

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PAULO HENRIQUE PEGAS**

**SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES PARA UMA CADEIA DE  
SUPRIMENTOS COM IMPRESSÃO 3D: UMA ANÁLISE  
COMPARATIVA UTILIZANDO ANYLOGIC**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA  
2017**

**PAULO HENRIQUE PEGAS**

**SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES PARA UMA CADEIA DE  
SUPRIMENTOS COM IMPRESSÃO 3D: UMA ANÁLISE  
COMPARATIVA UTILIZANDO ANYLOGIC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, em Engenharia de Produção, do departamento de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino

**PONTA GROSSA**

**2017**



---

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES PARA UMA CADEIA DE  
SUPRIMENTOS COM IMPRESSÃO 3D: UMA ANÁLISE  
COMPARATIVA UTILIZANDO ANYLOGIC**

por  
PAULO HENRIQUE PEGAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 24 de novembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino  
Prof. Orientador

---

Prof. Dra. Yslene Rocha Kachba  
Membro titular

---

Prof. Dr. Fabio Branco  
Membro titular

## **AGRADECIMENTOS**

Aos docentes do curso de Engenharia de Produção, em especial ao professor Rui Tadashi Yoshino responsável pela orientação deste trabalho,

Dedico esta conquista, à minha família, por me incentivar, motivar e não medir esforços para que eu finalizasse mais esta etapa da minha vida, em especial ao meu pai, Gerson dos Santos Pegas e minha mãe Rosemere Rosemira da Silva Pegas.

À minha namorada, melhor amiga e companheira de todas as horas Giulianna Elisa Rodrigues Schiavon, pelo carinho, compreensão, amor e solidariedade durante desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos Sadi Roberto Schiavon e Mariana Fraga, por me auxiliarem na revisão deste T.C.C com muita dedicação e atenção.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

## RESUMO

PEGAS, Paulo Henrique. **Simulação baseada em agentes para uma cadeia de suprimentos com impressão 3D: Uma análise comparativa utilizando AnyLogic.** 2017. 59 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

A simulação baseada em agentes e a impressão 3D são exemplos de novas tecnologias que podem alterar relações das indústrias com clientes, funcionários ou dentro das diversas cadeias de suprimentos existentes. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é, a partir da utilização dessas duas tecnologias, simular e comparar, utilizando modelagem computacional (AnyLogic), o comportamento da cadeia de suprimentos de uma manufatura tradicional com distribuidores, clientes e impressão 3D. Esta é uma pesquisa de natureza aplicada considerando que uma simulação computacional foi criada sobre os conhecimentos adquiridos de forma exploratória através de uma pesquisa bibliográfica, visando os mais recentes e relevantes estudos da área de cadeia de suprimentos, impressão 3D e simulação multiagentes. Alguns cenários de comportamentos dessa cadeia de suprimentos foram comparados, e por não ter sido possível utilizar dados reais da cadeia de suprimentos testada, não se pôde afirmar se a inserção da impressão 3D em uma cadeia de suprimentos tradicional é viável ou não.

**Palavras-chave:** Simulação Multiagentes. Cadeia de Suprimentos. Impressão 3D. AnyLogic.

## ABSTRACT

PEGAS, Paulo Henrique. **Agent based simulation for a supply chain with 3D printing**. 2017. 59 pages. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Engenharia de Produção) - Federal Technology University - Parana. Ponta Grossa, 2017.

Agent-based simulation and 3D printing are examples of new technologies that can modify industries relationships with customers, employees, or the many existing supply chains. The objective of this work was, from this two technologies, simulate and compare through computational modeling (AnyLogic), the behavior of the supply chain of a traditional manufacture with distributors, clients and 3D print. This is an applied research, considering that a computer program was created on the knowledge acquired in an exploratory way, through a bibliographical research, aiming at the most recent and relevant studies in the area of the supply chain, 3D printing and multiagent systems. With the results obtained from this simulation, some possible scenarios of behavior of this chain were tested, and because it was not possible to use actual data from the tested supply chain, it can not be said whether inserting 3D printing into a traditional supply chain is feasible or not.

**Keywords:** Multiagent Simulation. Supply Chain. 3D Print. AnyLogic.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 – Método de revisão bibliográfica

Figura 2 – Modelando e simulando sistemas

Figura 3 – Princípio da manufatura aditiva

Figura 4 – Tela inicial do software AnyLogic

Figura 5 – Função principal do programa

Figura 6 – Lógica de programação dos clientes

Figura 7 – Lógica de programação das manufaturas

Figura 8 – Lógica de programação das distribuidoras

Figura 9 – Lógica de programação da impressão 3D

Figura 10 – Lógica de programação das distribuidoras

Figura 11 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 1

Figura 12 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 2

Figura 13 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 3

Figura 14 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 4

Figura 15 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 5

Figura 16 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 6

Figura 17 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 7

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Quantidade de artigos científicos por base e palavra chave

Quadro 2 – Produções científicas por base e palavra chave

Quadro 3 – Cronograma descrito

Quadro 4 – Cronograma gráfico parte um

Quadro 5 – Cronograma gráfico parte dois

Quadro 6 – Valores de venda e custo dos produtos

Quadro 7 – Exemplo de demanda e terceirização dos pedidos

Quadro 8 – Demanda dos produtos no cenário 1

Quadro 9 – Demanda dos produtos no cenário 2

Quadro 10 – Demanda dos produtos no cenário 3

Quadro 11 – Demanda dos produtos no cenário 4

Quadro 12– Demanda dos produtos no cenário 5

Quadro 13 – Demanda dos produtos no cenário 6

Quadro 14 – Demanda dos produtos no cenário 7

Quadro 15 – Quadro de resultados



## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                                      | <b>9</b>  |
| 1.1 OBJETIVOS.....   | 9         |
| 1.1.1 Objetivo Geral.....                                      | 10        |
| 1.1.2 Objetivos Específicos.....                               | 10        |
| 1.2 JUSTIFICATIVA.....   | 10        |
| <b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                             | <b>12</b> |
| 2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....                            | 12        |
| 2.2 ETAPAS DA PESQUISA .....                                   | 12        |
| 2.2.1 Construção do Referencial Teórico .....                  | 12        |
| 2.2.2 Sintetização Das Informações e Construção Do Modelo..... | 18        |
| 2.2.3 Aplicação Do Modelo No Software AnyLogic.....            | 18        |
| 2.3 CRONOGRAMA .....   | 18        |
| <b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....                           | <b>21</b> |
| 3.1 SIMULAÇÃO.....   | 21        |
| 3.2 SISTEMAS, MODELOS E SIMULAÇÕES .....                       | 22        |
| 3.2.1 Sistemas.....  | 22        |
| 3.2.2 Modelos e Simulações.....                                | 25        |
| 3.3 IMPRESSÃO 3D .....   | 27        |
| 3.4 CADEIA DE SUPRIMENTOS .....                                | 28        |
| 3.4.1 Cadeia De Suprimentos Da Impressão 3D .....              | 29        |
| 3.5 SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES .....                         | 31        |
| 3.6 SHAPEWAYS .....  | 32        |
| 3.7 SOFTWARE ANYLOGIC .....                                    | 34        |
| 3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPITULO.....                      | 35        |
| <b>4 DESENVOLVIMENTO</b> .....                                 | <b>36</b> |
| 4.1 FUNÇÃO PRINCIPAL.....                                      | 36        |
| 4.2 CLIENTES .....   | 38        |
| 4.3 MANUFATURAS.....   | 39        |
| 4.4 DISTRIBUIDORES .....                                       | 40        |
| 4.5 IMPRESSÃO 3D.....  | 41        |
| 4.6 VEÍCULOS.....  | 42        |
| <b>5 RESULTADOS</b> .....                                      | <b>44</b> |
| 5.1 CENÁRIO 1.....   | 44        |
| 5.2 CENÁRIO 2.....   | 45        |
| 5.3 CENÁRIO 3.....   | 47        |
| 5.4 CENÁRIO 4.....   | 49        |
| 5.5 CENÁRIO 5.....   | 50        |
| 5.6 CENÁRIO 6.....   | 51        |
| 5.7 CENÁRIO 7.....   | 53        |
| 5.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....                                | 54        |
| <b>6 CONCLUSÃO</b> .....                                       | <b>57</b> |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                       | <b>59</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Mashali(2015), a impressão 3D ou manufatura aditiva, é um processo de fabricação que existe há aproximadamente três décadas. Porém, foi nos últimos anos, com os recentes avanços tecnológicos, que ela começou a chamar mais a atenção da academia e de grandes empresas. Esse novo formato de manufatura é considerado por muitos autores como parte integrante de uma nova revolução industrial. Essa nova revolução dá origem ao conceito de indústria 4.0 (MASHALI et al, 2015).

Esse tipo de fabricação oferece algumas vantagens, como por exemplo: baixo investimento em maquinário, necessidade de pouco espaço para a linha de produção e baixos tempos de setup. Dessa forma pontos de fabricação podem ser espalhados possibilitando a customização em massa. Entretanto, alguns problemas ainda podem ser observados, como o alto tempo de fabricação e a dificuldade para se trabalhar com algumas matérias primas (LIPSON e KURMAN, 2013).

Tendo isso em vista, o objetivo desse trabalho é analisar o comportamento da cadeia de suprimentos de uma manufatura tradicional com distribuidores, fábricas e clientes, unindo isso à possibilidade dessas companhias fabricar seus produtos de maneira terceirizada através da impressão 3D, utilizando a programação baseada em multiagentes e de acordo com critérios que serão discutidos posteriormente neste trabalho.

A proposta também envolveu desenvolver e comparar cenários para compreender em que momento e para quais produtos será interessante utilizar a manufatura 3D, podendo alterar variáveis como o custo, estoque, tempo de entrega e demanda de produto. Para a execução deste trabalho foi realizada uma revisão da literatura e, com base nas informações adquiridas, foi criado e testado um modelo de simulação multiagentes que, posteriormente, foi implementado no software AnyLogic.

### 1.1 OBJETIVOS

Os objetivos desse trabalho estão divididos em objetivo geral e objetivos específicos, para uma melhor compreensão das etapas de desenvolvimento deste.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Simular e comparar, através de modelagem multiagentes o comportamento da cadeia de suprimentos de uma manufatura tradicional com distribuidores ao se inserir a possibilidade de fabricar seus produtos através da impressão 3D.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foi necessário alcançar alguns objetivos específicos:

- i. Realizar levantamento bibliográfico sobre aplicação de multiagentes em cadeias de suprimento e impressão 3D;
- ii. Propor, implementar e testar um modelo multiagentes específico de cadeia de suprimentos que utilize impressão 3D;
- iii. Criar cenários comparativos para análise.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Existem diversas definições para a simulação, dentre elas podemos citar a de Pegden (1990) que compreende este conceito como “um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”.

Outro tema explorado neste trabalho é a manufatura aditiva. Neste gênero manufatureiro uma das principais técnicas é a impressão 3D, que até pouco tempo se desenvolvia como coadjuvante no cenário industrial devido a limitações técnicas, alto custo, qualidade baixa e capacidade limitada. Porém, uma evolução nessa manufatura aconteceu nos últimos anos e alguns autores consideram que ela pode ser uma das bases para a próxima revolução industrial (MASHALI; RAIHANIAN, A.; ESMAELIAN, B.; BEHDAD, S., 2015).

A tecnologia evolui de forma exponencial o que alterou e continuará a alterar significativamente as diversas formas de trabalho. Ao se considerar as diferentes

possibilidades de desenvolvimento industrial que se originarão desta tecnologia, o presente trabalho se justifica em medida que propõe simular e comparar cenários que colaboram para a compreensão de possíveis utilizações futuras para a impressão 3D.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo foram descritos o método de pesquisa utilizado para a elaboração do trabalho e também as ferramentas utilizadas. Para tanto, recorreremos a Gil (2002) e sua conceituação de pesquisa científica.

Pode-se definir pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não pode ser adequadamente relacionada ao problema (Gil, 2002, p. 17).

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

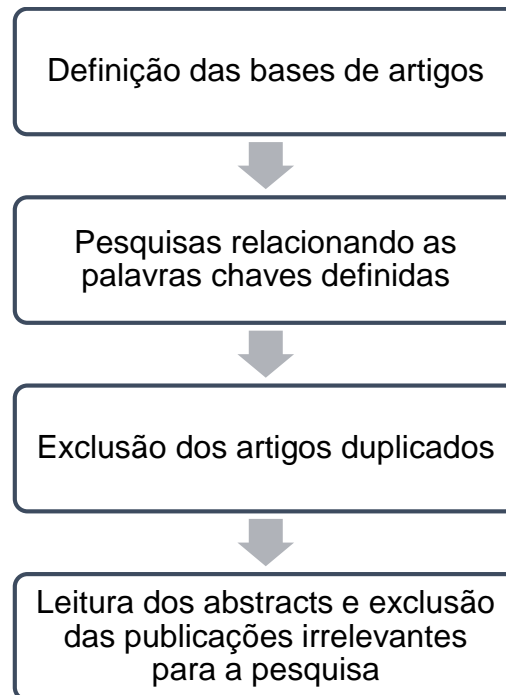
Esta é considerada uma pesquisa de natureza aplicada em medida que envolve a criação de um modelo e sua aplicação utilizando o software AnyLogic sobre os conhecimentos adquiridos de forma exploratória, através de uma pesquisa bibliográfica visando os mais recentes e relevantes estudos da área de cadeias de suprimentos, impressão 3D e programação multiagentes.

### 2.2 ETAPAS DA PESQUISA

A seguir serão descritas as etapas de pesquisa realizadas nesse trabalho.

#### 2.2.1 Construção do Referencial Teórico

Para a construção do referencial teórico, as seguintes etapas foram estabelecidas.



**Figura 1: Método de revisão bibliográfica**

Fonte: O Autor

Neste trabalho as bases utilizadas foram Science Direct; Scopus e Web of Science. Em todas as bases de dados foram pesquisadas as combinações de palavras chaves: *Agent Based Model & AnyLogic*; *Supply Chain & 3D Print*; *Supply Chain & Agent Based Model*; *Supply Chain & AnyLogic*, resultando em um primeiro momento nas seguintes quantidades de artigos para cada base (Quadro 1).

| Palavras-chave \ Bases de Artigos           | Science Direct | Scopus | Web of Science |
|---|----------------|--------|----------------|
| <i>Agent Based Model &amp; AnyLogic</i>     | 5              | 14     | 3              |
| <i>Supply Chain &amp; 3D Print</i>          | 7              | 3      | 35             |
| <i>Supply Chain &amp; Agent Based Model</i> | 40             | 126    | 73             |
| <i>Supply Chain &amp; AnyLogic</i>          | 3              | 20     | 15             |

**Quadro 1 – Quantidade de artigos científicos por base e palavra chave**

Fonte: O Autor

Após exclusão dos duplicados e leitura dos resumos das produções selecionadas, restaram 15 (Quadro 2) que foram utilizados como base para o desenvolvimento deste trabalho. Além destes, outros materiais disponíveis na internet complementaram o conteúdo do projeto de pesquisa.

| Item | Nome do Artigo  | Autor/Ano               | Periódico  | Scientific Journal Ranking do Periódico |
|------|---|-------------------------|--|---|
| 1    | An agent-based approach for e-manufacturing and supply chain integration  | Zhang (2006)            | Computers & Industrial Engineering   | 2,068                                   |
| 2    | Toward a methodological framework for agent-based modelling and simulation of supply chains in a mass customization context | Labarthe et al. (2007)  | Simulation Modelling Practice and Theory                                       | 1,482                                   |
| 3    | Research on supply chain modeling and simulation based on ABM and SDM   | Bai et al. (2009)       | 1st International Conference on Information Science and Engineering, ICISE2009 | Conferência                             |
| 4    | Simulation of supply chain network based on discrete-continuous combined modeling   | Wen-LI e Yao-Wen (2010) | International Conference on Computational Aspects of Social Networks, CASoN'10 | Conferência                             |
| 5    | Hybrid modeling and simulation of automotive supply chain network   | Wang (2013)             | Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology               | 0,47                                    |
| 6    | 3D Printing: New Economic Paradigms and Strategic Shifts  | Garrett (2014)          | Global Policy  | 0.603                                   |
| 7    | From Bits to Atoms: 3D Printing in the Context of Supply Chain Strategies   | Nyman e Sarlin (2014)   | 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences                   | Conferência                             |
| 9    | Click here to print a maker movement supply chain: How invention and entrepreneurship will disrupt supply chain design      | Waller e Fawcett (2014) | Journal of Business Logistics  | 1.833                                   |
| 10   | Implications of 3D printing for the United States postal service  | Cutting (2015)          | Postal and Delivery Innovation in the Digital Economy                          | Livro                                   |
| 11   | Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation  | Macal e North (2015)    | 2014 Winter Simulation Conference, WSC 2014                                    | Conferência                             |
| 12   | An agent-based simulation model for supply chain collaborative technological innovation diffusion                           | Zhang (2015)            | International Journal of Simulation Modelling                                  | 2.083                                   |
| 13   | Research on the Impact of 3D Printing on the International Supply Chain   | Chen (2016)             | Advances in Materials Science and Engineering                                  | 0.744                                   |
| 14   | The 3D printing order: variability, supercenters and supply chain reconfigurations  | Sasson e Johnson (2016) | International Journal of Physical Distribution & Logistics Management          | 1.802                                   |
| 15   | Design of supply chain topology to mitigate demand and supply risks   | Tan et al. (2016)       | Winter Simulation Conference, WSC 2015   | Conferência                             |

**Quadro 2 – Produções científicas por base e palavra chave**  
**Fonte: O Autor**

O objetivo do autor Zhang (2006) foi solucionar um dos principais problemas das manufaturas de como fornecer respostas eficientes e econômicas às mudanças imprevisíveis que ocorrem globalmente nos mercados. Este problema é agravado pela complexidade das redes da cadeia de suprimentos juntamente com a complexidade dos sistemas de fabricação individuais nas cadeias de abastecimento. O trabalho do autor representou um sistema de fabricação complexo e sua rede de suprimentos com uma arquitetura de modelagem e simulação baseada em agentes, gerando dinamicamente cenários alternativos em relação ao planejamento, agendamento, configuração e reestruturação do sistema de fabricação e sua rede de suprimentos com base nas interações coordenadas entre agentes.

