

## **Análise do 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

**Alexandre Ferreira de Pinho**

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

### **RESUMO**

Pode-se afirmar que existe uma quantidade considerável de trabalhos científicos onde a Simulação a Eventos Discretos (SED) é usada para efeito de análises referentes a determinados sistemas. Todavia, os resultados apresentados por esse tipo de simulação contêm brechas entre o real e o simulado. Isso ocorre, pois, a SED não consegue representar de maneira coerente o elemento humano e os fatores que influenciam na sua produtividade. Em contrapartida, atualmente, a Simulação Baseada em Agentes (SBA) é a ferramenta ideal para demonstrar as características que estão intrinsicamente ligadas ao ser humano. Nesse artigo será feita uma combinação entre a SED e a SBA com o objetivo de representar os operadores de uma linha de produção. Vale ressaltar que o Sistema Westinghouse foi incluído para avaliar o ritmo dos trabalhadores e, conseqüentemente, a produtividade dos mesmos. Portanto, construiu-se ainda um modelo de SED e comparou-se a produção semanal dos modelos verificando estatisticamente que o modelo que combina as duas simulações apresenta uma produção diária menor, concluindo-se que esta combinação permite a representação do fator humano e dos fatores que afetam sua produtividade mais próximos da realidade.

**PALAVRAS CHAVE. SBA, SED, Sistema Westinghouse.**

**Área principal (Simulação)**

### **ABSTRACT**

It is possible to assert that there is a considerable amount of scientific work where the Discrete Event Simulation (DES) is used for the purpose of analysis related to certain systems. However, the results presented by this type of simulation contain gaps between the real and the simulated. This is because, the DES can not represent a coherent way the human element and the factors that influence their productivity. In contrast, currently the Agent-Based Simulation (ABS) is the ideal tool to demonstrate the features that are intrinsically linked to human. In this paper will be a combination of the DES and the ABS in order to represent the operators of a production line. It is noteworthy that the Westinghouse system was included to assess the pace of workers and hence the productivity of the same. So was built still a model of DES and compared the

weekly production of the models statistically verifying that the model that combines two simulations has a lower daily output, concluding that this combination allows the representation of the human factor and the factors affecting their closest productivity of reality.

**KEYWORDS. ABS, DES, Westinghouse System.**

## **Main area (Simulation)**

### **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. Contudo, a captura dessas operações efetua-se com maior fidelidade quando são utilizados modelos de simulações em computadores, pois dessa maneira torna-se possível replicar os comportamentos do sistema estudado em ambiente virtual (CHWIF; MEDINA, 2006).

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). Conforme Ryan e Heavey (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.

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.

Com a utilização de agentes e sistemas multi-agentes, o comportamento humano pode ser oportunamente retratado (ZHAO *et al.*, 2012). Portanto, Siebers *et al.* (2010) afirmam que, considerando os comportamentos individuais de cada elemento humano, a Simulação Baseada em Agentes (SBA) é uma excelente ferramenta de modelagem de sistemas do mundo real.

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.

Nesse contexto, a SBA pode ser considerada como um modelo de simulação híbrida onde abrange fatores discretos e contínuos. Levando em consideração os elementos autônomos, inteligentes e proativos, a SBA diferencia-se da SED com relação à natureza dos agentes (CHAN *et al.*, 2010).

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.

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 um modelo que integre simulação baseada em agentes com simulação a eventos discretos, considerando o ritmo de trabalho do operador e como isto afeta a produtividade semanal do processo em estudo.

O presente artigo se desenvolve adotando a seguinte estrutura: 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 um método que permite descrever e analisar o comportamento de um determinado 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.

Nas palavras de 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 cenário, 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.

Portanto, de maneira a investigar diferentes contextos, a SED demanda a construção de modelos computacionais que possam representar adequadamente um sistema presente na realidade (MELÃO; PIDD, 2006). Contudo, é importante salientar que em determinadas ocasiões ocorrem dificuldades na modelagem de um sistema por meio da SED. Nesse sentido, o modelador encontra-se obrigado a fazer suposições certas sobre as ações do elemento humano a fim de ajustar tais comportamentos dentro da modelagem da SED. Com isso, conclui-se que é muito difícil modelar as decisões dos elementos individuais utilizando a SED (DUBIEL; TSIMHONI, 2005).

