



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DAVID CUSTÓDIO DE SENA

**POLÍTICA DE GESTÃO DE ESTOQUES UTILIZANDO APRENDIZADO POR
REFORÇO E SIMULAÇÃO HÍBRIDA EM UMA FARMÁCIA HOSPITALAR**

ITAJUBÁ

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DAVID CUSTÓDIO DE SENA

POLÍTICA DE GESTÃO DE ESTOQUES UTILIZANDO APRENDIZADO POR
REFORÇO E SIMULAÇÃO HÍBRIDA EM UMA FARMÁCIA HOSPITALAR

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. José Arnaldo Barra Montevechi.

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Ferreira de Pinho.

ITAJUBÁ

2017

DAVID CUSTÓDIO DE SENA

POLÍTICA DE GESTÃO DE ESTOQUES UTILIZANDO APRENDIZADO POR
REFORÇO E SIMULAÇÃO HÍBRIDA EM UMA FARMÁCIA HOSPITALAR

Tese aprovada por banca examinadora em 30 de outubro de 2017,
conferindo ao autor o título de *Doutor em Ciências em Engenharia
de Produção*.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Arnaldo Barra Montevechi
(Orientador)

Prof. Dr. Alexandre Ferreira de Pinho (Co-
Orientador)

Prof. Dr. Fernando Augusto S. Marins
(Examinador Externo)

Prof. Dr. Francisco Chagas de Lima Júnior
(Examinador Externo)

Prof. Dr. José Henrique de Freitas Gomes
(Examinador Interno)

Prof. Dr. Rafael de Carvalho Miranda
(Examinador Interno)

ITAJUBÁ

2017

DEDICATÓRIA

A minha mãe Acácia Lopes Custódio (*in memmorian*) por ter me dado a vida e servir como exemplo de um ser humano especial na vida de tanta gente.

AGRADECIMENTOS

A minha esposa Sarah Maria Veras Bezerra por ser a companhia por demais especial nesses agradáveis 14 anos e 4 meses. Muito obrigado por tudo, amor da minha vida.

A minha mãe Acácia Lopes Custódio (*in memoriam*) e a meu pai Lucarine Alves de Sena por me darem a vida e os ensinamentos do dia-a-dia, a minha irmã Nara Juliana Custódio de Sena e a minha sobrinha Júlia Sena Rodrigues, meu sogro Samuel Nélio Bezerra e Margareth Veras Bezerra por mostrarem que a família é a base de tudo.

A todos os meus tios e tias, meus primos e primas, meus cunhados e cunhadas, e demais parentes, a todos o meu muito obrigado pelo na minha jornada.

A meus amigos, em especial aos amigos de infância Gustavo, André, Raoni, Miguel Neto, Saulo e Jorge, aos amigos que fiz no curso de Engenharia de Produção da UFC Abraão, Anselmo, Hilano, Breno, Cristiane e Heráclito, aos amigos da EESC Mário e Robson, aos meus amigos de Mossoró Manél Fábio, Ricardo, Porfírio, Ana Lúcia, Ygo, Lima Júnior, Heitor, Thomas, Joana, Blake, Alexandre, Mirian, Quirino, Édson, George, Glória e Marcos, a todos os meus anjinhos queridos, aos amigos muito especiais de Itajubá Harlenn, Julio, Ibrahim, Rachid, Diogo, Patrícia, Elisa, Ana Paula, Rafael Miranda, Mona Lisa, Roberta, Victor, João Paulo, Renato, Danilo, Fernanda, Tábata, Giancarlo, Josenildo, Zé, Rafael Costa, Taynara, Adriano, Washington, primos Custódios, Wesley e tantos outros não mencionados, mas que possuem um lugar especial para mim.

Ao meu professor doutor José Arnaldo Barra Montevechi e meu coorientador professor doutor Alexandre Ferreira de Pinho, pela sua dedicação e orientação que me guiou nessa trilha do conhecimento e aos outros professores da UNIFEI que contribuíram no seus papéis pedagógicos e motivacionais.

À equipe da farmácia hospitalar da Maternidade Escola, em especial à Aline Maria Parente de Freitas e à Tatiana Amâncio Campos, pelos valorosos apoios e orientações acerca da área da farmácia hospitalar até então inexplorada por mim.

E a todo mundo que participou direta e indiretamente da minha vida, um muito obrigado.