Para Labarthe (2007), em um contexto dinâmico da cadeia de suprimentos centrada no cliente, os modelos clássicos de previsão revelam uma aplicabilidade limitada. Para estimar os principais índices de desempenho dessas cadeias de suprimentos e facilitar a sua gestão é necessário utilizar ferramentas mais elaboradas, como uma simulação. No entanto, a simulação de construção de cadeia de suprimentos centradas no cliente não é uma questão trivial. Requer a elaboração de um modelo representativo e a execução deste modelo de acordo com um conjunto de hipóteses associadas a cenários.

Devido as suas propriedades, os sistemas multiagentes parecem particularmente adequados para modelagem e simulação de cadeia de suprimentos e mais especialmente em um contexto de personalização em massa. O autor propõe um modelo baseado em agentes para a modelagem e simulação de cadeia de suprimentos que possa facilitar sua gestão. Neste caso ele aplicou o modelo a um caso de cadeia de suprimentos centrada no cliente da indústria de clubes de golfe. Foi desenvolvida pelo autor uma abordagem multiagentes para simular o funcionamento de uma cadeia de suprimentos semelhante a simulação desenvolvida neste documento.

Para Bai, Wu e Yan (2009) a cadeia de suprimentos não é apenas um sistema contínuo ou discreto, mas um sistema híbrido: contínuo e discreto. Os modelos de dinâmica da cadeia de suprimentos existentes não podem mostrar os recursos combinados contínuos e discretos. Eles desenvolveram um modelo baseado em agentes com características dinâmicas de sistemas no software AnyLogic para fazer modelagem e simulação da cadeia de suprimentos que contém fábrica, distribuidor, revendedor e consumidor, o efeito chicote é mostrado nos resultados da simulação. O trabalho dos autores serviu como uma base por ser uma simulação já presente no software AnyLogic. Além disso, eles realizaram um modelo baseado em agentes para simular uma cadeia de suprimentos com conceitos semelhantes aos utilizados neste trabalho.

Para Wen-Li e Yao-Wen (2010), na maioria das vezes, a cadeia de suprimentos é um sistema dinâmico híbrido composto de fluxo de material contínuo, fluxo de informações discreto e sua interação. O método tradicional de modelagem e simulação da cadeia de suprimentos através de um sistema de eventos discretos não pode refletir a complexidade dinâmica sistêmica. No trabalho dos autores há dois tipos de modelo de decisão de cadeia de suprimentos: modelo discreto e modelo híbrido



discreto-contínuo. Eles são construídos com dinâmica do sistema e gráfico de estado discreto usando o software AnyLogic.

Wang et. al. (2013) criaram e simularam um modelo de rede de suprimentos automotivos com a cadeia de suprimentos principal de dois fabricantes de veículos constituídos por vários fornecedores de peças, distribuidores de veículos e fornecedores de serviços logísticos. Através de Sistemas Dinâmicos (SD), Simulação Discreta de eventos (DES) e modelagem baseada em agente (ABM) ele descreveu o estado operacional de cada nó no modelo de rede, usando o software Anylogic para desenvolver o trabalho.

Segundo Garret (2014) a impressão 3D é uma tecnologia disruptiva clássica que provavelmente terá um impacto enorme e generalizado no mundo. Esta tecnologia revolucionária drasticamente os modelos de negócios, mudará a localização da produção, reduzirá os tamanhos das cadeias de suprimentos e alterará a ordem econômica global, potencialmente degradando a importância das plataformas de fabricação de exportação da Ásia e revitalizando o mecanismo de inovação dos EUA, bem como sua economia. O trabalho do autor explicita diversos impactos que a impressão 3D poderia ter nas cadeias de suprimentos de todo o mundo e serviu como base para a criação do modelo de simulação desenvolvido neste trabalho.

Nyman e Sarlin (2014) exploram as oportunidades e as barreiras da tecnologia de impressão em 3D, especificamente no contexto da cadeia de suprimentos, propondo um conjunto de princípios que podem atuar como pontes para pesquisas existentes sobre diferentes estratégias da cadeia de suprimentos e impressão em 3D. Assim como o trabalho de Garret (2014), o trabalho dos autores serviu como base para a criação do modelo de simulação deste trabalho.

Waller (2014) acredita que as tecnologias emergentes, como a impressão 3D, prometem transformar o design e a gestão da cadeia de suprimentos. À medida que essas novas tecnologias permitem que os inventores se tornem empresários, os tempos de ciclo de introdução de novos produtos sejam reduzidos e a variedade de novos produtos, que são introduzidos através de canais curtos de distribuição, aumente. O autor identificou e elaborou importantes questões de pesquisa e, através de uma pesquisa bibliográfica, tentou explicar e prever como esses fenômenos afetarão o gerenciamento da cadeia de suprimentos.

Para Cutting (2015), ao permitir a criação de objetos físicos a partir de representações virtuais sob demanda, a impressão em 3D pode prejudicar cadeias de

fornecimento, armazenagem, fabricação e as inúmeras indústrias que dependem delas. Esses prognósticos, no entanto, acontecem por causa de avanços tecnológicos e aceitação do consumidor e ainda não está claro quais empresas terão os problemas e terão as oportunidades. O United States Postal Service® (USPS) é uma das empresas que podem se beneficiar dessa mudança, o resultado para a USPS depende do avanço da tecnologia, da sua adoção pelos consumidores e das estratégias necessárias para se posicionar para capturar benefícios ou evitar lesões. O trabalho de Cutting (2015) faz uma reflexão interessante utilizando a USPS como empresa exemplo. Ele descreve como os operadores logísticos podem se beneficiar da modificação ocasionada pela revolução prometida pela impressão 3D.

A simulação baseada em agente (SBA) é uma abordagem para sistemas de modelagem compostos de agentes individuais e autônomos que interagem entre si (MACAL, 2014). Macal (2014) desenvolveu um tutorial apresentando a modelagem e simulação baseadas em agentes descrevendo as ideias básicas de SBA, discutindo algumas aplicações e abordando métodos para desenvolver modelos baseados em agentes. Zhang (2015) tentou responder à questão de como as inovações tecnológicas colaborativas da cadeia de suprimentos emergem e difundem. Através de um modelo baseado em agente de inovação tecnológica da cadeia de suprimentos colaborativa, incluindo os agentes de fornecedores, agentes de fabricação e agentes de clientes.

Chen (2016), com base em dados reais, constrói um modelo de cadeia de suprimentos internacional usando o método de sistema dinâmico e simula a tendência de reconstrução da cadeia de suprimentos após a aplicação da impressão em 3D. A conclusão mostra que a aplicação universal da impressão em 3D levará o volume de transporte mundial a diminuir drasticamente e as atividades de fabricação a migrarem gradualmente para os países mais próximos dos clientes finais.

Tan et. al. (2015) definiram quatro tipos de rede de cadeia de suprimentos para representar diferentes estratégias de cada uma: eficiente, responsiva, *hedging-hedging* e de estratégias ágeis. Uma abordagem de modelagem baseada em agentes foi proposta para avaliar o desempenho dos tipos de redes de cadeias de suprimentos sob diferentes cenários de risco de demanda e oferta. A partir dos resultados, eles identificaram o tipo efetivo de rede de cadeia de suprimentos para mitigar o risco de um cenário particular.

Sasson e Johnson (2016) desenvolveram um trabalho sobre fabricação digital direta (FDD). O objetivo foi apresentar uma alternativa onde a FDD coexiste e complementasse a produção em massa tradicional. Quando várias peças funcionam em uma linha de fabricação, a FDD pode isolar a variabilidade associada à produção parcial de baixo volume, o que é uma vantagem para ela em relação a produção em massa. Se a FDD complementa ao em vez de ir contra a produção em massa, isso altera a compreensão de quem a adota, assim como os produtos construídos com ela e as implicações da cadeia de suprimentos a longo prazo do FDD. No trabalho dos autores eles propõem que este modelo de fabricação, na qual a impressão 3D está inserida, seja integrada a manufatura tradicional e não contrariando o modelo existente.

Os trabalhos citados foram revisados e serviram de base para a estruturação do modelo de simulação, os objetivos seus objetivos tiveram ao menos um ponto em comum com este trabalho.

### 2.2.2 Sintetização Das Informações e Construção Do Modelo

Nessa etapa, as informações coletadas na elaboração do referencial teórico foram sintetizadas, para se chegar a um modelo de programação por simulação que pudesse explicar os fenômenos observados.

### 2.2.3 Aplicação Do Modelo No Software AnyLogic

Através da modelagem de simulação; dinâmica de sistemas e eventos discretos, aplicou-se um modelo na plataforma AnyLogic® com uma programação orientada para multiagentes. Para isso, critérios de tomada de decisão foram utilizados e serão descritos no desenvolvimento deste trabalho.

## 2.3 CRONOGRAMA

Para facilitar a visualização do cronograma de desenvolvimento deste trabalho os Quadros 3, 4 e 5 foram criados.

| Mês | Fase                                      | Passo                | Descrição   |
|-----|---|----------------------|---|
| 01  | i) Preparação do projeto                  | Preparação           | Estudar a aplicação dos novos modelos multiagentes no contexto da cadeia de suprimentos   |
| 02  | ii) Estudar o software AnyLogic           | Introdução           | Entendimento Geral de modelos baseados em multiagentes  |
| 03  |   | Entendimento         | Entender a abordagem utilizada pelo AnyLogic. Estudar alguns exemplos práticos da literatura da área de manufatura e cadeia de suprimentos. |
| 04  |   | Apresentação         | Preparar uma apresentação de 2 horas sobre as técnicas utilizadas com exemplos de cadeias de suprimentos.                                   |
| 05  | iii) Estudo de caso: Shapeways            | Entendimento         | Entendimento geral do caso selecionado, plataforma Shapeways de impressão 3D.   |
| 05  |   | Modelar e documentar | Identificar as principais características dessa cadeia de suprimentos e representa-la em um macro e simples modelo.                         |
| 06  | iv) Desenvolver a simulação na plataforma | Requerimentos        | Definir requerimentos básicos da plataforma de simulação e os possíveis cenários experimentais.   |
| 07  |   | Programar            | Programar o primeiro protótipo.   |
| 08  |   | Testar e Simular     | Fazer um teste, verificar e validar os resultados. Simular alguns cenários predefinidos.  |
| 09  |   | Reportar             | Preparar uma apresentação para o orientador explicando o programa   |
| 06  | v) Revisão teórica e escrita              | Revisão Teórica      | Buscar na bibliografia através da metodologia descrita nesse trabalho base e referencial teórico para a escrita e simulação na plataforma   |
| 07  |   |                      |   |
| 08  |   | Escrita              | Período dedicado a escrita e adequação das normas formais de trabalho acadêmico   |
| 09  |   |                      |   |
| 10  | vi) Apresentação final                    | Apresentação         | Apresentação final do TCC   |

**Quadro 3 – Cronograma descrito**

Fonte: O Autor

|                                       | 09/2016 | 10/2016 | 11/2016 | 12/2016 | 01/2017 | 02/2017 | 03/2017 |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Preparação do projeto                 |         |         |         |         |         |         |         |
| Estudar o software AnyLogic           |         |         |         |         |         |         |         |
| Estudo de caso: Shapeways             |         |         |         |         |         |         |         |
| Desenvolver a simulação na plataforma |         |         |         |         |         |         |         |
| Revisão teórica e escrita             |         |         |         |         |         |         |         |
| Apresentação final                    |         |         |         |         |         |         |         |

**Quadro 4 – Cronograma gráfico 1**

Fonte: O Autor

|                                       | 04/2017 | 05/2017 | 06/2017 | 07/2017 | 08/2017 | 09/2017 | 10/2017 | 11/2017 |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Preparação do projeto                 |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Estudar o software AnyLogic           |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Estudo de caso: Shapeways             |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Desenvolver a simulação na plataforma |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Revisão teórica e escrita             |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Apresentação final                    |         |         |         |         |         |         |         |         |

**Quadro 5 – Cronograma gráfico 2**

**Fonte: O Autor**

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

A seguir, serão apresentados o referencial teórico e revisão da literatura que dá suporte a presente pesquisa.

#### 3.1 SIMULAÇÃO

A simulação, que normalmente toma uma forma matemática ou lógica de relação, é constituída por um modelo que tenta entender como um sistema funciona. Se as relações do modelo são simples, este pode ser resolvido por métodos matemáticos (como álgebra, cálculo ou teoria da probabilidade) para obter a resposta exata da questão de interesse, isso se chamada solução analítica. Entretanto, sistemas do mundo real são muito complexos para serem resolvidos analiticamente, por isso devem ser solucionados através da simulação.

A simulação é feita em ambientes computacionais avaliando um modelo numericamente. Com uma data de entrada é possível estimar uma possível saída para a solução do problema em questão. Como exemplo de uso da simulação, considere uma manufatura que está pensando em expandir determinada atividade da produção, mas não tem certeza do potencial de ganho em produtividade e se essa expansão justificaria os custos. Com certeza não seria interessante financeiramente construir e depois remover.

Entretanto, um estudo cuidadoso de simulação poderia dar um norte para os gerentes que pretendem tomar a decisão começando pela simulação da planta no estado atual e comparando com a possibilidade de expansão. Neste caso, cenários de demanda e entrada de material prima poderiam ser considerados (LAW, Averill M.; KELTON, W. David; KELTON, W. David, 1991).

A simulação possui diversas áreas de aplicação, entre elas a criação de modelos de organizações de serviços como escritórios e hospitais, a análise de sistemas econômicos e financeiros, e o que está presente nesse trabalho: o desenvolvimento e análise de sistemas de produção e cadeias de suprimentos. Porém existe alguns impedimentos sobre o potencial de uso da simulação.

