

## SIMULAÇÃO HÍBRIDA DO PROCESSO PRODUTIVO DO PALMITO DE PUPUNHA

**Elisa Maria Melo Silva**

Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, UNIFEI  
Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá - MG  
lizzbr@gmail.com

**David Custódio de Sena**

Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, UNIFEI  
Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG  
davidc.sena@gmail.com

**Ana Paula Rennó da Costa**

Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, UNIFEI  
Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG  
anapaula.rennocosta@gmail.com

**Alexandre Ferreira de Pinho**

Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, UNIFEI  
Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG  
pinho@unifei.edu.br

**Resumo** *Este trabalho simulou algumas alternativas de alocação dinâmica de recursos suplementares em uma empresa que fabrica vários tipos de produtos advindos do Palmito de Pupunha. Seu objetivo foi aumentar o número de bandejas produzidas por dia nesta empresa através da utilização da simulação híbrida a eventos discretos e baseada em agentes. Para assegurar e verificar tal objetivo, foram propostas cinco hipóteses que foram testadas estatisticamente. A primeira infere a validação do modelo computacional, e confrontou os resultados deste com os dados reais da empresa. As outras quatro hipóteses referem-se à validação do aumento da produção diária média de bandejas nos quatro cenários propostos. A simulação computacional híbrida realizada analisou as quatro propostas de aumento no número de produção diária média, modificando o número de operadores (recursos) suplementares. Dessas, os cenários A e B foram os que apresentaram melhorias estatisticamente significativas.*

**Palavras-chave** *Simulação híbrida; Simulação a eventos discretos; Simulação baseada em agentes; Palmito.*

**Abstract** *This work simulated some alternatives of dynamic allocation of additional human resources in a company that produces various products from Pupunha palm. Its goal was to increase the average amount of trays produced per day in this line through a hybrid application of discrete event and agent-based simulation. To assure and to verify this application, five hypothesis were proposed and statistically tested. The first hypothesis validated the computational model, comparing the simulated results from the process with the real ones. The other four hypothesis validated the scenarios created to simulate the increased production. The hybrid simulation analyzed these scenarios proposed modifying the number of the additional resources. The proposals that presented significant results were scenarios A and B.*

**Key-words** *Hybrid Simulation; Discrete Event Simulation; Agent-based Simulation; Pupunha Palm.*

## 1. Introdução

Constantemente, as empresas buscam melhorias em seus processos para que possam aumentar sua produtividade e, por consequência, seu lucro. Dentro dessa necessidade, a simulação é uma ferramenta que replica o sistema real, sendo utilizada para analisar e melhorar os processos produtivos que pretendem simular e avaliar (MONTEVECHI *et al.*, 2007). Tal técnica tem sido cada vez mais empregada por organizações de diversos setores e segmentos como manufatura, logística, serviços, dentre outros (SANDENAYAKE *et al.*, 2008).

Para o desenvolvimento do modelo de simulação é preciso analisar o que se deseja simular, de forma que a simulação coincida com o sistema real. O modelo deve ser desenvolvido com objetivos ou aplicações específicas, e sua validação tem que se relacionar com os mesmos objetivos e aplicações específicas. Para se alcançar uma validação totalmente confiável, que pode ser muito cara e requer muito tempo, deverão ser feitos testes e experimentos até que se atinja um nível de confiança suficiente na simulação (SARGENT, 2011).

De acordo com Montevechi *et al.* (2012), para a análise de problemas complexos no ambiente industrial, a simulação a eventos discretos (SED) tem sido uma das técnicas mais utilizadas, pois ela permite criar vários cenários para se obter diversas situações e resultados que permitam a melhor decisão para a organização. Antes de qualquer aplicação e implementação, a simulação tem como objetivo conhecer todo o comportamento e desempenho do sistema real, e com isso, reduzir custos desnecessários, o que a torna uma grande vantagem e um grande diferencial.

Apesar da simulação de eventos discretos ser bastante abrangente, alguns sistemas se apresentam muito complexos e as ferramentas tradicionais não têm sido suficientes para analisá-los (NORTH; MACAL, 2007). Nesta vertente, de acordo com Bonabeau (2002), a modelagem e a simulação baseada em agentes - MSBA (*agent-based modeling and simulation* – ABMS) é uma técnica que vem sendo aplicada nos últimos anos para se captar os fenômenos emergentes resultantes da interação de entidades independentes. E, por definição, elas não podem ser reduzidas a partes do sistema, pois interagem entre si. De acordo com Suh (2014), a simulação baseada em agentes (SBA) oferece liberdade na descrição de um grande número de fornecedores, armazéns, distribuidores e clientes em um nível de pessoa física, complementando a simulação discreta tradicional, em que estas tarefas são mais difíceis de serem realizadas. Mais exemplos deste tipo de simulação com modelos de cadeia de suprimentos são encontrados em Endrerud, Liyanage e Keseric (2014), Onggo (2014), Flynn *et al.* (2014), Graunke *et al.* (2014) e Long e Zhang (2014).

