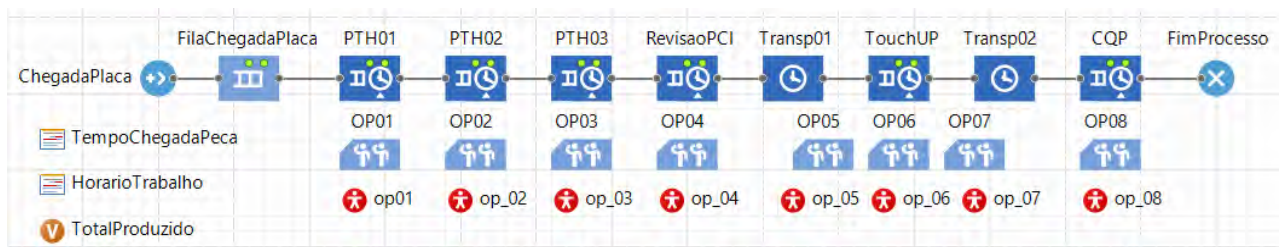


Figura 4.4 - Modelo Computacional com a integração da SBA e da SED com Ritmo de trabalho

Os resultados e análises estatísticas para os modelos estão apresentados no item seguinte.

4.3. Análise

Terminada a etapa da modelagem do processo, iniciou-se a execução das replicações da simulação, sendo trinta de cada modelo, de forma a se ter dados suficientes para realizar a comparação desejada neste artigo. No Modelo 01 os operadores são considerados simples recursos, enquanto que nos Modelos 02, e 03 a integração da SBA com a SED dá ao operador características mais humanas, levando em conta os fatores apresentadas pelo ritmo circadiano e pelo Sistema Westinghouse. As saídas dos modelos obtidas por cada uma das replicações representando produção semanal encontram-se na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resultados da Simulação dos Modelos 01 e 02

Rep.	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03	Rep.	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
	Peças/semana	Peças/semana	Peças/semana		Peças/semana	Peças/semana	Peças/semana
1	1800	1681	1624	16	1800	1691	1571
2	1600	1676	1791	17	1560	1680	1588
3	1610	1669	1733	18	1590	1671	1731
4	1680	1704	1689	19	1670	1681	1548
5	1670	1702	1685	20	1590	1647	1633
6	1670	1657	1669	21	1580	1703	1579
7	1730	1706	1684	22	1740	1662	1803
8	1680	1675	1607	23	1490	1660	1582
9	1620	1657	1595	24	1710	1645	1539
10	1500	1662	1628	25	1730	1677	1722
11	1730	1669	1536	26	1750	1661	1658
12	1720	1679	1667	27	1810	1663	1735
13	1730	1691	1633	28	1660	1678	1567
14	1550	1655	1608	29	1510	1658	1460
15	1670	1658	1657	30	1600	1693	1591

Para início das análises estatísticas foi realizado um Teste de Normalidade com os resultados da simulação dos três modelos para verificar se os dados dos modelos apresentam uma distribuição normal. Para ambos os modelos foi verificada a normalidade dos resultados, obtendo um *p-value* de 0,407 para o Modelo 01, 0,180 para o Modelo 02, e 0,807 para o Modelo 03, todos eles maiores que o valor de significância adotado (0,05).

Em seguida buscou-se verificar se os Modelos 02 e 03 apresentavam desempenho de simulação semelhante ao modelo 01, desenvolvido somente com SED. Para isso realizou-se um teste de análise das médias desses modelos comparados um a um com o Modelo 01. Verificou-se por meio do Minitab® que as variâncias entre os modelos não podem ser consideradas semelhantes e a partir desse teste fez-se então a comparação das médias por meio de um teste *2-sample-t*.

Definiu-se como hipótese nula que as médias dos modelos eram iguais quando comparadas à média do Modelo 01. Realizado o teste, entre os Modelos 01 e 02 obteve-se um *p-value* 0,360 e entre os Modelos 01 e 03 o *p-value* foi de 0,331. Para ambos os testes, o resultado foi maior que o valor de significância adotado (0,05) o que aceita as hipóteses nulas

que haviam sido formuladas.

Por fim, buscou-se verificar a diferença entre os Modelos 02 e 03, uma vez que cada um deles utilizou uma característica diferente do ser humano em meio a simulação. Formulou-se então esta hipótese nula que considera as médias dos Modelos 02 e 03 iguais, e para o teste *2-sample-t* encontrou-se o *p-value* de 0,018, maior que o intervalo de significância definido, rejeitando assim a hipótese nula e verificando a hipótese alternativa de que as médias dos Modelos 02 e 03 são diferentes.