Primeiro: modelos utilizados para medir sistemas de larga escalas tendem a ser bastante complexos, e escrever programas computacionais para rodá-los pode

ser uma tarefa difícil. Essa tarefa vem sendo facilitada com o passar dos anos com o recente desenvolvimento de softwares que possibilitam ao usuário utilizar funções pré-programadas que auxiliam na programação do modelo.

O segundo problema com o modelo de simulação é que muitas vezes eles necessitam de um esforço computacional e muito tempo de execução. Entretanto esse empecilho também está diminuindo, já que o custo de computação está se tornando cada vez mais baixo.

Por último, existe uma impressão errada de que a simulação é apenas um exercício de computação. Consequentemente, muitos dos estudos estão sendo compostos por modelos heurísticos, códigos e uma única execução do programa em busca da melhor solução. Essa atitude pode negligenciar a real importância da simulação, que envolve a realização de inferências sobre modelos complexos. (LAW, Averill M.; KELTON, W. David; KELTON, W. David, 1991).

## 3.2 SISTEMAS, MODELOS E SIMULAÇÕES

Neste capítulo conceitos de sistemas modelos e simulações serão apresentados.

### 3.2.1 Sistemas

Um sistema é definido como uma coleção de entidades, pessoas ou máquinas que interagem entre si seguindo alguma regra lógica (Schimdt; Taylor, 1970).

De acordo com Freitas Filho (2008) os elementos de um sistema são definidos da seguinte forma:

**i Eventos:** São acontecimentos, ocorrências, programados ou não, que quando ocorrem provocam uma mudança de estado no sistema. Sempre que ocorre um evento uma variável de estado se altera. Acontecimentos tais como uma peça chegando para ser processada por uma máquina, um cliente chegando em um banco para realizar uma transação ou a chegada de uma requisição em um servidor de arquivos em uma rede local de computadores, podem ser considerados eventos;

**ii. Entidades:** São os itens processados através do sistema tais como produtos, clientes e documentos. Elas podem ser dinâmicas, movendo-se através do sistema, ou estática, servindo a outras entidades. Um exemplo de entidade dinâmica pode ser os clientes na fila do *buffet* ou os clientes na fila da balança. Já as entidades estáticas são o *buffet* e a balança;

**iii. Atributos:** “São as características próprias das entidades, ou seja, aquelas que as definem totalmente” (FREITAS FILHO, 2008, p.41). O uso de atributos permite caracterizar e individualizar as entidades, bem como a obtenção de estatísticas importantes quando se deseja analisar o comportamento dos sistemas sob investigação. Exemplos: idade dos clientes; altura e cor da pele;

**iv. Atividades:** São as tarefas realizadas no sistema que estão, direta ou indiretamente envolvidas no processamento das entidades. A pesagem do alimento e a espera na fila são exemplos de atividades;

**v. Recursos:** “É considerado uma entidade estática que fornece serviços às entidades dinâmicas” (FREITAS FILHO, 2008, p.42). Uma entidade pode demandar vários recursos simultaneamente como, por exemplo, no sistema de pesagem é necessária uma pessoa e uma balança (máquina). Exemplos: pessoas; equipamentos ou espaços que são utilizados pelas entidades.

Na prática a definição do conceito de sistema depende dos objetivos particulares de cada estudo. A coleção de entidades que compõe o sistema de um estudo pode ser apenas uma parte de uma coleção maior para outro estudo e assim por diante. Por exemplo: se é estudado um banco para tentar estimar o número de atendentes para melhorar o serviço ao cliente que deseja apenas fazer um depósito, esse sistema é parte integrante de todos os atendimentos do banco e também de todos os clientes que estão esperando na fila.

O estado de um sistema é o conjunto de variáveis necessárias para descrever esse sistema em um determinado período, relacionando-o aos objetos de estudo. De acordo com Andrade (2007), um sistema possui os seguintes tipos de variáveis:

**i. Variáveis de decisão:** são as variáveis independentes do sistema. Através delas é possível controlar o sistema criando diferentes cenários e conduzir a simulação de acordo com os objetivos e interesses estabelecidos pelo modelador ou usuário. Utilizando um banco com atendentes, clientes e filas, um possível exemplo de variável de decisão seria a quantidade de atendentes do banco.



**ii. Variáveis de resposta:** chamadas variáveis desempenho ou de saída, são dependentes e são as respostas que o sistema fornece em função das variáveis de decisão das hipóteses estabelecidas e da interação entre os elementos do sistema. Ainda no exemplo do banco, uma possível variável de resposta seria o tamanho da fila.

**iii. Variáveis de estado:** as variáveis de estado indicam o estado do sistema em qualquer ponto específico do tempo. No exemplo utilizado, uma variável de estado seria o estado do atendente, se ele está atendendo ou livre.

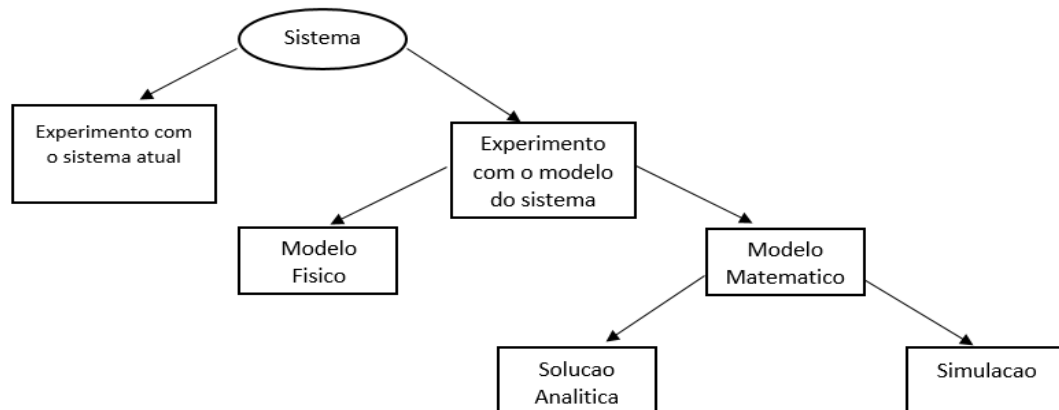
### 3.2.1.1 Tipos de sistemas

Os sistemas são caracterizados de duas maneiras: discreta e contínua. Um sistema discreto é o sistema em que as variáveis mudam instantaneamente em diferentes períodos de tempo. O banco é um sistema discreto, já que as variáveis mudam pontualmente, por exemplo, o número de clientes se altera no momento em que um cliente entra ou sai.

O sistema contínuo é aquele em que as variáveis mudam continuamente durante o passar do tempo. Um avião voando é um exemplo de sistema contínuo, já que variáveis como posição e velocidade podem mudar continuamente com o passar do tempo. Alguns sistemas podem apresentar características discretas e contínuas, mas geralmente com alguma delas se sobressaindo, o que possibilita a classificação do sistema entre discreto ou contínuo (LAW, et. al., 1997).

Em algum momento na vida de um sistema é necessário fazer um estudo para ter ideias dos relacionamentos entre os vários componentes ou para projetar uma performance. Esses estudos devem levar em considerações características básicas de um sistema apresentados na Figura 2.

### 3.2.2 Modelos e Simulações



**Figura 2 – Modelando e simulando sistemas**  
 Fonte: Law (1991)

**i. Experimentos com o sistema atual ou experimentos com modelos de um sistema projetado:** se é possível e não custoso modificar o sistema fisicamente e possibilitar as novas condições, provavelmente é desejável fazer a alteração. Entretanto, mesmo assim é interessante fazer a simulação, considerando que tal experimento frequentemente é destrutivo para o sistema extrapolando o óbvio. Por exemplo, um banco está pensando em reduzir o número de atendentes para cortar despesas, porém fazendo isso pode gerar grandes filas e aumentar os tempos de espera.

O sistema não precisa nem existir, e mesmo assim pode ser simulado para verificar as diversas maneiras de construí-lo. Um exemplo nessa situação pode ser relacionado as manufaturas modernas e flexíveis, como a impressão 3D, que não se sabe ainda de que forma elas se estabelecerão no mercado, porém, com o auxílio da simulação algumas características podem ser previstas.

**ii. Modelo físico ou modelo matemático:** Algumas vezes é interessante construir modelos físicos para estudar fenômenos da engenharia, como um protótipo. Mas a maioria dos modelos construídos com esse propósito de estudo são matemáticos, representando um sistema em termos lógicos e quantitativos. Podendo ser manipulado e modificado para ver como o modelo reage, e depois vendo como ele

reagiria. Porém, normalmente modelos matemáticos são limitados e descrevem apenas fenômenos isolados.

**iii. Solução Analítica ou Simulação:** Uma vez construído o modelo matemático, ele deve ser analisado para descobrir como pode ser usado para responder à questão de interesse sobre o sistema. Se o modelo é simples o bastante, isso pode ser possível trabalhando nas relações e quantidades para obter a solução analítica exata. O problema é quando as soluções analíticas começam a ficar extremamente complexas e requerem um grande potencial computacional. Se for possível encontrar a solução analítica e eficiente em termos computacionais, provavelmente é melhor ir por esse caminho. Entretanto muitos sistemas reais são complexos demais para se obter essa solução, nesse caso, a melhor opção é a simulação.

**iv. Simulação estática ou dinâmica:** Um modelo estático é a representação de um sistema em um determinado tempo, enquanto o modelo dinâmico representa um sistema que evolui durante o passar do tempo.

**v. Sistemas determinísticos e estocásticos:** Se um modelo de simulação não contém variáveis probabilísticas (randômicas), ele é chamado determinístico. Em um modelo determinístico a resposta é determinada uma vez que um conjunto de valores são atribuídos as variáveis, mesmo que isso gere um grande esforço computacional. Muitos sistemas, entretanto, podem ser modelados tendo algumas entradas randômicas. Esse tipo de modelo é chamado de modelo de simulação estocástica, muitos dos modelos de filas e estoques são modelados desta maneira. Modelos de simulação estocástica produzem saídas randômicas, ou seja, se o modelo for programado computacionalmente e rodado mais de uma vez provavelmente os resultados serão diferentes e também serão apenas uma estimativa do resultado real, essa é uma das maiores desvantagens da simulação estocástica.

**vi. Modelos de simulação contínua ou discreta:** A decisão de utilizar entre modelos discretos ou contínuos para um sistema particular, depende das especificidades do estudo. Por exemplo, um modelo de fluxo de tráfego em uma estrada pode ser discreto se as características do movimento individual dos carros

são importantes. De outra maneira, se os carros podem ser tratados como uma variáveis simples e agregadas, o fluxo de tráfego pode ser descrito através de equações em modelos contínuos.

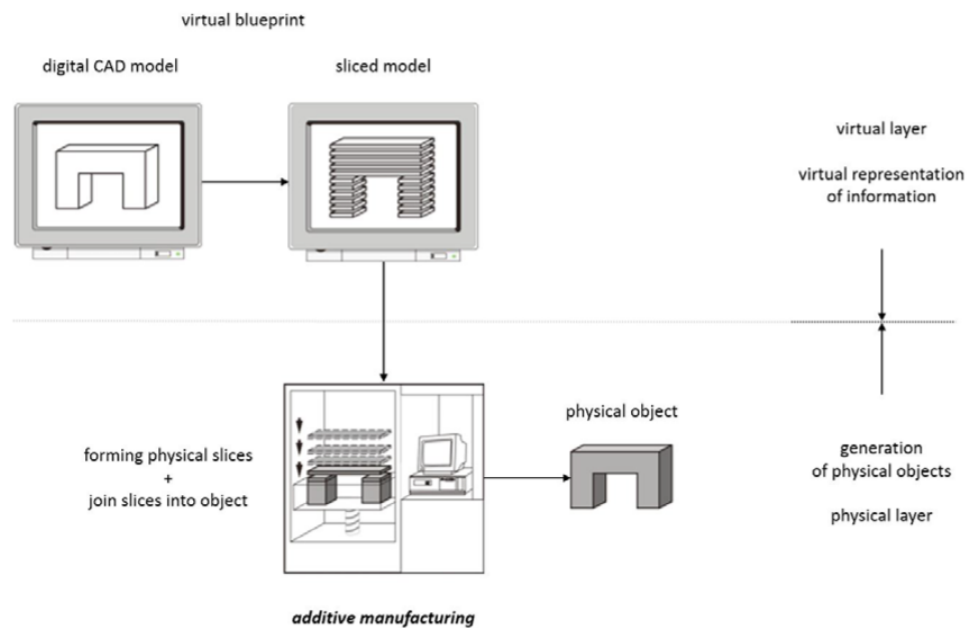
Pode-se caracterizar uma simulação como discreta ou contínua. Normalmente isso se faz quando uma dessas características tem maior predominância no programa. Se o programa possuir mais eventos discretos será caracterizado como discreto, da mesma maneira é feita a classificação de simulações contínuas. Este trabalho, apesar de ser uma simulação multiagentes, utiliza de interações discretas que acontecem em tempos específicos e de maneira dispersas. A simulação contínua está contida no processo de fabricação da manufatura.

### 3.3 IMPRESSÃO 3D

As técnicas de manufatura tradicional como a fresagem, usinagem e a perfuração têm como princípio a remoção de material, por isso são conhecidas como manufaturas subtrativas. Outras técnicas também tradicionais são as de formação, como a fundição e a modelagem, todas essas técnicas, por possuírem um grande histórico de utilização na indústria, são rápidas, eficientes e usadas na produção em massa (WIRT; THIESSE, 2014).

Por outro lado, temos a manufatura aditiva. Neste gênero uma das principais técnicas é a impressão 3D, que até pouco tempo se desenvolvia sem protagonismo devido a limitações técnicas, alto custo, qualidade baixa e capacidade limitada. Porém uma grande evolução nessa manufatura aconteceu nos últimos anos e alguns autores consideram que ela pode ser uma das bases para a próxima revolução industrial (MASHALI; RAIHANIAN, A.; ESMAELIAN, B.; BEHDAD, S., 2015).

O primeiro passo para imprimir um produto é possuir seu modelo digitalizado. Esse documento digital é usualmente conhecido como '*computer-aided design*' (CAD), O segundo passo é transformar esse arquivo em uma representação digital orientada em camadas. Por último, a impressora reconhece esse arquivo que divide o produto em camadas e inicia o processo de impressão camada a camada (WIRT; THIESSE, 2014). Esses passos estão ilustrados na Figura 3.



**Figura 3 – Princípio da manufatura aditiva**  
**Fonte: Gebhardt (2012)**

A impressão 3D afeta a estrutura de mercado como um todo. Existe uma crescente comunidade de desenvolvedores que criam e compartilham seus produtos virtuais, novas mercadorias criadas a partir da impressão e um mercado de vendas de impressoras 3D para uso doméstico (JONG; BRUIJN, 2013. LIPSON; KURMAN 2013). Essa nova formatação de mercado gera novas perspectivas e análises que devem ser observadas pela engenharia de produção. Algumas das mudanças afetam diretamente a cadeia de suprimentos em sua formatação atual.

### 3.4 CADEIA DE SUPRIMENTOS

Cadeia de suprimentos é a união de todas as partes envolvidas direta ou indiretamente em atender uma requisição do cliente. Uma cadeia de suprimentos inclui não só as manufaturas e os fornecedores, mas também os transportadores, intermediários, atacadistas, varejistas e até os próprios clientes (CHOPRA, 2007).

Para Mentzer (2001), uma cadeia de suprimentos deve possuir coordenação sistêmicas entre as partes interessadas, ou seja, do primeiro fornecedor de matéria prima até o cliente, no desenvolvimento de um produto, com o objetivo de melhorar os resultados individuais das empresas e da cadeia como um todo a longo prazo.

Um exemplo de cadeia de suprimentos é o da Toyota, montadora japonesa que teve um crescimento significativo nas últimas décadas. Um fator chave para a Toyota é a sua produção global e seu modelo de distribuição. Antes de 1996 a empresa usava fábricas locais para seus mercados consumidores. Depois da crise financeira asiática de 1996/1997, a Toyota redesenhou sua estratégia e suas fábricas para caso um mercado consumidor esteja em baixa poder exportar para mercados que se mantenham em alta. A Toyota chama essa estratégia de “complementação global” (CHOPRA, 2007).