O objetivo deste trabalho foi propor alguns tipos de alocação dinâmica de recursos suplementares, que resultarão no aumento da quantidade média diária de bandejas de palmito provenientes de uma linha de produção, na qual se utiliza a simulação computacional híbrida (SED e MSBA). Para se assegurar e se verificar tal objetivo, foram propostas cinco hipóteses para serem estatisticamente testadas. A primeira delas infere a validade do modelo computacional, confrontados os resultados desse modelo com os dados reais de produção da empresa. As outras quatro hipóteses seguintes referem-se à validação do aumento da produção diária média de bandejas nos quatro cenários a serem propostos.

Este trabalho está dividido em: fundamentação teórica, metodologia de pesquisa, aplicação do método de modelagem e simulação, resultados, conclusão, agradecimentos e referências bibliográficas.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1. A Simulação a Eventos Discretos

Segundo Albright e Winston (2007), a simulação a eventos discretos se define na representação de um item ou evento, onde o seu principal objetivo é simular um sistema real, para que se possa explorá-lo, realizando experimentos e entendendo o sistema antes da sua implementação para o apoio na tomada de decisão no dia-a-dia da empresa.

Desta forma, quando se pensa no sistema, geralmente se tem uma associação da real situação. Entretanto, quando uma simulação é feita com vários experimentos e opções, isso

dificulta o processo de validação do modelo, pois o mesmo não representa fielmente a realidade; mas a validação é viável e comum, já que facilita a visualização do sistema simulado sem alterar realmente o sistema real (CHWIF; MEDINA, 2006).

Assim, a simulação a eventos discretos (SED) se baseia nos conceitos anteriormente descritos. A SED, por sua vez, possui uma grande vantagem, uma vez que lida com dados aleatórios interdependentes e discretos. A sua técnica envolve o uso de um computador (*software*) para simular a operação de um processo ou sistema (HILLIER; LIEBERMAN, 2010).

## 2.2. A Simulação baseada em Agentes

A modelagem e simulação baseada em agentes (MSBA) têm suas raízes históricas no estudo de sistemas adaptativos complexos (CAS – *Complex Adaptive Systems*), originalmente motivado por investigações sobre a adaptação e o surgimento de sistemas biológicos. A característica definidora destes sistemas adaptativos complexos é a sua capacidade de adaptação a um ambiente em mudança, além de aprender com o tempo para responder eficazmente às situações novas. A capacidade de adaptação do sistema é um dos principais recursos de um sistema complexo adaptativo (NORTH; MACAL, 2007).

Para Bonabeau (2002), a MSBA é uma atitude mais do que uma tecnologia. Esta mentalidade consiste em descrever um sistema a partir da perspectiva de suas unidades constituintes. Para Colier e Ozik (2013), a MSBA é um método de cálculo das potenciais consequências do nível do sistema do comportamento de grupos de indivíduos. E que também permite, aos modeladores, especificar as regras comportamentais individuais de cada agente; descrever as circunstâncias ou a topologia em que os indivíduos agem; e, em seguida, executar as regras para se determinar os possíveis resultados a nível do sistema estudado.

Segundo Macal e North (2013), para os fins práticos da modelagem, considera-se que os agentes têm certas propriedades e atributos, como: (i) Modularidade, onde o agente tem seus limites determinados facilmente se algo (elemento de estado do modelo) faz parte dos mesmos, se não faz parte ou se é uma característica comum entre eles; (ii) Autonomia, que age de forma independente em seu ambiente e interage com outros agentes de acordo com as situações de seu interesse e que surgem do modelo; (iii) Sociabilidade, em que o agente interage com outros agentes na conquista de espaço, o reconhecimento do agente, e a comunicação, entre outros exemplos; (iv) Condicionalidade, em que seu estado varia ao longo do tempo.