Todavia, Baines *et al.* (2005) afirmam que para melhorar a precisão da simulação é importante incluir o elemento humano levando em consideração seu comportamento bem como seu desempenho. Assim sendo, com relação ao fator humano inserido na SED, pode-se dizer que existem brechas a serem preenchidas nesse tipo de simulação de forma a permitir que o pesquisador tenha condições de se aproximar da realidade considerando os aspectos humanos dentro 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).

Com base na natureza dos agentes, observam-se diferenças quando se comparada a SBA com a SED. Ou seja, nota-se que os agentes na SBA têm elevado grau de liberdade, dessa forma pode-se dizer que eles são proativos, inteligentes e autônomos. Na SBA os agentes interagem entre si e tomam decisões de maneira independente. Em contrapartida, o mesmo não ocorre com os agentes na SED, pois os mesmos são vistos como elementos reativos e com capacidade limitada (CHAN *et al.*, 2010).

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.

A SBA vem sendo utilizada para modelar diversas situações como, por exemplo, controle de tráfego aéreo, propagação de doenças, processos organizacionais, propagandas, evolução social, segregação, comércio eletrônico, processos de manufatura, telecomunicações, entre outros (DUBIEL; TSIMHONI, 2005; LEITÃO, 2009).

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. De acordo com Dong *et al.* (2012), agentes podem ser representado por organizações, pessoas, carros, entidades financeiras, produtos, animais, projetos, etcetera.

Devido a uma discussão no campo acadêmico com relação à definição de agente, Grigoryev (2012) demonstra alguns fatos que podem ajudar no esclarecimento, são eles:

- 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.

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.

No mesmo raciocínio, Wooldridge e Jennings (1995) esclarecem que os aspectos que diferenciam um agente são aqueles que envolvem a pró-atividade, a autonomia, a sociabilidade e a reatividade. Segundo Samuelson e Macal (2006), pode-se encarar um agente como sendo um elemento discreto com um aglomerado de aspectos e regras que governam a sua atuação, bem como a sua capacidade de tomada de decisões. Portanto, os agentes são capazes de tomar decisões de maneira independente.

### 2.3. 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).

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)

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:

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

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.

### 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).

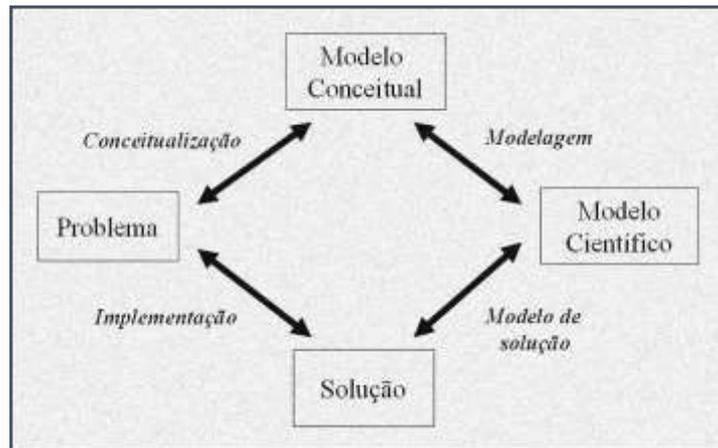


Figura 3.1 – Estrutura de pesquisa em Simulação  
 Fonte: Adaptado de Mitroff *et al.* (1974)

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).

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) e utilizado nesta pesquisa é apresentada na Figura 3.2. 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.