Uma cadeia de suprimentos pode tomar diversos formatos em diferentes estratégias e áreas. Com o surgimento da impressão 3D novas possibilidades são geradas para estruturar diferentes cadeias de suprimentos.

#### 3.4.1 Cadeia De Suprimentos Da Impressão 3D

Existem diversas mudanças em que a impressão 3D ao ser adotada traz para a estrutura da cadeia. Desde o desenvolvimento mais detalhado do produto no CAD até decisões logísticas complexas, em cada um desses níveis existem oportunidades de melhoria (MASHALI, et al, 2015). Lipson e Kurman (2013) descrevem dez características da impressão 3D que podem modificar o cenário futuro da cadeia de suprimentos como um todo.

**i. A complexidade da manufatura é livre.** Isso porque não há diferença entre objetos simples e complexos no mundo da impressão 3D, ao contrário da manufatura tradicional em que um produto complexo costuma ser mais caro que um simples. Do ponto de vista da cadeia de suprimentos isso leva a customização a um novo nível, permitindo uma estratégia de baixo custo e rápida para a customização em massa.

**ii. A variedade é livre.** A impressão 3D consegue ser rapidamente reconfigurada para produzir diferentes objetos em um tempo reduzido, comparado as máquinas da manufatura tradicional, isso permite uma agilidade na cadeia de suprimentos a um custo muito mais baixo.

**iii. Não é necessário montar.** Muitas manufaturas tradicionais necessitam de uma complexa cadeia de suprimentos, com uma grande quantidade de parceiros fornecendo peças para a montagem do produto final. Como a impressão 3D produz

objetos a partir do zero e uma mesma máquina pode produzir diversos tipos de objetos e muitos estágios do processo de manufatura podem ser substituídos.

**iv. Lead time zero.** A impressão 3D diminui o tempo entre o início e a execução do processo. Isso é causado pelo fato da reconfiguração da impressão 3D ser muito rápida e a natureza dos processos serem sob demanda. É importante salientar que esse *lead time* não se refere ao tempo de produção que em muitos casos é muito maior do que os das manufaturas tradicionais.

**v. Espaço ilimitado para o design.** Ferramentas da manufatura tradicional são limitadas em tamanho e formato, cada tipo de manufatura tem suas próprias limitações. Com a impressão 3D algumas dessas limitações são reduzidas permitindo designs novos e totalmente diferentes do que os anteriores.

**vi. Zero habilidade necessária para operar.** Enquanto as máquinas da manufatura tradicional necessitam um alto nível especialização sobre sua funcionalidade para operar a impressão 3D, a partir do momento em que o design virtual estiver feito, é de simples operação e acompanhamento.

**vii. Manufatura compacta.** A impressão 3D tem uma capacidade maior por volume de produção por espaço comparado a manufatura tradicional. Ou seja, com a mesma metragem em equipamentos a manufatura 3D produz mais. Além disso, enquanto máquinas da manufatura tradicional criam peças menores que elas as impressoras 3D conseguem criar objetos maiores, porque os aparatos de impressão podem se mover livremente. Isso possibilita o estabelecimento de pequenas manufaturas mais próximas do consumidor ou em locais estratégicos da cadeia de suprimentos.

**viii. Menos perda por produto.** Segundo Berman (2012) o método de fabricação por impressão 3D pode reduzir o desperdício de material em até 40% na fabricação de metais. Na manufatura tradicional boa parte da matéria prima acaba no chão da fábrica sendo inutilizada, isso pode ter um grande impacto no custo total de produção.

**ix. Mix infinitos de materiais.** Misturar diferentes tipos de matérias primas pode ser uma tarefa difícil no sistema tradicional, que normalmente corta ou molda o material. Por enquanto a mesma dificuldade é encontrada na impressão 3D, mas segundo previsões de Lipson e Kurman (2013) em um futuro próximo o mix de materiais será possível e mais fácil através da impressão 3D;

**x. Replicação física precisa.** A impressão 3D irá unir os mundos virtual e real, produzindo peças fiéis ao design virtual de maneira muito mais rápida. Do ponto de vista da cadeia de suprimentos, isso permite que inovações do mundo inteiro sejam compartilhadas e rapidamente implementadas nas manufaturas espalhadas, ao contrário de hoje, que uma inovação de maquinário demora para atingir todas as fábricas de uma organização.

Vistas todas essas possíveis alterações, uma maneira de simulá-las é através da modelagem baseada em agentes.

### 3.5 SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES

Simulação baseada em agentes é uma abordagem para modelar sistemas complexos composto por agentes autônomos que interagem entre si. Os agentes têm regras normalmente simples e interações com outros agentes, o que modifica o resultado do cenário conforme essas influências acontecem. Ao modelar agentes individualmente e fazê-los influenciar os outros agentes, pode-se observar diversos efeitos e atributos que estes causam ao meio sem que esses efeitos tenham sido diretamente programados na inicialização do programa. Essa modelagem oferece uma maneira de simular um ambiente social em que os agentes interagem e aprendem com suas experiências e passam a se situar de maneira diferente no meio (MACAL, 2005).

Segundo Grigoryev (2015), os agentes possuem algumas características que o definem:

**i. Agentes não são autômatos**, ou seja, não precisam viver em um espaço discreto. Quando se precisa representar um espaço normalmente ele é contínuo como um mapa;

**ii. Agentes não são necessariamente pessoas.** Numa fábrica por exemplo as máquinas podem ser modeladas como agentes, ou numa cadeia de suprimentos os fornecedores podem ser agentes.

**iii. Um objeto que parece totalmente passivo pode ser um agente.** É possível modelar uma manufatura como um agente e depois associar cronogramas de manutenção e troca que podem ser modificados por eventos externos, por



exemplo, uma pausa não programada na manufatura em que se aproveita para realizar a manutenção dos equipamentos.

**iv. Existem modelos baseados em agentes onde os agentes não interagem.** Por exemplo, na saúde, o índice de consumo de álcool ou obesidade alteram o ambiente, mas não são a princípio interações entre os agentes.

Os benefícios da programação baseada em agentes, podem ser percebidos de três maneiras: (i) Na captura de fenômenos emergentes, (ii) na descrição natural de um sistema, (iii) é uma programação flexível e limpa (BONABEAU, 2002).

O meio em que o agente está localizado, seja ele discreto ou não, pode ser simplesmente utilizado para passar informações como a localização do agente. Nesse caso um sistema de informação geográfica pode ser utilizado. Porém o ambiente pode ser mais complexo que isso, contendo informações de tráfego e capacidade de via em um sistema logístico, o que limita o transporte dos agentes naquele local (MACAL, 2005).

A impressão 3D é um exemplo de fenômeno emergente e incerto. Portanto, dentro da programação multiagentes alguns cenários podem ser criados e os resultados desses cenários analisados para auxiliar na tomada de decisão. Para modelar sua cadeia de suprimentos, uma possibilidade é utilizar um sistema de informações geográficas que contenha os locais das manufaturas e os elos da cadeia. Neste trabalho foram utilizadas informações geográficas baseado nas manufaturas de uma empresa de impressão 3D a Shapeways.

### 3.6 SHAPEWAYS

Hoje em dia a impressão 3D não é exclusivamente reservada para importantes companhias, que podem comprar equipamentos caros. Serviços baseados na internet prometem tornar reais qualquer projeto imaginado e desenhado virtualmente, e deixar isso acessível a todos. O caso da Shapeways, uma comunidade online de impressão 3D co-fundada em 2007 pelo atual CEO Peter Weijmarshausen, ilustra um modelo de negócio e os desafios estratégicos que os gerentes desse inseridos nesta área precisam enfrentar.

No ano de 2008, a Shapeways iniciou um contrato com a Philips na Holanda, fundada por Peter Weijmarshausen, Robert Schouwenburg e Marleen Vogelaar. A

ideia de construir um negócio de impressão 3D com atuação online e comunidade começou em 2007, desenvolvida na incubadora “Lifestyle of Royal Philips Electronics”. Hoje, a Shapeways é uma companhia independente com base nos Estados Unidos e emprega mais de 90 pessoas (WEIJMASHAUSEN, 2010).

Peter Weijmarshausen, CEO da companhia, descreve seu modelo de negócio da seguinte maneira: “*Shapeways is the largest 3D printing marketplace and community online and what we basically do is, we make it possible for anyone to use 3D printers, so you do not need to physically own one*”. O que significa que a Shapeways é a maior companhia em participação de mercado e comunidade online. O que ela faz é tornar possível para qualquer um acessar a impressão 3D, para que as pessoas não precisem comprar uma máquina física.

Desde o começo em 2007 até hoje, a Shapeways experiência um crescimento rápido, especialmente relacionado ao número de membros na comunidade, e a quantidade de objetos impressos aumentaram significativamente nos últimos anos.

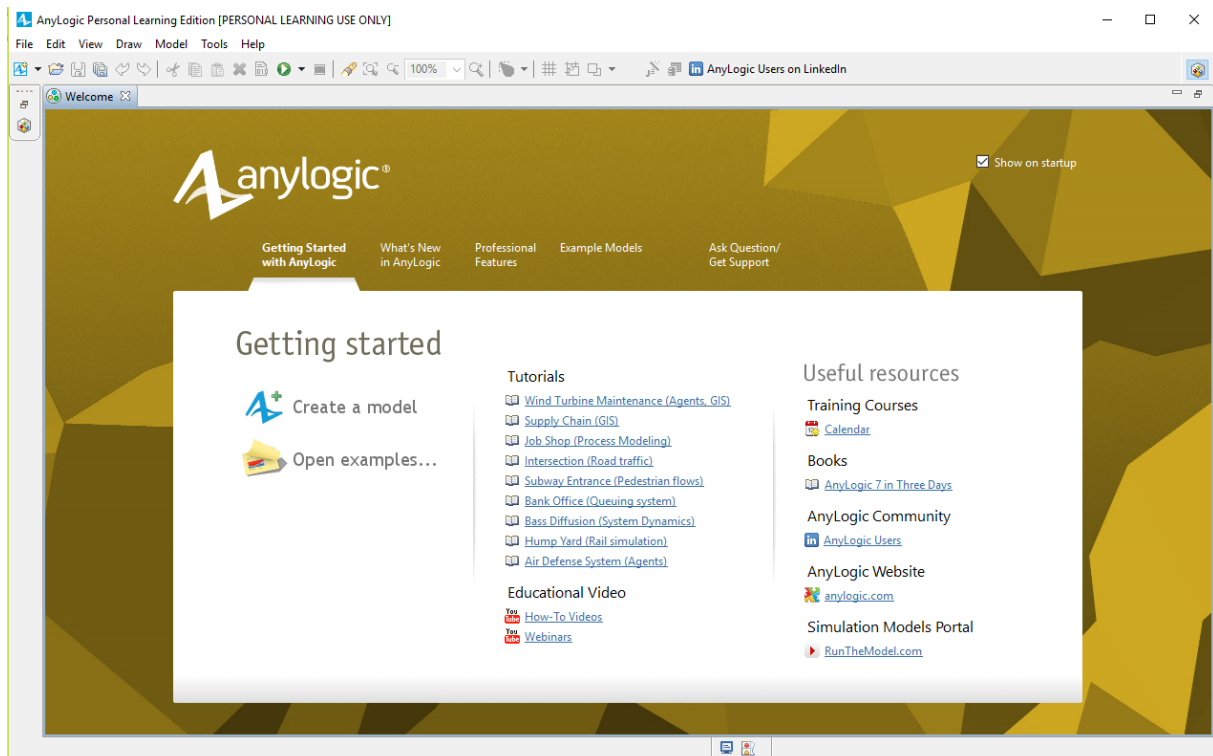
A partir de 2010 a companhia se transferiu para Nova York, mas também opera em escritórios em Seattle e Eindhoven, na Holanda. Uma nova manufatura foi construída em Long Island City, Nova York. Essa nova fábrica é a maior de manufatura aditiva do mundo, equipada com máquinas de porte industrial. Ela é capaz de fabricar de três a cinco milhões de peças únicas por ano. (WEIJMASHAUSEN, 2013)

Em suas rodadas de investimento a Shapeways arrecadou, cinco milhões de dólares de um fundo liderado pela *Union Square Ventures and Index Ventures* em 2010. Em junho de 2012, *Lux Capital* aportou um capital de seis milhões e duzentos mil dólares. Na última rodada de investimentos mais trinta milhões de dólares foram arrecadados da *Andressen Horowitz* (WEIJMASHAUSEN, 2013)

Diversas plataformas podem ser utilizadas para modelar um sistema baseado em agentes. A plataforma AnyLogic foi a escolhida por possui um sistema de informação geográfica e possibilitar ao mesmo tempo programações contínuas e discretas.

### 3.7 SOFTWARE ANYLOGIC

O software AnyLogic (Figura 4) é um ambiente de programação e simulação que possibilita diferentes técnicas que podem ser utilizadas simultaneamente. Através de uma linguagem de programação, ele permite ao usuário três principais abordagens: sistemas dinâmicos, normalmente utilizados para modelar partes contínuas com equações diferenciais, eventos discretos, para programar eventos em uma programação discreta e programação baseada em agentes, que permite criar e manipular agentes (EMRICH, 2007).



**Figura 4 – Tela inicial do software AnyLogic**  
**Fonte: O Autor**

A programação baseada em agentes é na prática muito diversa e seria impossível desenvolver uma linguagem universal. Porém, o software traz alguns padrões de design que simplificam a forma de programar do desenvolvedor. Esses padrões estão presentes na:

- i. Arquitetura do modelo;
- ii. Sincronização dos agentes;

- iii. Espaço utilizado (contínuo, discreto ou GIS-map), mobilidade e animação espacial;
- iv. Conexões entre os agentes;
- v. Criação e destruição dinâmica dos agentes.

AnyLogic é o único software profissional de programação baseada em agentes que suporta cartas de estado, cartas de ação e programação orientada ao objeto do JAVA. Além disso tem a possibilidade de utilizar sistemas dinâmicos e cartas de fluxo dentro e fora dos agentes. Outros softwares de programação baseados em agentes falham em uma dessas duas categorias: ferramentas gráficas com capacidades limitadas ou ambiente de linguagem JAVA, ou outra programação como o C++, para o usuário alcançar outro nível de complexidade no desenvolvimento da simulação (BORSHCHEV, KARPOV, KHARITONOV, 2002).

### 3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPITULO

Com a finalização desse capítulo, os objetivos específicos de levantamento bibliográfico sobre aplicação de multiagentes em cadeias suprimentos e impressão 3D e entender a aplicabilidade do método de programação multiagentes na cadeia de suprimentos foram concluídos. Porém, após a leitura e estudo de diversas produções científicas, não foi possível encontrar referências teóricas que falem diretamente sobre o tema proposto neste trabalho. Portanto, foram utilizadas referências específicas sobre os assuntos para que o próximo objetivo, propor um modelo multiagentes específico de cadeia de suprimentos que utilize impressão 3D, pudesse ser concluído na etapa de desenvolvimento.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Dentro do programa AnyLogic pode-se designar uma unidade de tempo para realizar a simulação. No caso deste trabalho a simulação foi realizada em dias. Além disso pode-se controlar por quanto tempo o programa rodará, podendo tornar esse processo mais lento ou mais rápido, por exemplo, gerando interações de um ano do código por minuto real ou para cada dez minutos reais. Todos os cenários foram realizados durante o período um ano (365 dias) do software.