Quando a MSBA é aplicada a sistemas humanos, Bonabeau (2002) resume que as interações entre agentes são complexas, não-lineares, descontínuas ou discretas, o espaço é crucial e a posição dos mesmos não é fixa. Como a população é heterogênea, também heterogêneas são as suas interações e os agentes apresentam comportamentos complexos como aprendizado e adaptação.

## 3. Metodologia de Pesquisa

Para Bertrand e Fransoo (2002), a metodologia da pesquisa de modelagem e simulação é fundamentada em modelos quantitativos, e se baseia na suposição de que se pode construir modelos objetivos, e que explicam comportamentos dos processos operacionais reais. Ou ainda, que a metodologia capture parte dos problemas de tomada de decisão enfrentados pelos gestores nestes processos.

Neste trabalho, foi utilizada a sequência de fases para um projeto de simulação, que foi proposto por Montevechi *et al.* (2010). Um projeto de simulação é dividido em três fases, e cada fase possui um modelo. A fase de concepção com o modelo conceitual, a fase de implementação com o modelo computacional e a fase de análise com o modelo operacional. Ainda de acordo com os mesmos autores, na primeira fase, denominada de concepção, a principal ocorrência é a escolha das técnicas de mapeamento de processo, pois geralmente os mesmos são deixados de lado, não dando sua devida importância em projetos de simulação, que podem acarretar um grande risco de retrabalho desnecessário.

O modelo conceitual auxilia na coleta dos dados, indicando os pontos a serem coletados e agilizando a criação do modelo computacional. A importância desta fase é muito significativa e,

muitas vezes, não recebe a atenção necessária dos modeladores. Nessa fase são definidos o objetivo ou aplicação, o escopo e o nível de detalhamento da coleta de dados que serão adotados (PEREIRA *et al.*, 2013). Após verificado e validado o modelo conceitual, deve-se seguir para a fase de implementação.

Na fase seguinte, de implementação, deve-se escolher um *software* e transformar o modelo conceitual em modelo computacional, o qual também precisa ser verificado e validado (PEREIRA *et al.*, 2013).

Na terceira fase, segundo Montevechi *et al.* (2007), o modelo computacional deve ser submetido às variações, e aos diversos experimentos, se criando novos cenários e novas réplicas, para que assim as respostas possam ser analisadas e comparadas com o sistema real. Esta fase é muito importante para os gestores e analistas, pois a partir desta se começam as diversas análises para a obtenção de resultados consistentes, que permitirão uma melhor decisão.

#### 4. Aplicação do Método de Modelagem e Simulação

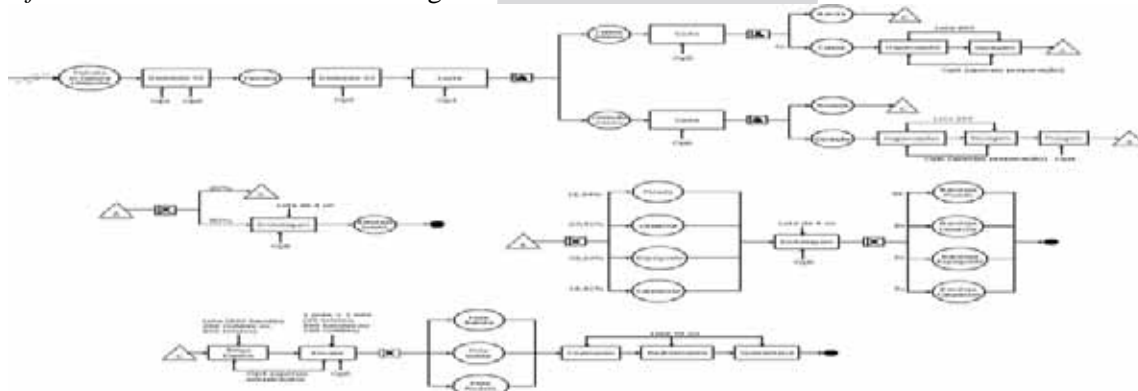
##### 4.1. Caracterização da Empresa

Até o final da década de 90, o Brasil era considerado o principal produtor, exportador e consumidor de palmito do mundo, porém a extração indiscriminada da palmeira *Euterpe edulis* (Palmito Juçara) resultou em escassez da matéria-prima, e despertou o interesse sobre o cultivo comercial da pupunheira sem espinhos para a produção de palmito. A produção de cultivos tecnicamente manejados da pupunha (*Bactris gasipaes Kunth*) vem ganhando importância no cenário econômico nacional devido às suas características em relação às outras espécies de palmeiras, tais como: seu perfilhamento, sua precocidade, a sua rusticidade e o seu vigor. A pupunheira despertou o interesse dos agricultores devido ao aumento da demanda e à sua boa lucratividade (QUAST *et al.*, 2010), o que explica o interesse dos autores nesta empresa, particularmente.