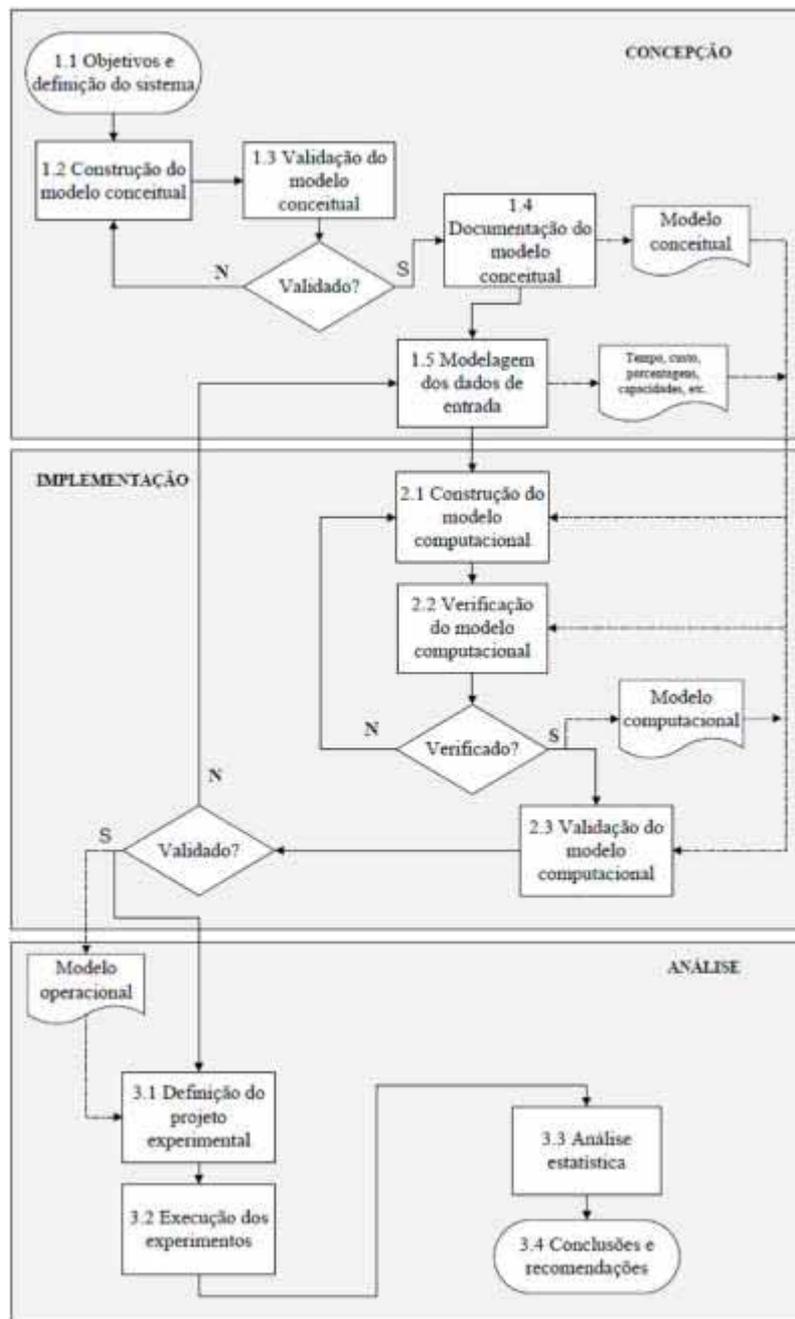


Figura 3.2 – Fases de um projeto de simulação.  
Fonte: Montevechi *et al.* (2010).

## 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-feira 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.

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

Etapa do Processo Produtivo	Distribuição de Probabilidade (s)
<b>Revisão PCI</b>	Uniforme (77; 97)
<b>TOUCH-UP</b>	Uniforme (140; 226)
<b>CQP</b>	Normal (72,9; 10,1)
<b>Teste FCT</b>	Normal (38,2; 4,24)
<b>Teste ICT</b>	Normal (154; 14,2)

O processo produtivo utilizado no desenvolvimento deste artigo se resume a cinco 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.

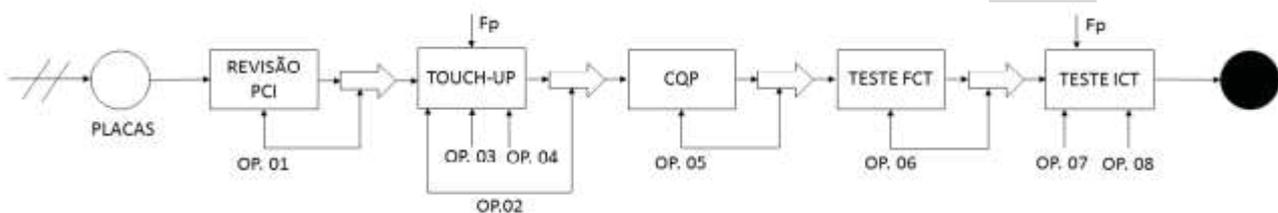


Figura 4.1 – Modelo Conceitual representado por IDEF-SIM

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. Na etapa seguinte, teste FCT (Teste Funcional), o operador é responsável por verificar se a placa está funcionando corretamente, ou seja, para garantir que o dispositivo em teste cumpra todas as suas especificações técnicas. Por fim, no teste ICT (Teste do Circuito) dois operadores são responsáveis por verificar se o circuito da placa está funcionando corretamente. Uma sonda elétrica testa a placa, verificando curtos, aberturas, resistência, capacitância e outros parâmetros base que irão mostrar se a montagem e o primeiro teste foram corretamente executados nas etapas anteriores. 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.