A simulação multiagentes é caracterizada por possuir entradas manipuláveis que geram cenários distintos de saída. Para o desenvolvimento deste trabalho quatro entradas foram selecionadas, todas relacionadas a quantidade de demanda de produtos A, B, C e D pelas manufaturas por unidade de tempo (dias). Todos esses produtos são provenientes de uma mesma matéria prima. O que difere essas entradas são os valores de venda e custo de estocagem de cada material de acordo com o Quadro a seguir.

| Produto | Valor de Venda (\$) | Custo de estoque por dia (\$) |
|---------|---------------------|-------------------------------|
| A       | 80                  | 8                             |
| B       | 40                  | 4                             |
| C       | 20                  | 2                             |
| D       | 10                  | 1                             |

**Quadro 6 – Valores de venda e custo dos produtos**

**Fonte: O Autor**

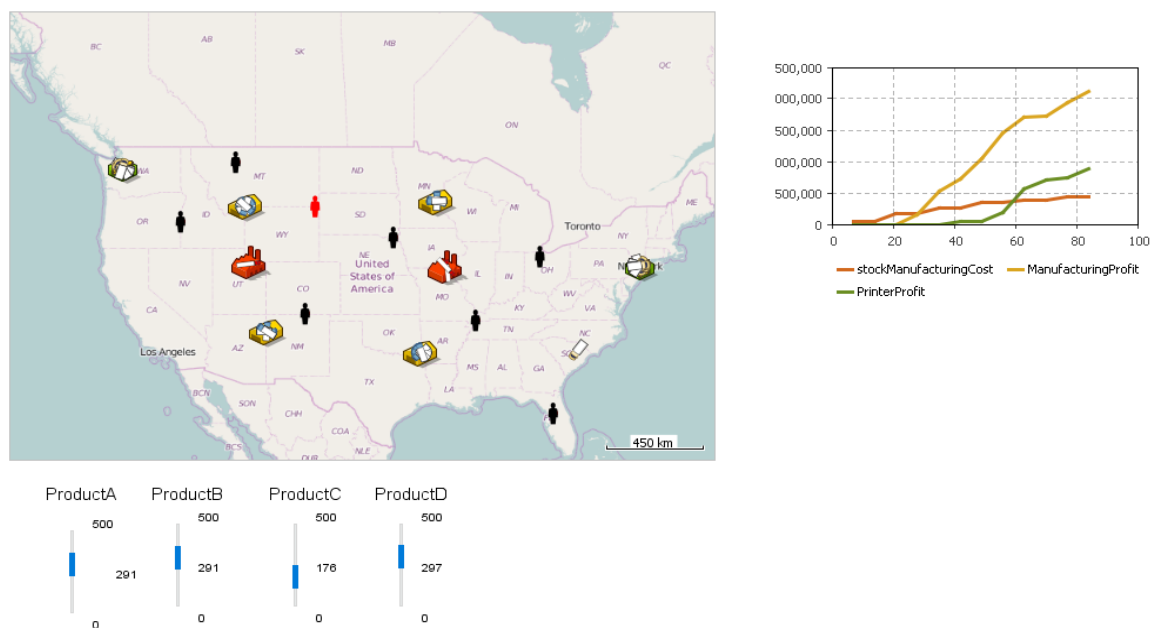
Esses valores são aleatórios, o objetivo foi verificar se o modelo construído faz sentido observando as entradas e saídas dos cenários.

### 4.1 FUNÇÃO PRINCIPAL

A seguir a função principal do programa contendo o mapa dos Estados Unidos com os agentes posicionados no mapa, um gráfico de saída contendo informações do lucro da impressão 3D (*PrinterProfit*) em verde, a renda das manufaturas (*ManufacturingProfit*) em amarelo e o custo de estoque das manufaturas

(*stockManufacturingCost*) em vermelho. Também estão inclusos os *sliders*, barras de quantidade de demanda de cada produto por pedido de cada cliente.

Os agentes, em sua maioria, foram distribuídos de maneira aleatória no mapa, de forma que distribuidores distintos tivessem que atender um, dois ou três clientes ao mesmo tempo dependendo da localização e que as manufaturas suportassem dois centros de distribuição. Apenas os pontos da impressão 3D foram posicionados de acordo com as sedes da Shapeways nos Estados Unidos (uma em Nova York e outra em Seattle).



**Figura 5– Função principal do programa**  
Fonte: O Autor

Na Figura 5, três objetos do programa podem ser observados: o primeiro é o mapa dos Estados Unidos com os agentes posicionados no mapa, ao lado, o gráfico de lucro e custo gerado após a execução dos cenários. Para as legendas desse gráfico têm-se em verde o Lucro da impressão 3D, em amarelo o lucro da cadeia de suprimentos tradicional e em laranja o custo de estoque da cadeia de suprimentos tradicional. Por último, abaixo do mapa os *sliders* onde foram definidas as demandas de cada produto e gerados os cenários.



observada no quadro 7 em que ela não possui em estoque produtos A e C, portanto fará o pedido de 200 produtos de A e C para a impressora 3D.

| Produto                  | A   | B   | C   | D   |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Pedido do cliente        | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Estoque da distribuidora | 50  | 250 | 100 | 300 |
| Impressão 3D             | 0   | 200 | 0   | 200 |

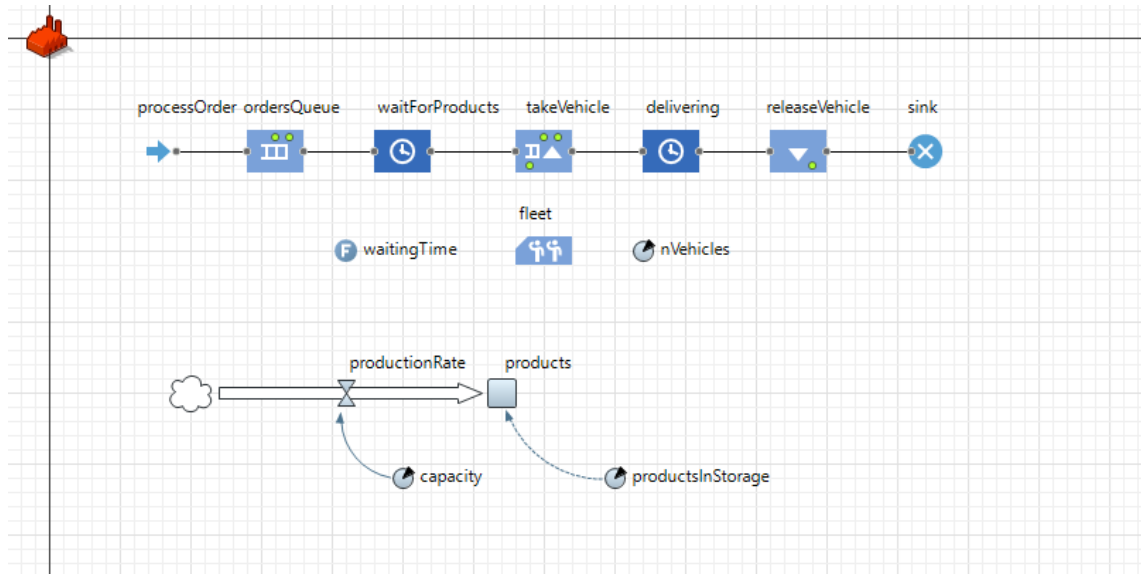
**Quadro 7 – Exemplo de demanda e terceirização dos pedidos**  
**Fonte: O Autor**

#### 4.3 MANUFATURAS

A manufatura recebe o pedido das distribuidoras que começa a ser processado assim que o operador lógico em formato de seta (*processOrder*) é acionado. A manufatura possui um estoque de saída (*products*) e um valor de produção por tempo (*productionRate*) previamente definidos.

Se a manufatura não possuir os estoques para atender as distribuidoras isso criará uma fila (*OrdersQueue*), assim que o estoque é suficiente ela realizará a entrega (*delivering*) (ver Figura 7). A manufatura não possui nenhuma forma inteligente de previsão de demanda, dessa forma ela sempre empurrará valores fixos dos produtos o que, dependendo da demanda de cada produto, pode gerar grandes estoques nas distribuidoras.

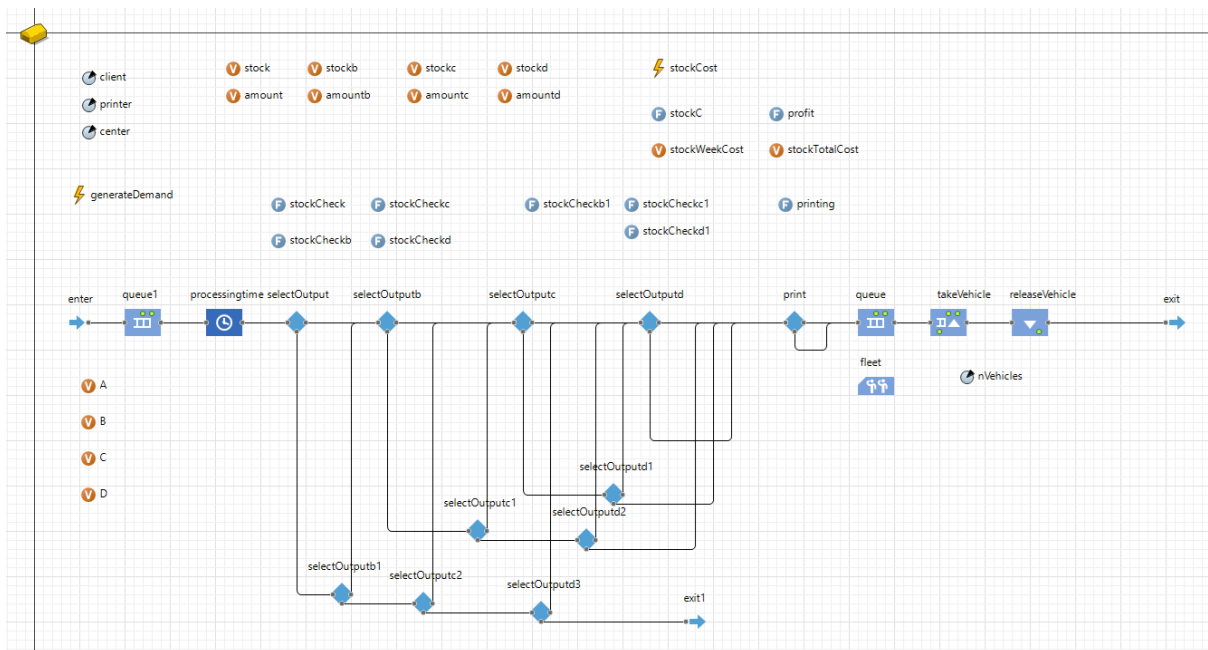




**Figura 7 – Lógica de programação das manufaturas**  
**Fonte: O Autor**

#### 4.4 DISTRIBUIDORES

Os distribuidores recebem os pedidos dos clientes. Está presente nesses agentes a lógica entre vender o que está em estoque ou terceirizar o produto nas impressoras 3D da Shapeways.



**Figura 8 – Lógica de programação das distribuidoras**  
**Fonte: O Autor**

Sempre que um pedido é feito o operador lógico em formato de seta (*enter*) é acionado. Depois de um tempo de processamento do pedido, as lógicas (*SelectOutput*) para checar se existem produtos disponíveis em estoque são acionadas, o que acarretará em dois possíveis cenários: a entrega do produto direto para o cliente ou a necessidade de terceirizar o pedido, posteriormente a entrega e/ou a terceirização são realizadas (Figura 8).

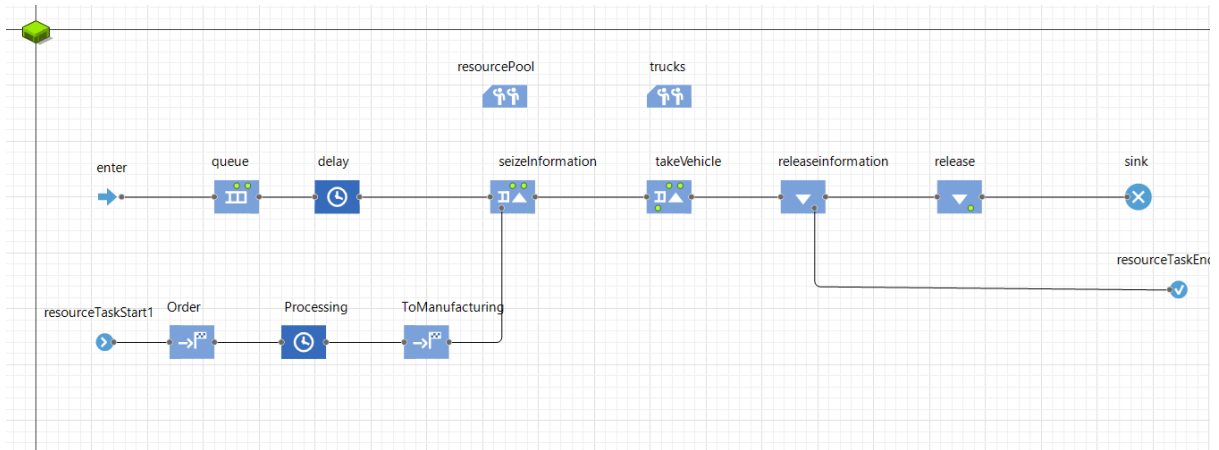
Quando um pedido é entregue diretamente do estoque do distribuidor ao cliente esse distribuidor gera uma receita que, posteriormente decrescida do custo de estoque, resultará no lucro e será uma das variáveis de saída presentes no gráfico da função principal.

Além dessa lógica dois eventos discretos estão presentes nesses agentes. O primeiro, *generateDemand*, serve para gerar a demanda de pedidos para as manufaturas. A quantidade de vezes que o pedido é feito é definido pelo antes do código rodar e definiu os cenários estudados neste trabalho. O segundo é o evento **stockCost** que é acionado uma vez por dia e faz uma multiplicação da quantidade de cada produto em estoque pelo preço de custo por dia de cada um. Esses valores são somados e atribuídos a uma das variáveis de saída presentes no gráfico da função principal, o custo de estoque

#### 4.5 IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D será acionada sempre que um distribuidor não possuir estoque de um produto para entregar. Quando isso ocorrer, o operador lógico *enter* é acionado, gerando uma fila de pedidos de acordo com um *delay* previamente atribuído (Figura 9).

Como uma das premissas desse programa é que todos os produtos utilizam a mesma matéria prima, esses agentes não possuem limitação de produção em termos de estoques e matérias primas, ou seja, sempre que um pedido é recebido ele será entregue, apenas terá que aguardar os outros pedidos na fila de produção. Esse é um dos atributos presentes na impressão 3D destacado neste trabalho.



**Figura 9 – Lógica de programação da impressão 3D**  
**Fonte: O Autor**

## 4.6 VEÍCULOS

Os veículos não são agentes de tomada de decisão, eles apenas processam informações como localização do cliente e pedido dos distribuidores e da impressora 3D. Para uma simulação mais complexa que envolva custos logísticos esse agente

poderia possuir mais informações como gasto de combustível e tempos de entrega.