A empresa objeto deste estudo possui em sua linha de produtos bandejas dos tipos de corte do palmito: tolete, picado, lasanha, espaguete e carpaccio. A modelagem e simulação da sua linha de produção envolve a fabricação de novos produtos como os potes de banda, rodela e tolete (também tipos de corte do palmito). A criação da empresa estudada teve sua origem baseada em sua própria atividade, ou seja, o cultivo e a extração do palmito de pupunha. Em 2013, esta empresa iniciou um projeto no qual a preocupação foi além do cultivo da pupunheira, e visou a garantir o processamento mínimo de qualidade do produto.

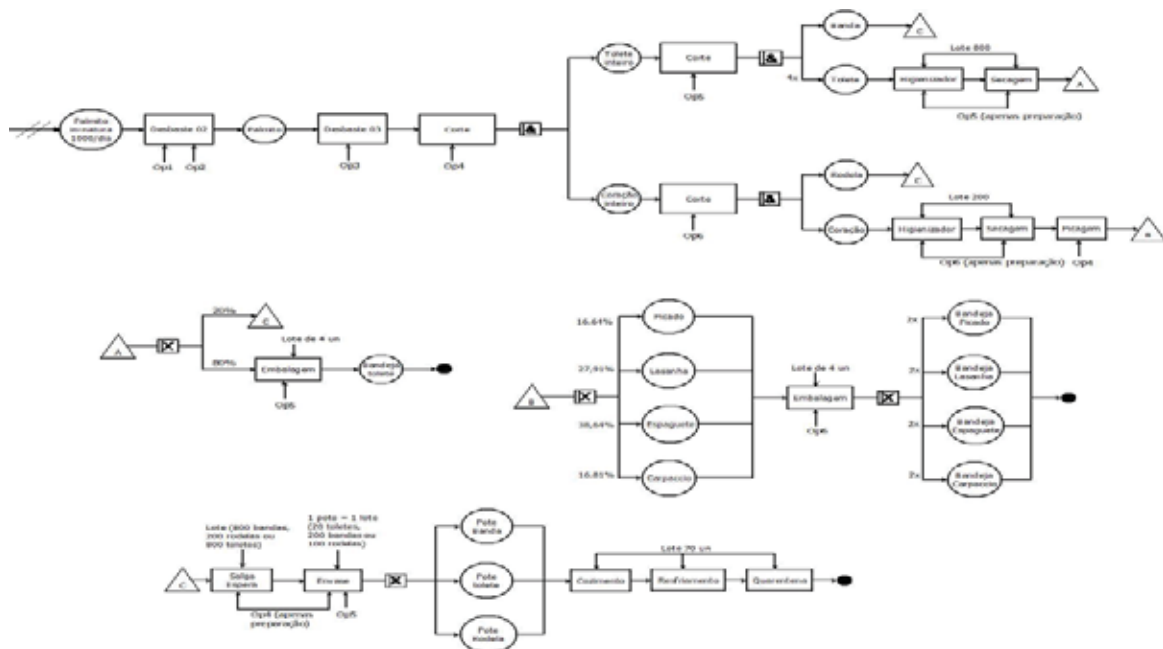
##### 4.2. Aplicação do Método

A primeira etapa do trabalho foi a de concepção, de acordo com a sequência de fases descritas na metodologia de pesquisa, que foi possível com a construção do modelo conceitual do sistema produtivo da fábrica de produtos de palmito. O modelo auxiliou os autores na coleta de dados, indicando os pontos onde foram coletados os mesmos, o que agilizou a criação do modelo computacional. A técnica de mapeamento utilizada nesta fase foi o IDEF-SIM, o qual foi feito no *software* DIA™ e é mostrado nas Figuras 4.1 e 4.2.



**Figura 4.1** – IDEF-SIM parte 1





**Figura 4.2** – IDEF-SIM parte 2

O processo começa com a chegada da entidade Palmito in-natura, na quantidade diária de 1000 unidades. Este modelo (figuras 4.1 e 4.2) é composto de: 11 locais diferentes (Desbaste 02 e 03, Corte, Higienizador, Secagem, Picagem, Embalagem, Salga espera, Envase, Cozimento, Quarentena); seis recursos (Operadores Op1 a Op6); e outras 15 entidades (Palmito, Tolete inteiro, Coração inteiro, Tolete, Banda, Rodela, Coração, bandejas de Tolete, Picado, Lasanha, Espaguete, Carpaccio e potes de Banda, Tolete, Rodela).