O primeiro modelo computacional desenvolvido está ilustrado na Figura 4.2 e

representa o modelo elaborado através da SED.

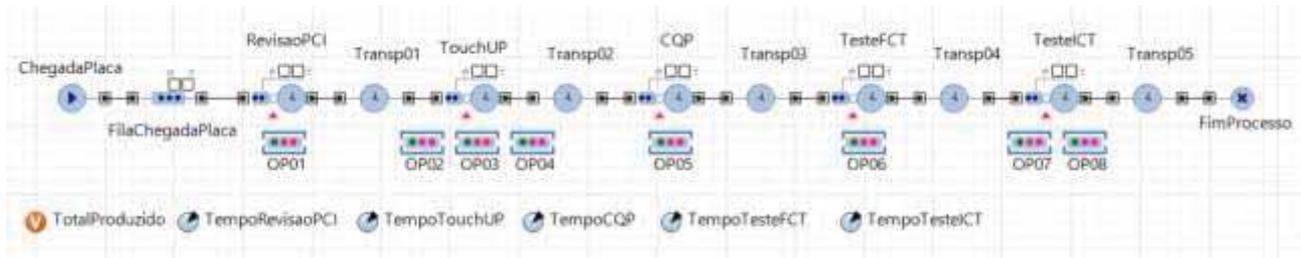


Figura 4.2 - Modelo Computacional para SED no AnyLogic®

Foram utilizadas as distribuições de tempo definidas anteriormente para cada um dos processos e os operadores, utilizados como recursos de cada etapa, seguiam esta distribuição de tempo.

No segundo modelo, buscou-se integrar a SBA com a SED, e pode-se observar o modelo computacional na Figura 4.3.

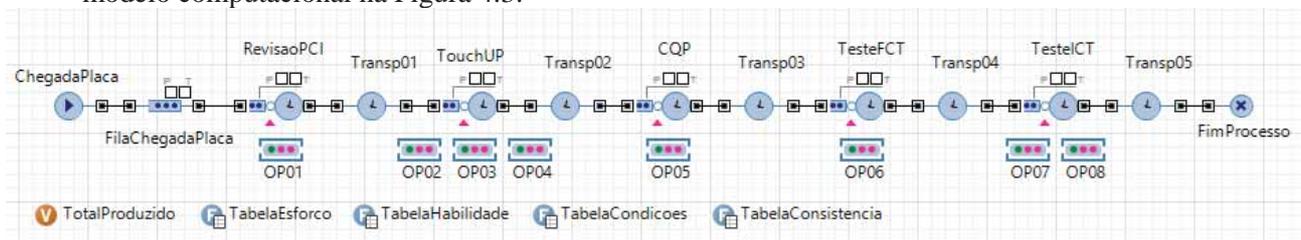


Figura 4.3 - - Modelo Computacional com a integração da SBA com a SED no AnyLogic®

Na implementação do Modelo 02, 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 (1), cada operador leva para a produção as características intrínsecas a ele, interferindo assim no resultado final da produção.

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 no Modelo 02, a integração da SBA com a SED dá ao operador características mais humanas, levando em conta os fatores apresentadas pelo Sistema Westinghouse, quantificados na Tabela 2.1 apresentada anteriormente. 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

Replicação	Modelo 01	Modelo 02	Replicação	Modelo 01	Modelo 02
	Peças/semana	Peças/semana		Peças/semana	Peças/semana
1	1590	1390	16	1430	1300
2	1710	1760	17	1560	1460
3	1710	1540	18	1820	1760
4	1670	1470	19	1670	1320
5	1720	1730	20	1920	1950
6	1880	1490	21	1620	1410
7	1810	1700	22	1710	1589
8	1840	1500	23	1660	1320
9	1960	1580	24	1480	1570
10	1690	1650	25	1770	1940

Replicação	Modelo 01	Modelo 02	Replicação	Modelo 01	Modelo 02
	Peças/semana	Peças/semana		Peças/semana	Peças/semana
11	1640	1840	26	1550	1300
12	1380	1600	27	1590	1540
13	1650	1380	28	1750	1610
14	1490	1310	29	1860	1760
15	1520	1530	30	1470	1510

Para início das análises estatísticas foi realizado um Teste de Normalidade com os resultados da simulação do Modelo 01 e do Modelo 02 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 0,9795 para o Modelo 01 e 0,4668 para o Modelo 02, ambos maiores que o valor de significância adotado (0,05).