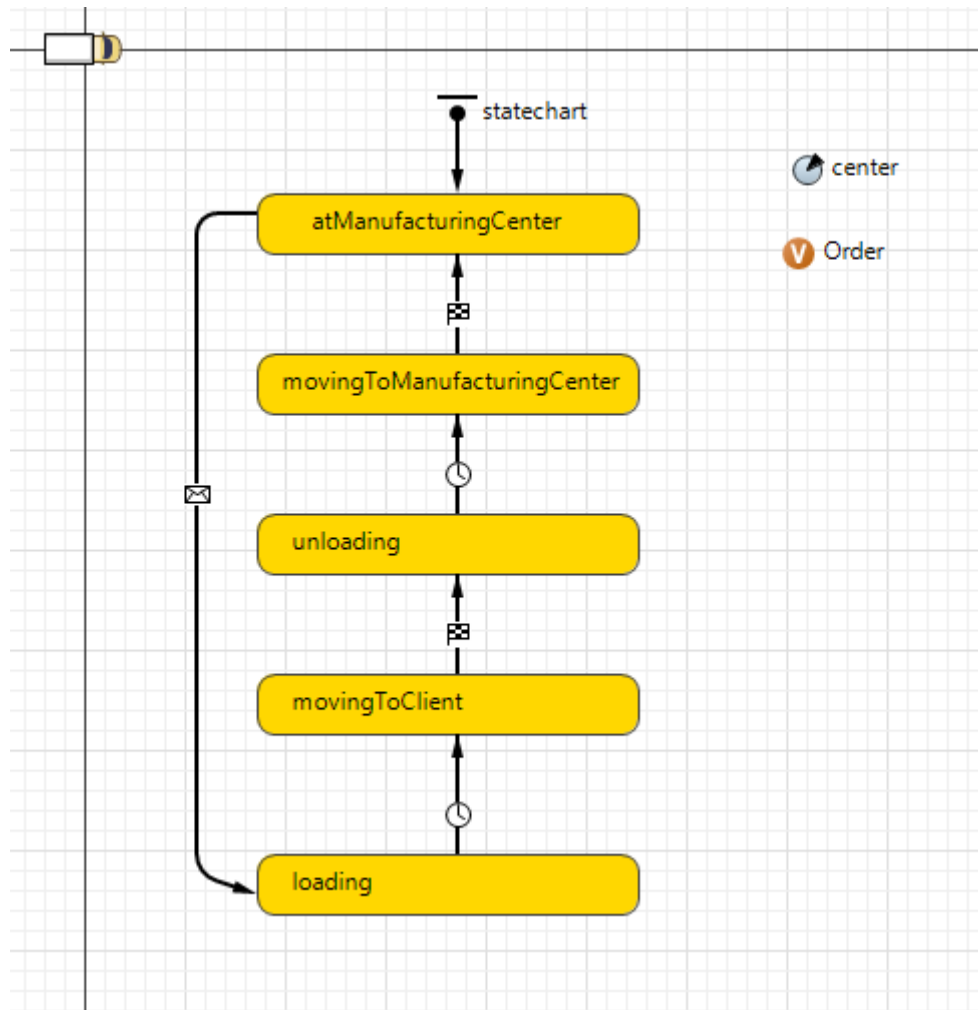


Figura 10 – Lógica de programação das distribuidoras  
Fonte: O Autor

A Figura 10 demonstra como o veículo é programado. Quando ele receber um aviso da manufatura ou da impressão 3D ele sairá do estado *atManufacturingCenter* e irá para o estado *loading*. Posteriormente ele se move até o cliente, descarrega e retorna a manufatura ou impressora 3D.

## 5 RESULTADOS

Para avaliar a lógica do programa e obter alguns resultados simulados de lucro do sistema de impressão 3D e do sistema tradicional de manufatura alguns cenários de demanda de produtos foram testados. Cada produto (A, B, C e D) possui valor de venda e custo de estoque diário pré-definido. Alterando os valores de demanda obteve-se diferentes performances do sistema produção tradicional e do sistema de impressão 3D. Para essa simulação o programa foi rodado durante o período um ano de vendas.

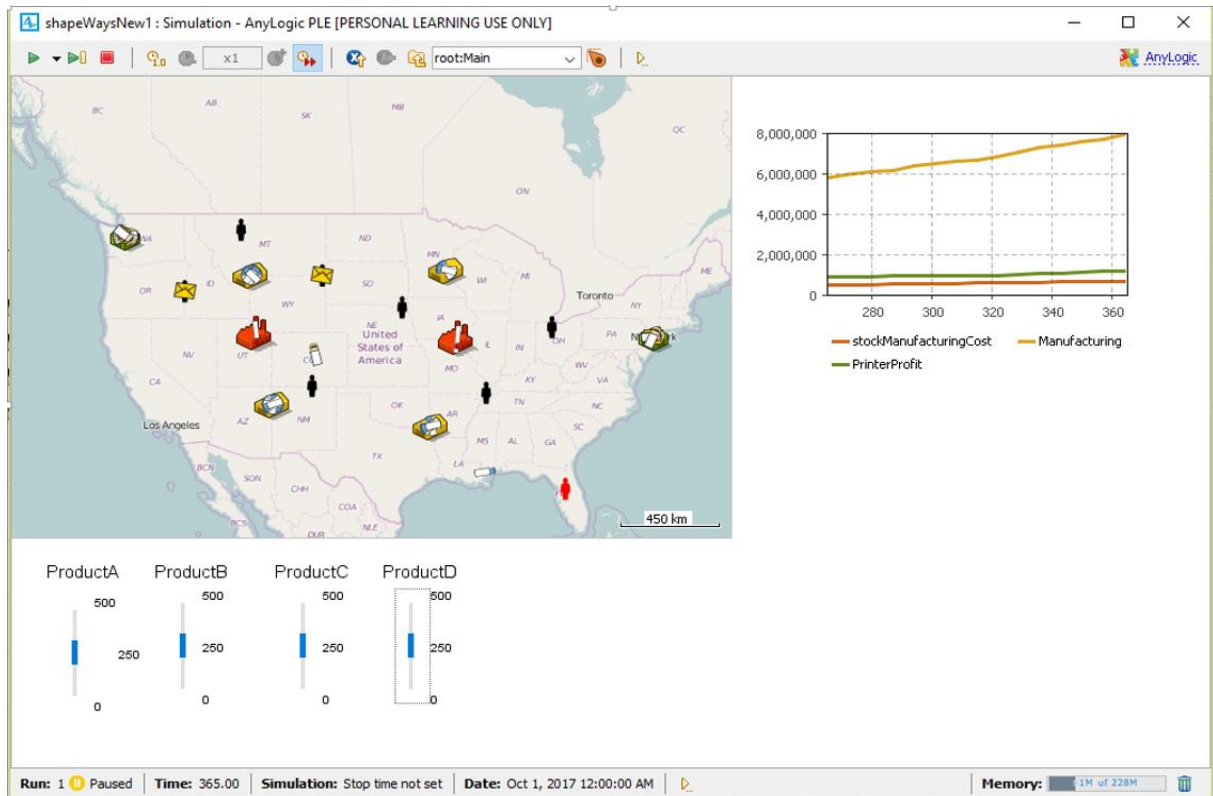
Todos os valores foram definidos apenas como parâmetros de entrada no sistema por serem razoáveis o suficiente para visualizar as tendências do gráfico e que demonstra as variáveis de saída do sistema. Não foi possível durante o desenvolvimento do trabalho obter dados reais, e por isso os valores de demanda são atribuídos como forma de testar a lógica de simulação.

### 5.1 CENÁRIO 1

O primeiro cenário está estabelecido com uma demanda por pedido do cliente de 250 unidades de todos os produtos (quadro 8). Dentro da lógica proposta é esperado que a manufatura tradicional possua um bom desempenho, já que ela produz valores constantes e o cliente sempre recorre primeiro a ela. Assim como espera-se um bom rendimento da cadeia de suprimentos por não haverem muitos custos de estoque, considerando que os produtos estão sendo vendidos de maneira balanceada.

| Produto | Valor de Venda (\$) | Custo de estoque por dia (\$) | Demanda por pedido (unidades) |
|---------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| A       | 80                  | 8                             | 250                           |
| B       | 40                  | 4                             | 250                           |
| C       | 20                  | 2                             | 250                           |
| D       | 10                  | 1                             | 250                           |

**Quadro 8 – Demanda dos produtos no cenário 1**  
Fonte: O Autor



**Figura 11 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 1**  
**Fonte: O Autor**

Variáveis de saída:

Custo de estoque do sistema de manufatura tradicional = \$672.000

Renda do sistema de manufatura tradicional = \$7.925.000

Lucro do sistema de manufatura em impressão 3D = \$1.183.000

Lucro somado dos dois sistemas = \$9.108.000

Observa-se nos valores obtidos das variáveis de saída do programa, que moldam o gráfico da Figura 11, que os resultados estão dentro do esperado, com baixo custo de estoque no final do período medido e alta renda do sistema de manufatura tradicional.

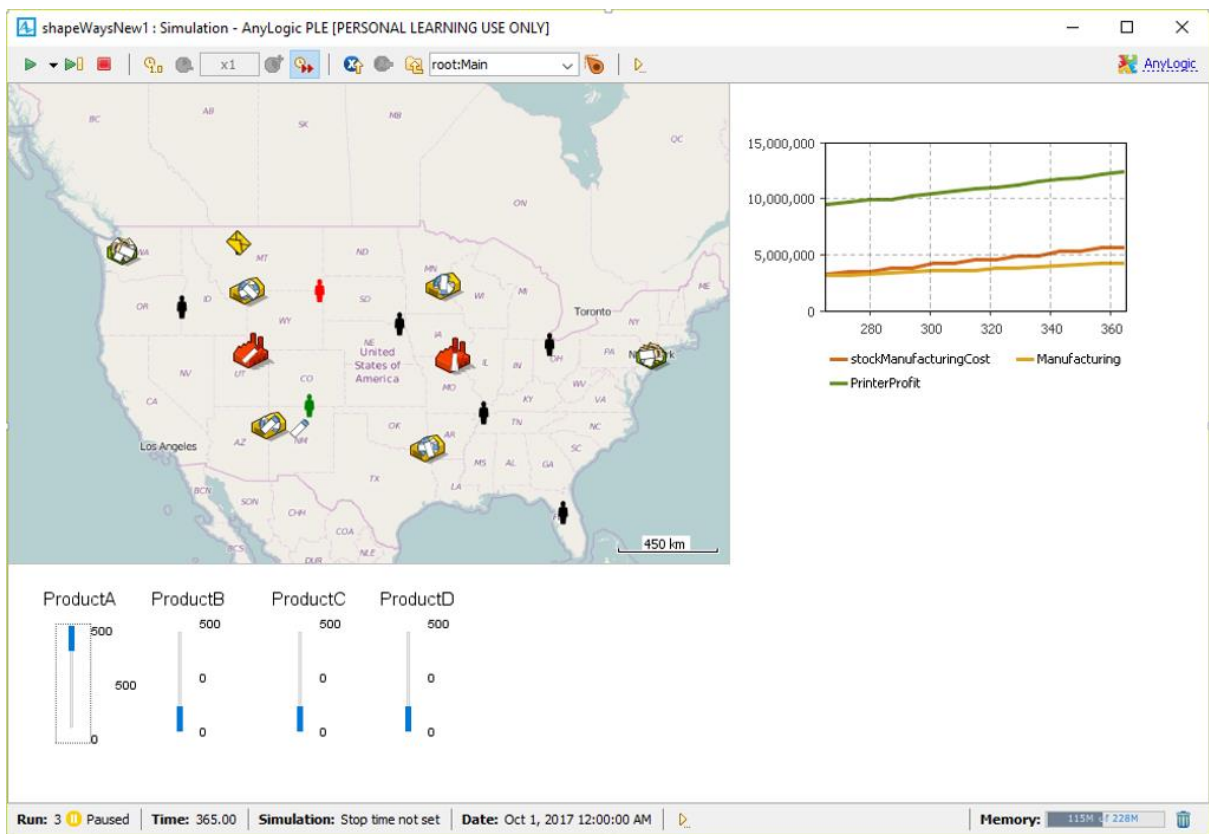
## 5.2 CENÁRIO 2

Os próximos cenários (2, 3, 4 e 5) estão focados em desvendar como o programa se comporta com grandes pedidos de unidades de um único produto com a intenção de descobrir como os custos de estoque e valores de venda influenciam a

performance tanto da cadeia tradicional quanto da impressão 3D. O segundo cenário está estabelecido com uma demanda por pedido do cliente de 500 unidades de produto A e nenhuma unidade para os outros produtos (quadro 9).

| Produto | Valor de Venda (\$) | Custo de estoque por dia (\$) | Demanda por pedido (unidades) |
|---------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| A       | 80                  | 8                             | 500                           |
| B       | 40                  | 4                             | 0                             |
| C       | 20                  | 2                             | 0                             |
| D       | 10                  | 1                             | 0                             |

**Quadro 9 – Demanda dos produtos no cenário 2**  
Fonte: O Autor



**Figura 12 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 2**  
Fonte: O Autor

Variáveis de saída:

Custo de estoque do sistema de manufatura tradicional = \$5.822.000

Renda do sistema de manufatura tradicional = \$4.280.000

Lucro do sistema de manufatura em impressão 3D = \$12.400.000

Lucro somado dos dois sistemas = \$10.858.000

Pode-se observar nos valores obtidos das variáveis de saída do programa, que moldam o gráfico da figura 12, que com a alta demanda de produto A provavelmente o custo de estoque do sistema de manufatura tradicional seja o menor dentre os cenários, já que poucos produtos A ficaram parados no estoque. Também é esperado uma melhor performance no sistema de impressão 3D pois este produto possui valor de venda de 80\$ e custo diário de estoque de 8\$ (os maiores parâmetros deste trabalho).

### 5.3 CENÁRIO 3

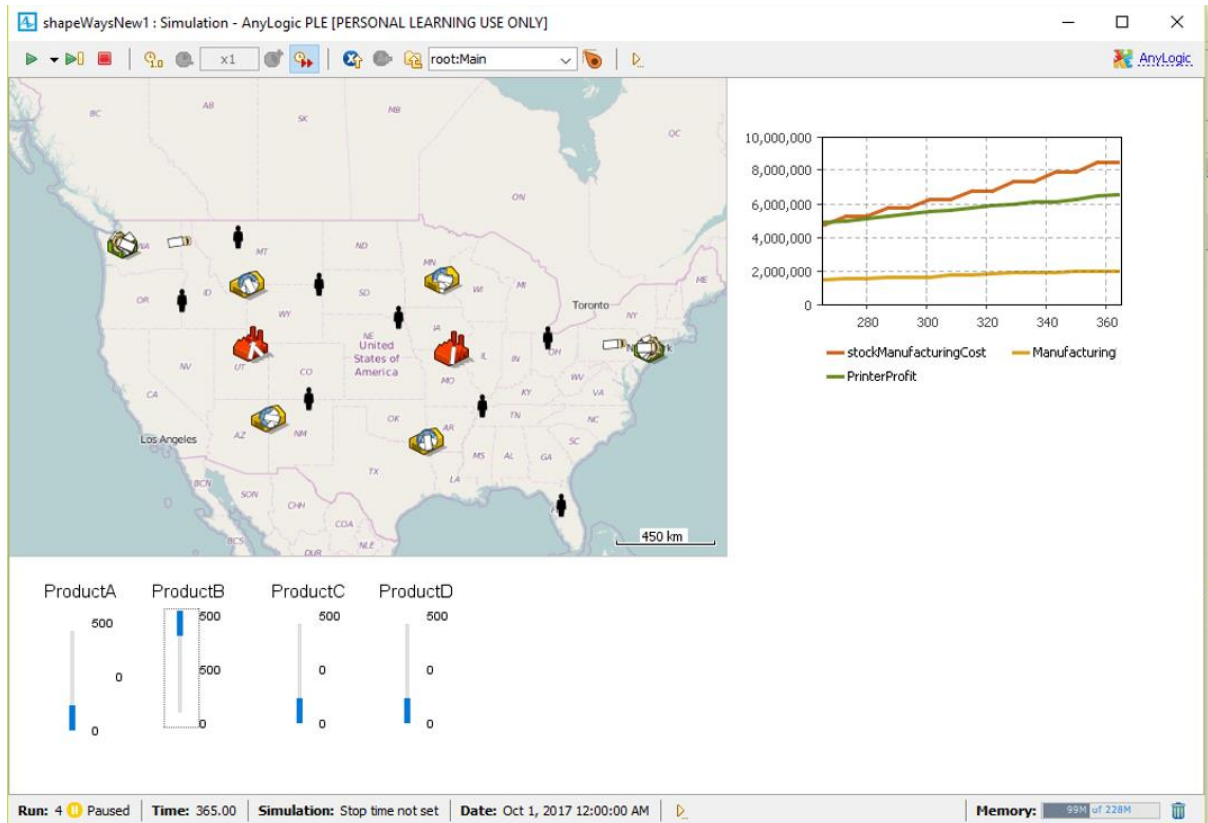
No cenário 3 o produto escolhido foi o B. Ele possui valor de venda de 40\$ e custo de estoque diário de 4\$. Este cenário possui o mesmo objetivo de análise de resultado que o cenário 2. O terceiro cenário está estabelecido com uma demanda por pedido do cliente de 500 unidades de produto B e nenhuma unidade para os outros produtos (Quadro 10).

| Produto | Valor de Venda (\$) | Custo de estoque por dia (\$) | Demanda por pedido (unidades) |
|---------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| A       | 80                  | 8                             | 0                             |
| B       | 40                  | 4                             | 500                           |
| C       | 20                  | 2                             | 0                             |
| D       | 10                  | 1                             | 0                             |

**Quadro 10 – Demanda dos produtos no cenário 3**

**Fonte: O Autor**





**Figura 13 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 3**  
**Fonte: O Autor**

Variáveis de saída:

Custo de estoque do sistema de manufatura tradicional = \$8.760.000

Renda do sistema de manufatura tradicional = \$2.000.000

Lucro do sistema de manufatura em impressão 3D = \$6.560.000

Lucro somado dos dois sistemas = -\$200.000

Como podemos observar nos valores obtidos das variáveis de saída do programa, que moldam o gráfico da Figura 13, para um produto com metade do preço do anterior e com metade do custo de estoque diário (relação entre produto A e B), pode-se observar que o lucro somado dos dois sistemas foi reduzido de \$10.858.000 para -\$200.000. Com isso esperasse que nos próximos cenários este lucro seja ainda menor.