A técnica de verificação do modelo utilizada foi a Face a Face, que ocorreu após a construção do modelo conceitual, onde o mesmo foi apresentado para a consultora da empresa para então ser validado. Os dados foram adquiridos através de filmagens e cronoanálise, com a cronometragem dos tempos de processo. Os tempos para cada local estão presentes na Tabela 4.1. Os valores que são fixos apresentam comportamentos quase automáticos, sendo, portanto, decidido se utilizar o tempo padrão.

**Tabela 4.1** – Tempos dos locais da simulação

Local	Tempo
Desbaste 02	Normal (52.004, 6.264) segundos
Desbaste 03	Normal (24.454, 2.806) segundos
Corte	Normal (27.033, 2.773) segundos
Corte tolete	Normal (14.525, 1.516) segundos
Corte coração	Normal (14.525, 1.516) segundos
Higienização	30 minutos
Salgas	20 minutos
Secagem	15 minutos
Picagem	30 segundos
Embalagem	Normal (65.303, 2.937) segundos
Embalagem tolete	Normal (50.849, 2.483) segundos
Envase	3 minutos
Resfriamento	30 minutos
Quarentena	13 dias

Em seguida, foi construído o modelo computacional, se utilizando o *software* AnyLogic® 7.0.3. Este *software* permite a simulação de sistemas dinâmicos, eventos discretos e agentes. A utilização deste *software* deveu-se à possibilidade de utilização de um modelo híbrido, o qual envolveu eventos discretos e agentes.

A validação do modelo computacional foi feita através da técnica estatística *2-sample t* utilizando o *software* Minitab® 16. Como o *P-value* foi igual a 0,968, com uma confiança de 95%, comprovou, portanto, que os dados do modelo simulado ficaram semelhantes aos dados do sistema real, validando assim o modelo computacional.

A contribuição da modelagem e simulação baseada em agentes (MSBA) consiste em simular o processo decisório de um hipotético gerente que irá fiscalizar a taxa de ocupação dos operadores em cada estação de trabalho. Assim sendo, a decisão seguirá os seguintes passos:

- Haverá um agente responsável por cada grupo de operadores, a saber: operador02, operador03, operador04, operador05 e operador06. Esse agente analisará, em um intervalo de 10 minutos, qual a taxa de ocupação média durante o dia de cada grupo de operadores. Lembrando-se que essa estatística terá seu valor zerado uma vez ao dia;
- Caso o valor obtido seja superior a um valor pré-determinado, o agente, operadorX (em que X corresponde à 02, 03, 04, 05 ou 06), enviará uma mensagem informando ao Gerente o valor obtido;
- O agente Gerente receberá a mensagem e, se por acaso estiver com o estado “Monitorando” ativado, aumentará o número de recursos do agente solicitado de acordo com um valor pré-definido, o agente Gerente, portanto sai do estado “Monitorando”;
- Esse acréscimo de operadores irá durar 1 hora e, transcorrido este tempo, o número de operadores voltará ao seu valor original.

Algumas observações precisam ser feitas. A primeira é que, no caso de a mensagem ser enviada por algum agente operadorX, e o agente Gerente não estiver no estado “Monitorando”, a mesma será perdida. Assim, como a taxa de ocupação sofre mudanças ao longo do tempo, é possível que quando o Gerente estiver no estado “Monitorando”, o agente que fez a solicitação não precise mais desse acréscimo.

Outra observação é que o aumento de operadores se dará com o número total pré-definido. Assim, caso esse valor seja 2, por exemplo, e o agente operador04 fizer a solicitação para o Gerente, os 2 recursos serão alocados integralmente à bandeja de recursos Operadores04, não sendo permitido o aumento de apenas um, enquanto o outro fique disponível para outra bandeja.

A simulação foi feita com quatro cenários: Cenário A, no qual o incremento de operador se dê em uma unidade do recurso; Cenário B, com incremento de três unidades; Cenário C, com o incremento de cinco unidades; Cenário D, também com um incremento de cinco unidades, porém com as mesmas taxas de ocupação do cenário A. Os parâmetros podem ser vistos na tabela a seguir.