Em seguida buscou-se verificar se a média do resultado obtido com o Modelo 01 é maior que a média do Modelo 02. Para tanto fez-se necessário a realização de um teste de variâncias para verificar a igualdade ou não das variâncias dos Modelos 01 e 02. O *p-value* obtido com o teste foi 0,248, maior que o valor de significância adotado (0,05) o que aceita a hipótese nula que havia sido definida, e desta forma, conclui-se que as variâncias dos Modelos 01 e 02 são iguais.

Sabendo que as variâncias desses modelos são iguais, toma-se como hipótese nula que a média da amostra do Modelo 01 é maior que a amostra do Modelo 02. Para verificar esta hipótese nula, foi realizado um teste *2-sample-t* com as quantidades produzidas retornadas como saída dos modelos, para nos dar respaldo estatístico e confiança nesta análise. Obteve-se então um *p-value* igual a 0,993 que é maior que o nível de significância de 0,05 adotado para esta análise, o que verifica a hipótese nula.

Pôde-se observar que no Modelo 02 (SBA+SED) houve uma notável diminuição na quantidade de peças produzidas, quando se considera os fatores que afetam o ritmo de trabalho do operador. Ao ser considerado como um agente o operador ganha características mais humanas, e com a inserção dos fatores do sistema Westinghouse, afetou diretamente a produtividade de cada operador.

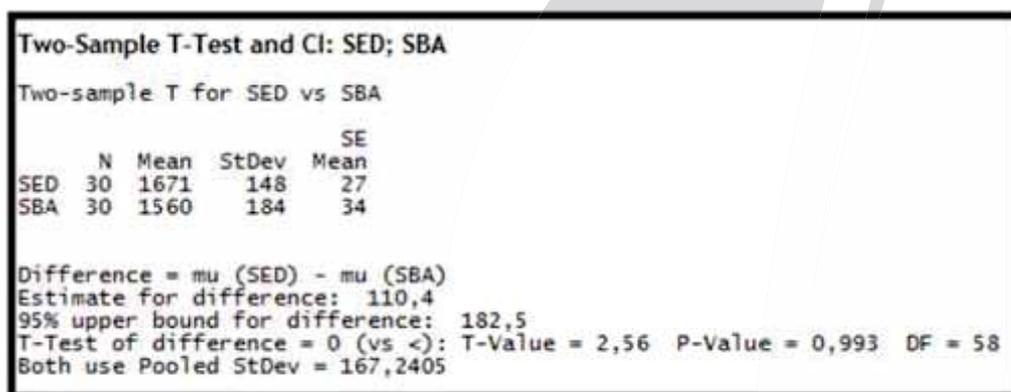


Figura 4.4 - Resultado do Teste de variâncias do total produzido pelos Modelos 01 e 02

## 5. Conclusão

Alguns autores relatam 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

um modelo 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 sistema Westinghouse.

Construiu-se também, um modelo de simulação a eventos discretos de forma a se comparar estatisticamente os dois modelos. Foi realizado um teste de hipóteses que comprovou que houve uma queda de produção semanal no modelo que integra a SBA com a SED, podendo assim afirmar que o ritmo de trabalho afeta a produtividade e a inserção destas características humanas só foi possível devido à representação do operador como um agente.

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.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à UNIFEI, 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.

**MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F.; 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.

**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.

**OLIVEIRA, A. L. M.** Estudo de um Sistema de Telefonia Sem Infraestrutura através de Modelagem e Simulação Baseada em Agentes. São Paulo: 2012. 160 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem de Sistemas Complexos) – Universidade de São Paulo.

**RODRIGUES, F. T., HERZOG, L. G. P., JUNIOR, M. A. L., SILVA, L. P.** Estudos de tempos e movimentos de um processo em uma empresa do ramo odontológico. In: Anais do XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, BA, 2013.

**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](http://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.

**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.