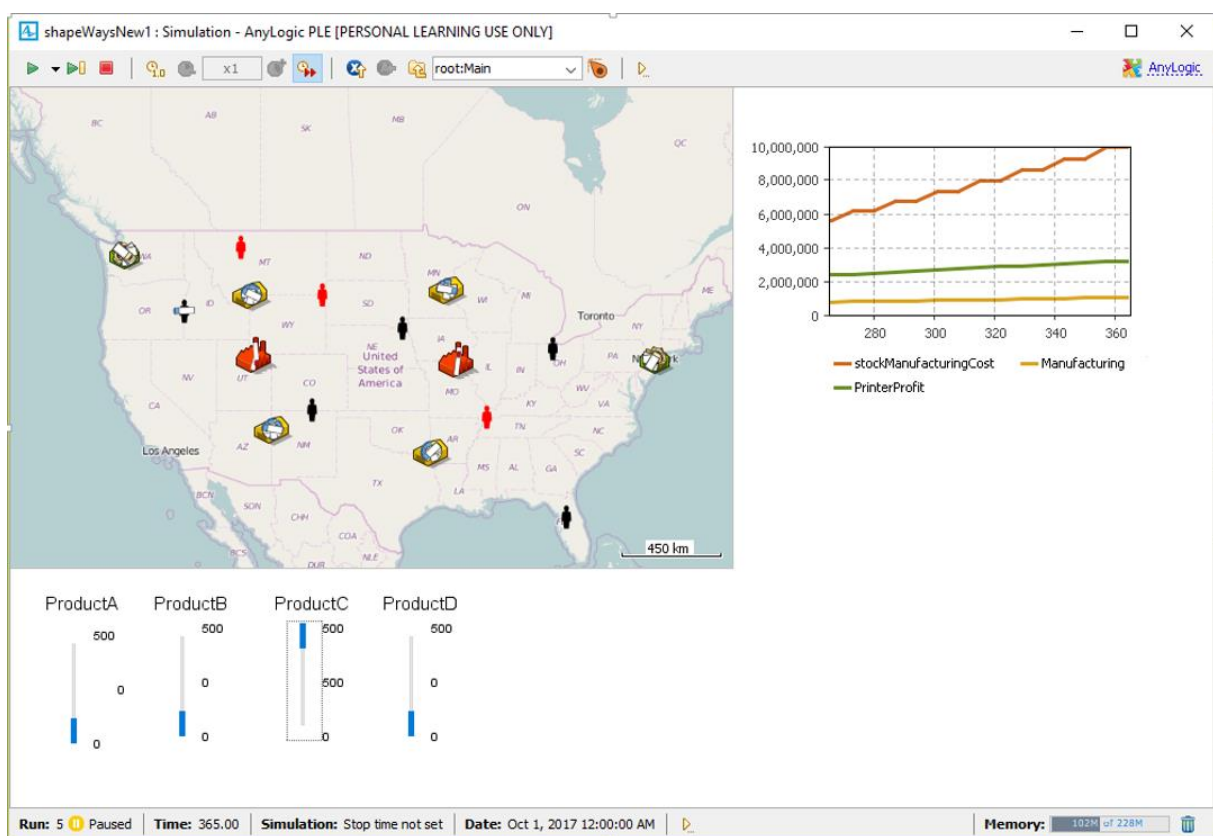
## 5.4 CENÁRIO 4

No cenário 4 o produto escolhido foi o C. Ele possui valor de venda de 20\$ e custo de estoque diário de 2\$. Esse cenário possui o mesmo objetivo de análise de resultado que o cenário 2. O terceiro cenário está estabelecido com uma demanda por pedido do cliente de 500 unidades de produto C e nenhuma unidade para os outros produtos (Quadro 11).

| Produto | Valor de Venda (\$) | Custo de estoque por dia (\$) | Demanda por pedido (unidades) |
|---------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| A       | 80                  | 8                             | 0                             |
| B       | 40                  | 4                             | 0                             |
| C       | 20                  | 2                             | 500                           |
| D       | 10                  | 1                             | 0                             |

**Quadro 11 – Demanda dos produtos no cenário 4**

Fonte: O Autor



**Figura 14 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 4**

Fonte: O Autor

Variáveis de saída:

Custo de estoque do sistema de manufatura tradicional = \$10.290.000

Renda do sistema de manufatura tradicional = \$1.030.000

Lucro do sistema de manufatura em impressão 3D = \$3.200.000

Lucro somado dos dois sistemas = -\$8.060.000

Os valores que moldam o gráfico da Figura 14 foram obtidos através das variáveis de saída do programa. Como previsto no cenário 3 o lucro somado dos dois sistemas está ainda menor, com uma redução de -\$200.000 para -\$8.060.000. Essa redução também é uma tendência para o cenário 5.

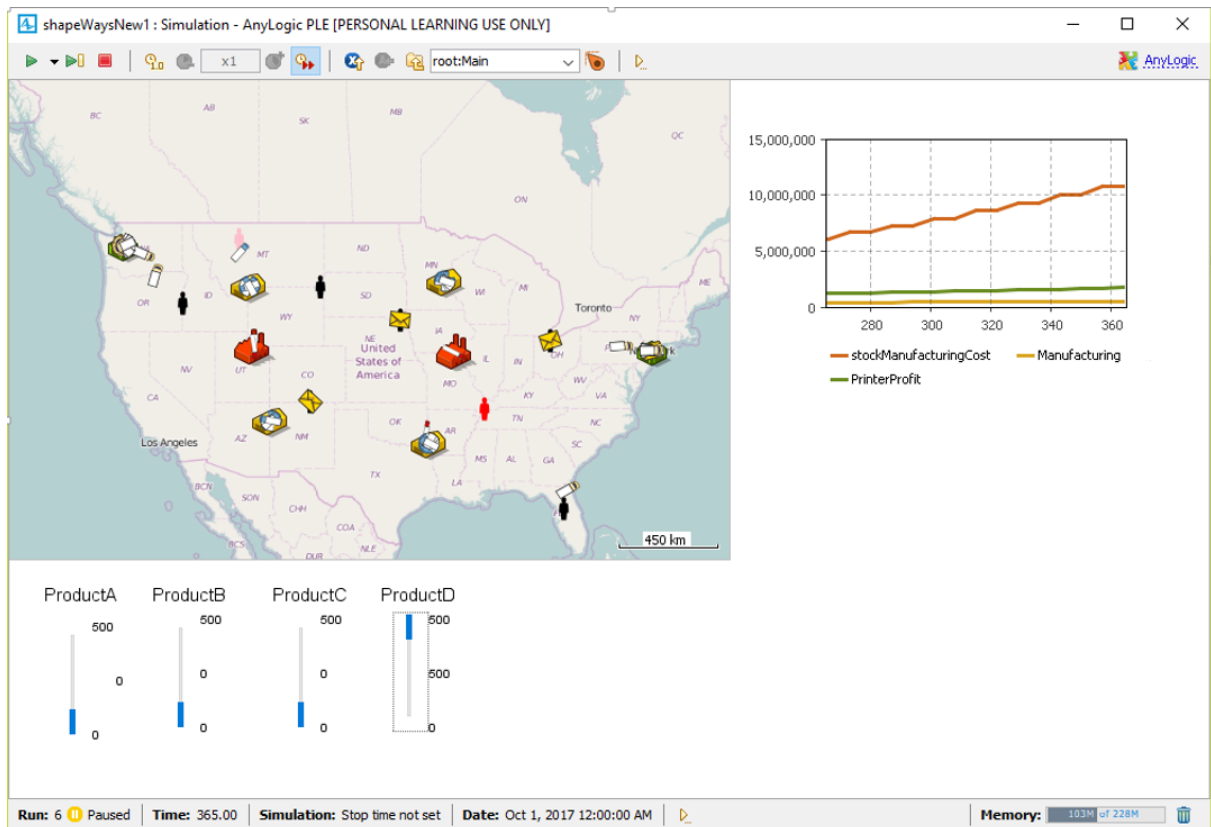
## 5.5 CENÁRIO 5

No cenário 5 o produto escolhido foi o D, ele possui valor de venda de 10\$ e custo de estoque diário de 1\$. Este cenário possui o mesmo objetivo de análise de resultado que o cenário 2. O quarto cenário está estabelecido com uma demanda por pedido do cliente de 500 unidades de produto D e nenhuma unidade para os outros produtos (Quadro 12).

| Produto | Valor de Venda (\$) | Custo de estoque por dia (\$) | Demanda por pedido (unidades) |
|---------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| A       | 80                  | 8                             | 0                             |
| B       | 40                  | 4                             | 0                             |
| C       | 20                  | 2                             | 0                             |
| D       | 10                  | 1                             | 500                           |

**Quadro 12 – Demanda dos produtos no cenário 5**

Fonte: O Autor



**Figura 15 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 5**  
**Fonte: O Autor**

Variáveis de saída:

Custo de estoque do sistema de manufatura tradicional = \$11.114.000

Renda do sistema de manufatura tradicional = \$505.000

Lucro do sistema de manufatura em impressão 3D = \$1.720.000

Lucro somado dos dois sistemas = -\$8.889.000

Os valores que moldam o gráfico da Figura 15 foram obtidos através das variáveis de saída do programa. Como previsto, no cenário 4 o lucro somado dos dois sistemas está ainda menor que os cenários anteriores, mas dessa vez o valor não foi tão decrescido quanto anteriormente ele teve uma redução de -\$8.060.000 para -\$8.889.000.

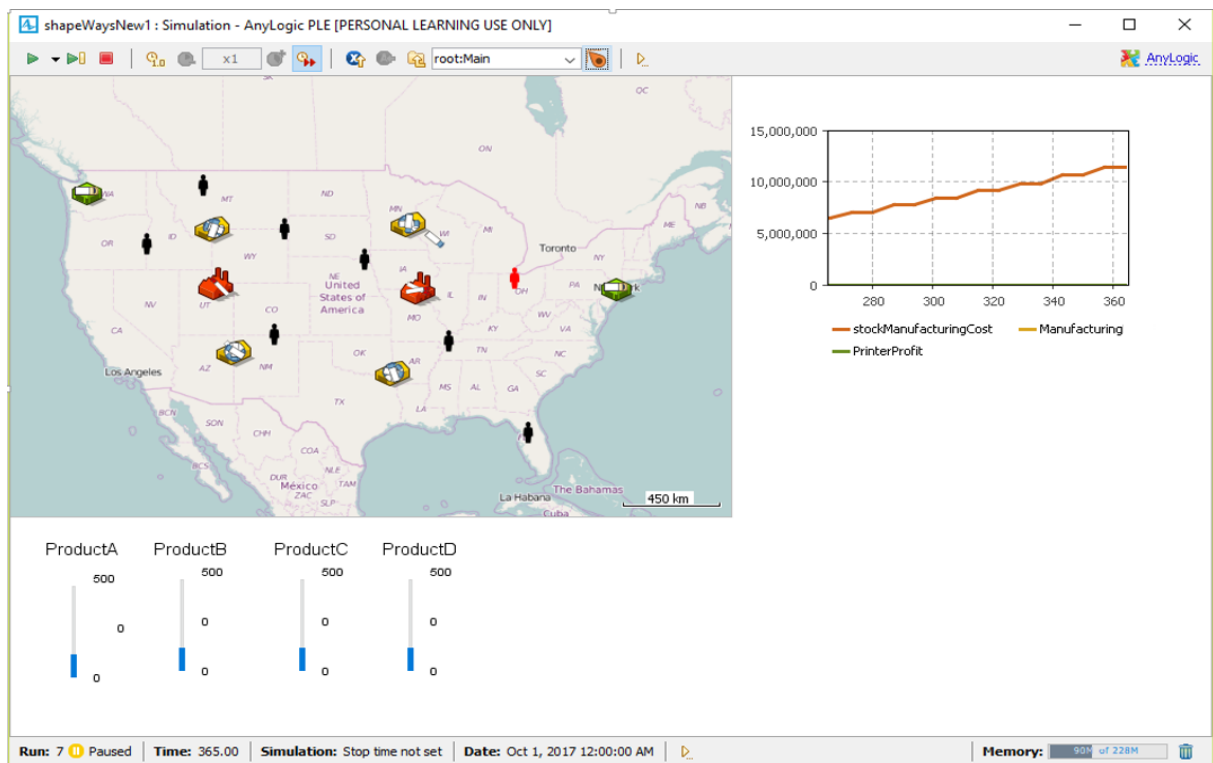
## 5.6 CENÁRIO 6

O cenário 6 é um cenário de teste para avaliar se o programa está funcionando como deveria e se sua lógica faz sentido. Para isso todas as demandas foram

eliminadas, dessa forma é de se esperar obter o menor lucro total dentre todos os cenários pois a manufatura tradicional manterá sua produção e seus custos de estoque e nada será vendido (quadro 13).

| Produto | Valor de Venda (\$) | Custo de estoque por dia (\$) | Demanda por pedido (unidades) |
|---------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| A       | 80                  | 8                             | 0                             |
| B       | 40                  | 4                             | 0                             |
| C       | 20                  | 2                             | 0                             |
| D       | 10                  | 1                             | 0                             |

**Quadro 13 – Demanda dos produtos no cenário 6**  
Fonte: O Autor



**Figura 16 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 6**  
Fonte: O Autor

Variáveis de saída:

Custo de estoque do sistema de manufatura tradicional = \$11.835.000

Renda do sistema de manufatura tradicional = \$0

Lucro do sistema de manufatura em impressão 3D = \$0

Lucro somado dos dois sistemas = -\$11.835.000

Podemos observar nos valores obtidos das variáveis de saída do programa, que moldam o gráfico da Figura 16 que, como previsto, esse cenário possui altíssimo custo de estoque de \$11.835.000 e nenhuma venda da manufatura tradicional ou lucro do sistema de manufatura em impressão 3D.