**Tabela 4.2 - Cenários da simulação baseada em agentes**

	Cenário A	Cenário B	Cenário C	Cenário D
Recursos incrementados	1	3	5	5
Taxa de ocupação máxima Operador02	80%	85%	95%	80%
Taxa de ocupação máxima Operador03	60%	65%	70%	60%
Taxa de ocupação máxima Operador04	60%	65%	70%	60%
Taxa de ocupação máxima Operador02	80%	85%	95%	80%
Taxa de ocupação máxima Operador02	80%	85%	95%	80%

## 5. Resultados

Inicialmente os dados originais de produção são apresentados na tabela 5.1.

**Tabela 5.1 – Dados de produção reais**

Data	Bandejas
14/abr	926
23/abr	1051
28/abr	100
30/abr	1021
07/mai	918
12/mai	606
14/mai	1147

Na Tabela 5.2 é apresentado o resultado da simulação do processo produtivo. Nela há a semente que originou cada uma das replicações, a produção em 62 dias de bandeja e a produção diária, que é obtida dividindo-se a coluna anterior por dois.

**Tabela 5.2 – Dados simulados**

Semente	Produção Bandeja	Produção diária Bandeja
1	54,318	876,097
2	52,627	848,823
3	51,934	837,645
4	49,081	791,629
5	51,969	838,210
6	50,953	821,823
7	50,239	810,306
8	49,200	793,548
9	49,253	794,403
10	49,357	796,081
11	50,234	810,226
12	51,102	824,226
13	51,566	831,710
14	52,739	850,629
15	48,493	782,145
16	48,767	786,565
17	48,957	789,629
18	53,282	859,387
19	49,155	792,823
20	51,917	837,371
21	50,026	806,871
22	48,894	788,613
23	48,887	788,500
24	50,731	818,242
25	51,909	837,242
26	49,713	801,823
27	49,811	803,403
28	52,745	850,726
29	51,686	833,645
30	52,863	852,629

A primeira hipótese avaliada foi se o modelo pôde ser validado, ou seja, se existiu uma equiparação estatística entre a simulação do modelo e àquela dos dados reais. O *P-value* do teste *2-sample t* é igual a 0,968. Assim, com uma confiança de 95%, o modelo foi considerado válido.

Para a segunda hipótese testada, o primeiro cenário, Cenário A, apresentou os resultados na Tabela 5.3.

**Tabela 5.3 – Dados simulados do Cenário A**

Semente	Produção Bandeja	Produção diária Bandeja
1	79,258	1278,355
2	70,894	1143,452
3	78,940	1273,226
4	75,254	1213,774
5	74,423	1200,371
6	73,197	1180,597
7	75,512	1217,935
8	70,245	1132,984
9	68,858	1110,613
10	72,454	1168,613
11	72,494	1169,258
12	76,122	1227,774
13	75,652	1220,194
14	77,580	1251,290
15	72,763	1173,597
16	73,617	1187,371
17	70,788	1141,742
18	81,943	1321,661
19	73,583	1186,823
20	75,762	1221,968
21	74,726	1205,258
22	72,851	1175,016
23	69,040	1113,548
24	72,971	1176,952
25	77,674	1252,806
26	73,487	1185,274
27	69,485	1120,726
28	76,021	1226,145
29	75,689	1220,790
30	73,768	1189,806

O *P-value* do teste 2-sample *t* para a produção diária entre o Cenário A e a produção original é igual à 0,035, e como é inferior à 0,05, mostrou que estatisticamente o Cenário A produziu a média de produção diária superior à simulação.

Na terceira hipótese, foi verificada se a produção média diária do Cenário B apresentou uma melhoria. Assim, os dados obtidos são apresentados na tabela a seguir.

**Tabela 5.4 – Dados simulados do Cenário B**

Semente	Produção Bandeja	Produção diária Bandeja
1	65,366	1054,290
2	69,772	1125,355
3	75,340	1215,161
4	65,183	1051,339
5	70,787	1141,726
6	59,573	960,855
7	67,469	1088,210
8	63,775	1028,629
9	60,568	976,903



10	64,311	1037,274
11	65,959	1063,855
12	69,718	1124,484
13	56,764	915,548
14	61,979	999,661
15	67,391	1086,952
16	58,811	948,565
17	65,312	1053,419
18	67,213	1084,081
19	68,484	1104,581
20	64,860	1046,129
21	64,183	1035,210
22	63,803	1029,081
23	65,027	1048,823
24	63,241	1020,016
25	69,970	1128,548
26	66,459	1071,919
27	61,610	993,710
28	70,225	1132,661
29	55,372	893,097
30	73,621	1187,435

O *P-value* do teste *2-sample t* teve valor 0,035; assim, a hipótese de que o Cenário B apresentou valores médios diários da produção de bandeja superiores à realidade, foi estatisticamente aceita.