5. Conclusão

Ao se olhar para a simulação, diversos autores têm relatado uma brecha na simulação a eventos discretos, uma vez que não representa corretamente o fator humano, bem como as características que afetam diretamente a sua produtividade, considerando-o um simples recurso. Porém, a simulação baseada em agentes permite aos agentes características como a autonomia, pró-atividade e inteligência, que são fatores intrinsecamente relacionados ao fator humano.

A fim de verificar se a simulação baseada em agentes é uma possível solução para esta brecha de representação do fator humano na simulação a eventos discretos, construiu-se alguns modelos de uma linha de produção combinando a SBA com a SED. Representou-se no modelo os operadores como agentes e assim foi possível inserir fatores que afetam a produtividade do operador, neste caso, o ritmo circadiano e o sistema Westinghouse.

Construiu-se também, um modelo de simulação a eventos discretos de forma a se comparar estatisticamente os modelos. Foram realizados testes de hipóteses que comprovaram a alteração no desempenho dos operadores nos modelos que integram a SBA com a SED, podendo assim afirmar que o ritmo circadiano e o ritmo de trabalho aplicado pelo sistema Westinghouse afetam a produtividade e a inserção destas características humanas só foi possível devido à representação do operador como um agente. Observou-se também a diferença existente dentre as aplicações da SBA, de forma que diferentes características do fator humano levadas em consideração representaram diferentes variações na produtividade dos operadores.

Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se fazer a comparação dos resultados do modelo que integra a SBA com a SED com dados de saída coletados de um sistema real, trabalho este que já vem sendo desenvolvido pelos mesmos pesquisadores, além da aplicação de novas características humanas no modelo de SBA.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Capes, ao CNPq e à Fapemig pelo incentivo à pesquisa.

Referências

- ANDRADE NETO, P. R.; Game Theory and Agent-Based Modelling for the Simulation of Spatial Phenomena. São José dos Campos: 2010. 117 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- 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*, n. 13, pp.486–504.
- BANKS, J. Introduction to simulation. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. Atlanta, 2000.
- BARNES, R. M. Estudos de movimentos e de tempos: projetos e medidas do trabalho. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 635 p.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. (2002). Modelling and Simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, v.22, n.2, p.241-264.
- 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.

- CHWIF, L., MEDINA, A. C.** Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações. São Paulo: Ed. dos Autores, 2006.
- 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.
- 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*, v. 44, p.141-157.
- GRIGORYEV, I.** AnyLogic 6 in three days: a quick course in simulation modeling. Hampton, NJ: AnyLogic North America, 2012.
- HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R.** *Simulation Using Promodel*. 2ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
- JANSSEN, M. A.; OSTROM E.** Empirically Based, Agent-based models. *Ecology and Society*, vl.11, n.2, 2006.
- LEAL, F.; OLIVEIRA, M. L. M.; ALMEIDA, D. A. de; MONTEVECHI, J. A. B.** Desenvolvimento e aplicação de uma técnica de modelagem conceitual de processos em projetos de simulação: o IDEF-SIM. In: *Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Salvador, BA, 2009.
- 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.
- MACHLINE, C., MOTTA, I. S., WEIL, K. E., SCHOEPS, W.** *Manual de Administração da Produção*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1974. 617 p.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P.** *Administração da Produção*. São Paulo: Saraiva, 2002. p.445.
- 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.
- MITROFF, I. I.; BETZ, F.; PONDY, L. R.; SAGASTI, F.** On managing science in the system age: two schemas for the study of science as a whole system phenomenon. *Interfaces*, v.4, n.3, p.46-58, 1974.
- MONK, T.H; LENG, V.C.;** Time of day effects in simple repetitive tasks: some possible mechanisms, *Acta Psychologica* 51 (1982) 207–221.
- MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F.; LEAL, F.; MARINS, F. A. S.** 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 (2007).
- MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, A. L. F.** Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: *WINTER SIMULATION CONFERENCE*, Baltimore, MD, USA, 2010.
- 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.
- RYAN, J; HEAVEY, C.** (2006). Process modeling for simulation. *Computers in Industry*, 57, 437- 450.
- SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I.** (2009). Simulação Baseada em Agentes (SBA) para modelagem de sistemas de operações. In: *Anais do XII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais*, 1-16.
- SAMUELSON, D. A.; MACAL, C. M.** Agent-Based Simulation Comes of Age: Software opens up many new areas of application. *OR/MS Today*. Vol 33. No 4. 2006. (www.lionhrtpub.com/orms/orms-8-06/agent.html, 4.2014.
- 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.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.** *Administração da Produção*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- WOOLDRIDGE, M. J.; JENNINGS, N. R.** (1995). Intelligent Agents: Theory and Practice. *The Knowledge Engineering Review*, 10, 115-152.