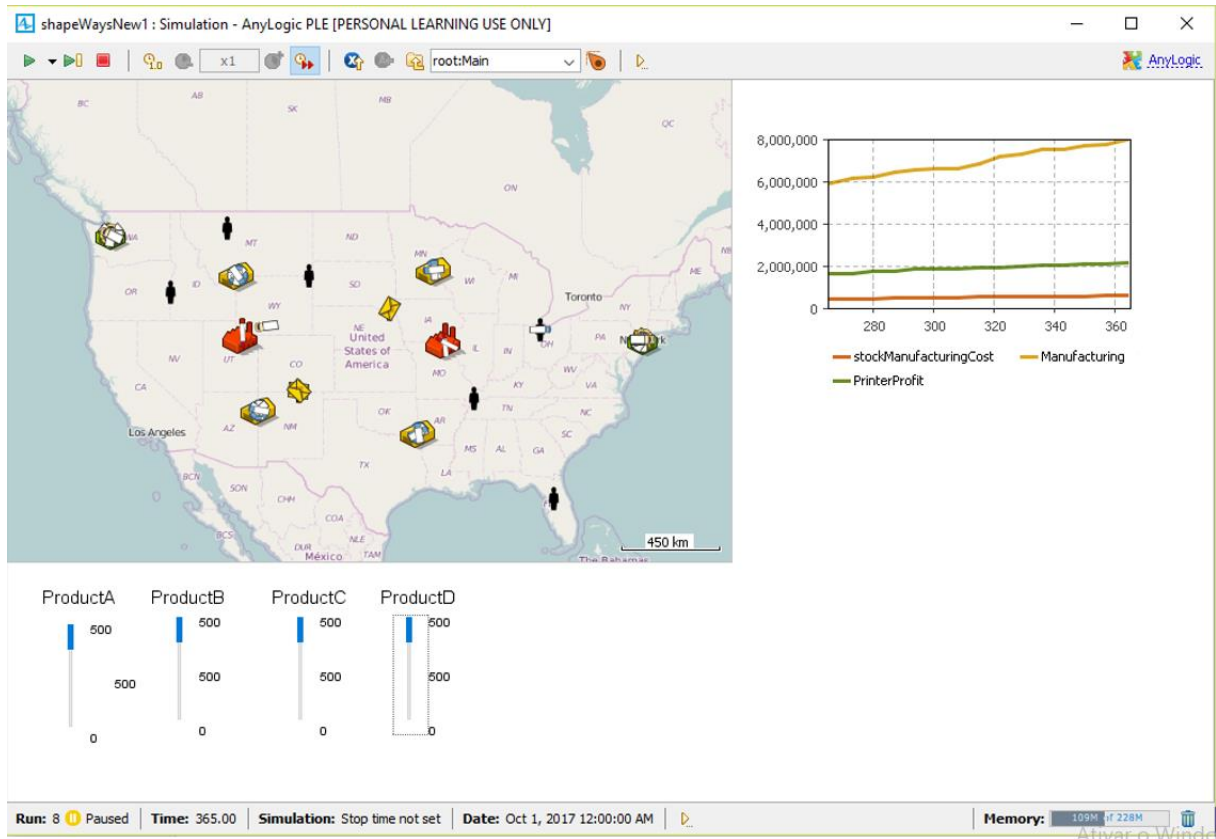
## 5.7 CENÁRIO 7

No sétimo e último cenário todos os produtos (A, B, C e D) terão suas demandas aumentadas ao máximo de 500 unidades (Quadro 14), espera-se nesse cenário obter os menores custos de estoque. O resultado de performance, entretanto, permanece uma incógnita, já que em uma cadeia de suprimentos a maior demanda nem sempre significa o maior resultado.

| Produto | Valor de Venda (\$) | Custo de estoque por dia (\$) | Demanda por pedido (unidades) |
|---------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| A       | 80                  | 8                             | 500                           |
| B       | 40                  | 4                             | 500                           |
| C       | 20                  | 2                             | 500                           |
| D       | 10                  | 1                             | 500                           |

**Quadro 14 – Demanda dos produtos no cenário 7**

Fonte: O Autor



**Figura 17 – Função principal com gráfico de resultado do cenário 7**  
**Fonte: O Autor**

Variáveis de saída:

Custo de estoque do sistema de manufatura tradicional = \$595.000

Renda do sistema de manufatura tradicional = \$7.995.000

Lucro do sistema de manufatura em impressão 3D = \$2.225.000

Lucro somado dos dois sistemas = \$9.625.000

Podemos observar nos valores obtidos das variáveis de saída do programa, que moldam o gráfico da Figura 17, que o custo de estoque do sistema de manufatura tradicional foi o menor dentre todos os cenários, já os outros resultados obtidos serão discutidos no tópico de análise dos resultados deste trabalho.

## 5.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O Quadro a seguir mostra resumidamente os resultados obtidos em cada cenário para realizar uma melhor análise comparativa.

| Cenário         | Custo de estoque do sistema de manufatura tradicional (em \$) | Renda do sistema de manufatura tradicional (em \$) | Lucro do sistema de manufatura em impressão 3D (em \$) | Lucro somado dos dois sistemas (em \$) |
|-----------------|---|--|--|--|
| 1               | 672.000   | 7.925.000  | 1.183.000  | 9.108.000                              |
| 2               | 5.822.000   | 4.280.000  | 12.400.000   | 10.858.000                             |
| 3               | 8.760.000   | 2.000.000  | 6.560.000  | -200.000                               |
| 4               | 10.290.000  | 1.030.000  | 3.200.000  | -8.060.000                             |
| 5               | 11.114.000  | 505.000  | 1.720.000  | -8.889.000                             |
| 6               | 11.835.000  | 0  | 0  | -11.835.000                            |
| 7               | 595.000   | 7.995.000  | 2.225.000  | 9.625.000                              |
| Maior resultado | 6   | 7  | 2  | 2                                      |
| Menor resultado | 7   | 6  | 6  | 6                                      |

**Quadro 15 – Tabela de resultados**

**Fonte: O Autor**

Dentre os custos de estoque do sistema de manufatura tradicional o maior valor obtido foi no cenário seis, o que era de esperar, visto que esse cenário não possuía nenhuma demanda e a manufatura tradicional manteve sua fabricação, aumentando a quantidade de estoques a cada semana. Por outro lado, o menor valor foi o do cenário sete em que todos os produtos possuíam a demanda máxima fazendo assim com que os distribuidores vendessem o máximo de produtos todos os dias.

A renda do sistema de manufatura tradicional, obteve melhor resultado no cenário sete, o que novamente não é grande surpresa, considerando que esse cenário possuía as maiores demandas de produtos. Porém ele é seguido de perto pelo cenário um, que possuía requisições médias de cada produto, o que demonstra que o sistema de manufatura tradicional já atingiu ou está próximo de atingir o seu limite de entrega de produtos. O menor resultado foi do cenário seis por não possuir demanda, seguido pelo cenário cinco o qual a única demanda presente é a de produto D, com menor valor de venda.

O lucro do sistema de manufatura em impressão 3D obteve um resultado que surpreende. Esperava-se que o maior valor fosse obtido no cenário sete, por possuir grandes demandas de todos os produtos, dessa forma terceirizando mais de todos os tipos de produto e aumentando a performance da impressão 3D. Mas os resultados mostraram que apenas terceirizar um tipo de produto de maior valor de venda resulta em um maior lucro para esse sistema, pois os cenários dois e três obtiveram os maiores resultados. Isso pode acontecer porque os pedidos de terceirização



direcionados para a impressão 3D sempre possuíram produtos de maior valor agregado, fazendo com que esse sistema só trabalhe com maiores lucros. Já o menor resultado foi no cenário seis em que o sistema não possuía demanda.

Novamente o lucro somado dos dois sistemas surpreendeu com resultado maior no cenário dois, no qual a única demanda presente era de produto A. Para a manufatura tradicional seria melhor trabalhar em um cenário de alta demanda de todos os produtos, porém, quando consideramos o sistema como um todo, alta demanda apenas do produto de maior valor de venda obteve melhor resultado.

O porquê de o sistema trabalhar dessa forma não é possível determinar de forma assertiva, entretanto, uma boa estimativa seria dizer que demandando apenas um tipo de produto à disponibilidade do cliente para fazer mais pedidos desse mesmo produto aumenta. Nesse caso, como o produto pedido é o de maior valor de venda a performance, segue a mesma tendência. Quanto ao menor lucro somado dos dois sistemas novamente o cenário seis aparece como maior por não possuir demandas, seguido pelos cenários quatro e cinco, que possuíam apenas demandas de produtos C e D respectivamente.

## 6 CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados obtidos nesse trabalho, o objetivo de simular, através de modelagem multiagentes, o comportamento da cadeia de suprimentos de uma manufatura tradicional com distribuidores, ao se inserir a possibilidade de fabricar seus produtos através da impressão 3D, foi parcialmente concluído. Com o fato de o modelo não ter sido testado com valores reais não foi possível concluir com precisão se é viável economicamente implementar a impressão 3D em uma cadeia de suprimentos. Porém a modelagem e implementação de um modelo de simulação no software AnyLogic permitiu algumas inferências sobre o assunto e todo o percurso para o desenvolvimento da simulação resultou em grande aprendizado acerca do tema.

O objetivo específico de realizar levantamento bibliográfico sobre aplicação de multiagentes em cadeias de suprimento e impressão 3D, foi concluído através da pesquisa por palavras chaves de artigos relevantes sobre o tema presentes nos Quadros 1 e 2 deste trabalho e descrição dos objetivos dos autores no desenvolvimento de seus trabalhos.

Com este embasamento teórico foi possível implementar e testar um modelo multiagentes específico de cadeia de suprimentos que utilize impressão 3D, a criação do modelo está descrito no desenvolvimento do trabalho enquanto os testes foram realizados através da criação de cenários de demanda descritos nos resultados deste trabalho.

O método de análise por simulação de multiagentes é eficiente, porém complexo. Após formada a lógica do programa é difícil compreender como cada agente individualmente se comporta, possibilitando com maior precisão apenas análises de saída do sistema, de acordo com as entradas (cenários). Neste trabalho o método foi aplicado de maneira simples e satisfatória de acordo com o objetivo estabelecido previamente.

Considerando a complexidade do programa e a falta de dados reais, sobre uma cadeia de suprimentos em que a terceirização por impressão 3D possa ser adicionada, muito trabalho sobre o tema ainda pode ser desenvolvido.

Existem muitas possibilidades de aprimoramento nessa área do trabalho podendo, por exemplo, dentro do software espelhar o número de clientes,

manufaturas e distribuidores de uma cadeia de suprimentos real, ou continuar trabalhando em mais elos da cadeia de suprimentos como fornecedores da manufatura. Outra possibilidade é aumentar a complexidade entre as interações dos agentes, através de outras variáveis como o tempo de entrega do produto: se for muito alto o cliente pode desistir da compra.

Em relação ao programa desenvolvido alguns resultados interessantes foram obtidos, como o de que não necessariamente a maior demanda de produtos obterá melhores resultados para a cadeia de suprimentos. Outro resultado interessante aponta que quando a impressão 3D obteve melhores resultados a cadeia como um todo obteve maior lucro. Isso aconteceu no caso em que apenas o produto de maior valor de venda era demandado, instigando assim a hipótese de que a manufatura 3D pode começar se desenvolver no mercado na produção de produtos de maior valor agregado.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

BAI, Yang; WU, Yili; YAN, Gangfeng. **Research on Supply Chain Modeling and Simulation Based on ABM and SDM**. In: Information Science and Engineering (ICISE), 2009 1st International Conference on. IEEE, p. 5402-5405. 2009.

BERMAN, Barry. **3-D printing: The new industrial revolution**. Business horizons, v. 55, n. 2, p. 155-162, 2012.

BONABEAU, Eric. **Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 99, n. 3, p. 7280-7287, 2002.

BORSHCHEV, Andrei; KARPOV, Yuri; KHARITONOV, Vladimir. **Distributed simulation of hybrid systems with AnyLogic and HLA**. Future Generation Computer Systems, v. 18, n. 6, p. 829-839, 2002.

CHEN, Zhen. **Research on the Impact of 3D Printing on the International Supply Chain**. Advances in Materials Science and Engineering, 2016.

CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. **Supply chain management. Strategy, planning & operation**. In: Das Summa Summarum des Management. Gabler, p. 3-4, 2007.

CUTTING, Samuel et al. **Implications of 3D Printing for the United States Postal Service**. In: Postal and Delivery Innovation in the Digital Economy. Springer International Publishing, p. 43-54, 2015.

DE FREITAS FILHO, Paulo José. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena**. Visual Books, 2001.

DE JONG, Jeroen; DE BRUIJN, Erik. **Innovation lessons from 3-D printing**. MIT Sloan Management Review, v. 54, n. 2, p. 43, 2013.

EMRICH, Stefan; SUSLOV, Sergej; JUDEX, Florian. **Fully agent based modellings of epidemic spread using AnyLogic**. In: Proc. EUROSIM. p. 9-132007.

GARRETT, Banning. **3D printing: new economic paradigms and strategic shifts.** Global Policy, v. 5, n. 1, p. 70-75, 2014.

GRIGORYEV, Ilya. **AnyLogic 7 in three days. A quick course in simulation modeling.** AnyLogic North America, 2015.

LABARTHE, Olivier et al. **Toward a methodological framework for agent-based modelling and simulation of supply chains in a mass customization context.** Simulation Modelling Practice and Theory, v. 15, n. 2, p. 113-136, 2007.

LAW, Averill. ; KELTON, David. **Simulation modeling and analysis.** New York: McGraw-Hill, 1991.

LIPSON, Hod; KURMAN, Melba. **Fabricated: The new world of 3D printing.** John Wiley & Sons, 2013.

MACAL, Charles; NORTH, Michael. **Tutorial on agent-based modeling and simulation.** In: Proceedings of the 37th conference on winter simulation. Winter Simulation Conference, p. 2-15. 2005

MACAL, Charles; NORTH, Michael. **Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation.** In: Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference. IEEE Press, p. 6-20, 2014.

MASHHADI, Ardeshir Raihanian; ESMAEILIAN, Behzad; BEHDAD, Sara. **Impact of additive manufacturing adoption on future of supply chains.** ASME Paper No. MSEC2015-9392, 2015.

MENTZER, John T. et al. **Defining supply chain management.** Journal of Business logistics, v. 22, n. 2, p. 1-25, 2001.

NYMAN, Henrik; SARLIN, Peter. **From bits to atoms: 3D printing in the context of supply chain strategies.** In: 47th Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE, p. 4190-4199, 2014.

PEGDEN, Claude Dennis; ROSENSHINE, Matthew. **Scheduling arrivals to queues.** Computers & Operations Research, v. 17, n. 4, p. 343-348, 1990.

PILLER, Frank; WELLER, Christian; KLEER, Robin. **Business Models with Additive Manufacturing—Opportunities and Challenges from the Perspective of Economics and Management.** Advances in Production Technology. Springer International Publishing, p. 39-48, 2015.

SASSON, Amir; JOHNSON, John Chandler. **The 3D printing order: variability, supercenters and supply chain reconfigurations.** International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v. 46, n. 1, p. 82-94, 2016.

TAN, Wen Jun; LI, Zhengping; CAI, Wentong. **Design of supply chain topology to mitigate demand and supply risks.** In: Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference. IEEE Press, p. 230-241, 2015.

TAYLOR, Richard; SCHMIDT-NIELSEN, Knut; RAAB, Jacob. **Scaling of energetic cost of running to body size in mammals.** American Journal of Physiology-- Legacy Content, v. 219, n. 4, p. 1104-1107. 1970.

WALLER, Matthew ; FAWCETT, Stanley. **Click here to print a maker movement supply chain: How invention and entrepreneurship will disrupt supply chain design.** Journal of Business Logistics, v. 35, n. 2, p. 99-102, 2014.

WANG, Wen et al. **Hybrid modeling and simulation of automotive supply chain network.** Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, v. 6, n. 9, p. 1598-1605, 2013.

WEN-LI, Wang; YAO-WEN, Xue. **Simulation of Supply Chain Network Based on Discrete-continuous Combined Modeling.** In: Computational Aspects of Social Networks (CASoN), 2010 International Conference on. IEEE, p. 699-702. 2010.

WEIJMARSHAUSEN, Peter. (2010). **Shapeways raises \$5M and opens HQ in New York.** Disponível em: <<http://www.shapeways.com/blog/archives/595-Shapeways-raises5M-and-opens-HQ-in-New-York.html>>. Acessado em 06/05/2017.

WEIJMARSHAUSEN, Peter. (2013). **Advancing the Mission of Shapeways: 3D Printing for Everyone.** Disponível em: <<http://www.shapeways.com/blog/archives/2029-Advancing-the-Mission-of-Shapeways-3DPrinting-for-Everyone.html>>. Acessado em 06/05/2017.

WIRTH, Marco; THIESSE, Frederic. **Shapeways and the 3D printing revolution.** 2014.

ZHANG, David Zhengwen et al. **An agent-based approach for e-manufacturing and supply chain integration.** Computers & Industrial Engineering, v. 51, n. 2, p. 343-360, 2006.

ZHANG, Hepeng. **An agent-based simulation model for supply chain collaborative technological innovation diffusion.** International Journal of Simulation Modelling, v. 14, n. 2, p. 313-324, 2015.