Para o Cenário C, o resultado da simulação é apresentado na tabela a seguir.

**Tabela 5.5** – Dados simulados do Cenário C

Semente	Produção Bandeja	Produção diária Bandeja
1	57,820	932,581
2	49,845	803,952
3	61,273	988,274
4	44,069	710,790
5	62,455	1007,339
6	60,090	969,194
7	49,726	802,032
8	53,519	863,210
9	45,554	734,742
10	58,241	939,371
11	52,928	853,677
12	53,648	865,290
13	51,853	836,339
14	54,532	879,548
15	47,180	760,968
16	65,281	1052,919
17	43,877	707,694
18	55,513	895,371
19	47,728	769,806
20	61,882	998,097
21	51,407	829,145

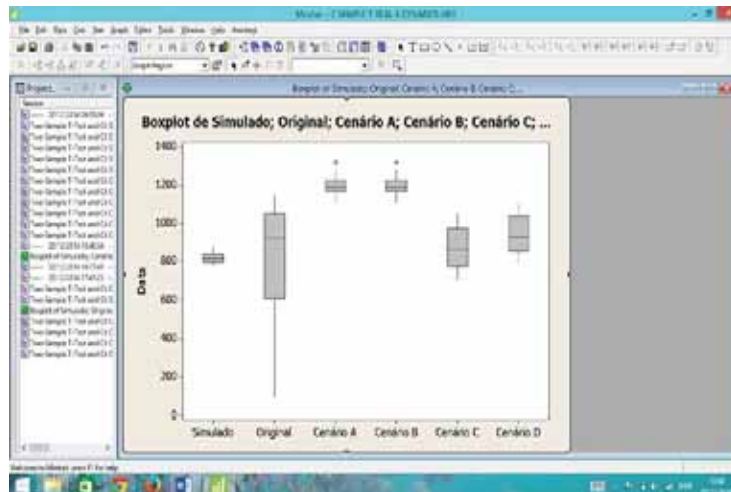
22	61,991	999,855
23	46,866	755,903
24	57,468	926,903
25	62,574	1009,258
26	61,991	999,855
27	48,281	778,726
28	45,848	739,484
29	57,319	924,500
30	49,209	793,694

A terceira hipótese, ao apresentar *P-value* do teste *2-sample t* igual a 0,746, foi rejeitada, mostrando que o Cenário C não apresentou melhoria significativa em relação à produção original. Por fim, a última hipótese avaliada com os dados do Cenário D, está na tabela a seguir.

**Tabela 5.6 – Dados simulados do Cenário D**

Semente	Produção Bandeja	Produção diária Bandeja
1	58,863	949,403
2	64,721	1043,887
3	64,510	1040,484
4	56,122	905,194
5	57,839	932,887
6	60,218	971,258
7	53,268	859,161
8	62,782	1012,613
9	53,142	857,129
10	49,329	795,629
11	51,443	829,726
12	62,657	1010,597
13	64,618	1042,226
14	68,626	1106,871
15	52,827	852,048
16	52,808	851,742
17	59,300	956,452
18	53,571	864,048
19	56,334	908,613
20	65,853	1062,145
21	64,255	1036,371
22	49,941	805,500
23	55,066	888,161
24	55,572	896,323
25	65,276	1052,839
26	57,436	926,387
27	51,776	835,097
28	54,754	883,129
29	67,154	1083,129
30	67,798	1093,516

A última hipótese, ao apresentar *P-value* do teste *2-sample t* igual a 0,746, também foi rejeitada, o que mostrou que não há diferença estatística entre o Cenário D e a produção original. O gráfico, do tipo Boxplot, apresenta graficamente essas diferenças na Figura 5.1.



**Figura 5.1** – Boxplot dos dados analisados

## 6. Conclusão

Neste trabalho pôde-se constatar que a utilização da simulação baseada em agentes (SBA) com outros tipos de simulação, no caso a simulação a eventos discretos, providencia um aumento da habilidade computacional de imitar alguns comportamentos como o trabalho humano.

Ao se trabalhar com a indústria de alimentos, o processo produtivo precisa ser eficiente pois o produto necessita de uma alta qualidade. E esta empresa tem um trabalho manual intensivo com poucas etapas de mecanização. Com estas informações em mente, foram analisadas quatro propostas das quais duas delas (cenários A e B) apresentaram melhores resultados.

Nas propostas foram analisadas o aumento no número de produção diária média, se modificando a quantidade de recursos suplementares. Dentre elas, os cenários A e B apresentaram melhorias estatisticamente significativas. Uma suposição que a equipe encontrou para não existir diferença entre a produção diária de bandejas do sistema real e os cenários C e D foi o esgotamento da matéria-prima, pois a mesma se limitava a 1000 hastes diariamente e, com sua maior utilização, ela se esgotaria, exigindo um estudo mais aprofundado. Estes dados ainda não foram repassados aos donos da empresa.

Diante disso, é fato que a simulação baseada em agentes quando utilizada de forma híbrida com outras simulações, como a de eventos discretos e dinâmica, apresentou um aumento da capacidade computacional. Porém, até por se tratar de uma ferramenta relativamente nova, a SBA inspira maiores investigações e até uma formalização se faz necessária, pois é escasso o número de trabalhos acadêmicos que aborda esse aspecto humano.

Pode-se ressaltar também que ficou evidente que o trabalhar com aspectos humanos envolve mais conhecimentos que apenas o lógico, ou até mesmo o analítico, o computacional. É perceptível que os aspectos que ficaram de fora deste trabalho, como o psicológico, fisiológico, cultural, entre outros, afetam diretamente a produtividade dos funcionários da empresa.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fapemig (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

## Referências

- Albright, S. C.; Winston, W. L.** *Management science modeling*. Thomson SouthWestern, 2007.
- Bertrand, J. W. M.; Fransoo, J. C.** Modelling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.

- Bonabeau, E.** Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. V. 99 Suppl 3, p. 7280-7, 2002.
- Chwif, L.; Medina, A.C.** *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. São Paulo: Ed. dos Autores, 2006.
- Colier, N.; Ozik, J.** Test-driven agent-based simulation development. In: *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, Washington, DC, USA.
- Endrerud, O. V., Liyanage, J. P., Keseric, N.** Marine Logistics Decision Support for Operation and Maintenance of Offshore Wind Parks with a Multi Method Simulation Model. In: *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, Savannah, GA, USA.
- Flynn, T., Tian, Y., Masnick, K., McDonnell, G., Huynh, E., Mair, A., Osgood, N.** Discrete Choice, Agent Based and System Dynamics Simulation of Health Profession Career Paths. In: *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, Savannah, GA, USA.
- Graunke, A., Burnett, G., Hu, C., Wirth, G.** Decision Support Model to Evaluate Complex Overhead Crane Schedules. In: *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, Savannah, GA, USA.
- Hillier, F. S.; Lieberman, G. J.** *Introduction to Operations Research*. 9. ed. New York: McGraw-Hill, 2010.
- Long, Q., Zhang, W.** An Integrated Framework for Agent Based Inventory–Production–Transportation Modeling and Distributed Simulation of Supply Chains. In: *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, Savannah, GA, USA.
- Macal, C. M.; North, M. J.** Introductory Tutorial: Agent-based Modeling and Simulation. In: *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, Washington, DC, USA.
- Maria, A.** Introduction to Modeling and Simulation. In: *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, Atlanta, GA, USA.
- Montevecchi, 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: *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, Baltimore, MD, USA.
- Montevecchi, J.A.B.; Pinho, A.F. De; 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 2007 Winter Simulation Conference*, Washington, DC, USA.
- North, M. J.; Macal, C. M.** *Managing Business Complexity Discovering Strategic Solutions with Agent-Based Modeling and Simulation*. Nova York: Oxford University Press, Inc. 2007. 326 p.
- Onggo, B. S.** Elements of a Hybrid Simulation Model: a Case Study of the Blood Supply Chain in Low and Middle Income Countries. In: *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, Savannah, GA, USA.
- Quast, E.; Ruiz, N. L.; Schmidt, F. L.; Vitali, A. A.** Cinética de acidificação de palmito de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth.). *Brazilian Journal of Food Technology*, v.13, p.286-292, 2010.
- Sandanayake, Y. G.; Oduoza, C. F.; Proverbs, D. G.** A systematic modelling and simulation approach for JIT performance optimization. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, n.24, p.735-743, 2008.
- Sargent, R. G.** Verification and validation of simulation models. In: *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, Phoenix, AZ, USA.
- Suh, E. S.** Cross-docking assessment and optimization using multi-agent co-simulation: a case study. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, Agosto de 2014.