RESUMO

A gestão de estoques é relacionada a um tipo de tomada de decisão que afeta diretamente o funcionamento das organizações, pois a sua atuação tem efeitos diretos nos resultados. Em se tratando de hospitais, a gestão de estoques de medicamentos é realizada pela farmácia hospitalar. Neste sistema, é imprescindível uma gestão baseada em resultados associada a um bom nível de serviço. Enquanto que, na maioria das empresas, um mau funcionamento do setor de estoques gera prejuízos financeiros ou ambientais, na farmácia isso pode resultar em danos irreversíveis aos pacientes ou até em seu óbito. O objetivo desta pesquisa é definir uma política de aquisição periódica de medicamentos em uma farmácia hospitalar, buscando a diminuição conjunta do número de medicamentos não atendidos e expirados e que seja limitado a um orçamento. Para tanto, optou-se pelo uso combinado das simulações a eventos discretos e baseada em agentes com a ferramenta de inteligência artificial aprendizado por reforço. O método proposto, e aplicado na farmácia estudada, segue quatro etapas são propostas para o método: desenvolvimento de níveis de abstração, tipos de simulação, ligações entre simulações e resultados e análises. Para validar o método, foram comparados quatro cenários simulados com o comportamento real de uma farmácia hospitalar no período entre maio de 2016 e abril de 2017. Na comparação dos resultados dos cenários simulados, com o método aqui proposto, em relação à realidade observada na farmácia, constatou-se que, para todos eles não ocorreu o problema de medicamentos com data de validade expirada, em dois cenários constatou-se diminuição de mais de 3.000 unidades no número de medicamentos não atendidos e, nos outros dois cenários, o aumento não seria maior que 800 unidades. Observou-se ainda, que, com o método proposto, a diminuição dos gastos em cada cenário teria um valor médio de R\$291.826,40, que significaria uma economia média de R\$24.318,87 mensais, com relação ao que se verificou na prática. Pode-se concluir, portanto, como resultado dessa pesquisa, que se adotando uma política de aquisição de medicamentos com base no método proposto, o farmacêutico e sua equipe terão subsídios para uma tomada de decisão racional, mais eficiente e rápida.

Palavras-chave: Farmácia hospitalar. Simulação híbrida. Aprendizado por reforço. Gestão de estoques.

ABSTRACT

Inventory management is related to a type of decision that directly affects the functioning of organizations, since its action has direct effects on the results. When it occurs in hospitals, the management of drug stocks is performed by the hospital pharmacy. In this system, results-based management associated with a good level of service is essential. In most companies, when the operation of the inventory sector is poorly managed generates financial or environmental damages, in the pharmaceutical area this can result in irreversible damage to patients or even death. The aim of this study is to define a policy for the periodic acquisition of drugs in a hospital pharmacy, seeking a joint reduction in the number of drugs that are not attended and expired and which is limited to a budget. For that, combination of simulation to discrete event and agent-based simulations with the reinforced learning artificial intelligence tool was performed. The proposed method, and applied in the pharmacy studied, follows four stages proposed for the method: development of abstraction levels, types of simulation, connections between simulations and results and analyzes. To validate the method, four simulated scenarios were compared with the real situation at hospital pharmacy in the period between May 2016 and April 2017. Regarding the reality observed in the pharmacy, comparing the results of the simulated scenarios with the method proposed here, it was found that, for all of them, the problem of expiration date drugs did not occur, in two scenarios, there was a decrease of more than 3,000 units in the number of missing drugs and in the other two scenarios the increase would not be greater than 800 units. It was also observed that, with the proposed method, the reduction of expenses in each scenario would have an average value of R \$ 291,826.40, which would mean an average saving of R \$ 24,318.87 per month, in relation to what was verified in practice. It can be concluded, therefore, as a result of this research, that adopting a policy of acquisition of drugs based on the proposed method, the pharmacist and his staff will have subsidies for rational, efficient and rapid decision making.

Keywords: Hospital Pharmacy. Hybrid simulation. Reinforcement Learning. Inventory Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Análise bibliométrica em gestão da saúde.....	25
Figura 2 – Análise bibliométrica do aprendizado por reforço	25
Figura 3 – Análise bibliométrica da gestão de estoque.....	26
Figura 4 – Análise bibliométrica da simulação híbrida	26
Figura 5 – Ciclo do estoque	29
Figura 6 – <i>Framework</i> da classificação da área de estudo de administração de materiais e logística.....	30
Figura 7 – Fluxo de medicamentos.....	32
Figura 8 – Representação simbólica de um problema de decisão sequencial.....	37
Figura 9 - Interação agente-ambiente	39
Figura 10 – Método de Modelagem e Simulação	47
Figura 11 – Esquema de estudo em simulação	48
Figura 12 – Método empregado para o estudo de simulação.....	49
Figura 13 – Interação de um agente através de sensores e atuadores	54
Figura 14 – Método da simulação híbrida	60
Figura 15 – Classificação da pesquisa	63
Figura 16 – Etapas da pesquisa.....	63
Figura 17 – Fluxo de atendimento da farmácia hospitalar.....	66
Figura 18 – Fluxo de funcionamento do medicamento	67
Figura 19 – IDEF-SIM do fluxo de atendimento.....	68
Figura 20 – Ambiente computacional da simulação a eventos discretos.....	70
Figura 21 – Decisão de compra externa periódica.....	71
Figura 22 – Heurística de maior importância	73
Figura 23 – Expiração proporcional do medicamento.....	74
Figura 24 – Ambiente computacional do agente Farmacêutico.....	76
Figura 25 – Agente medicamento	77
Figura 26 – Ambiente computacional do agente Medicamento	77
Figura 27 – IDEF-SIM do fluxo de atendimento com ligações.....	78
Figura 28 – Processo de compra externa periódica com ligações	79
Figura 29 – Agente medicamento com ligações.....	79
Figura 30 – Situação real do Medicamento1	83
Figura 31 – Situação real do Medicamento2	84
Figura 32 – Situação real do Medicamento3	85
Figura 33 – Situação real do Medicamento4	86

Figura 34 – Situação real do Medicamento5	87
Figura 35 – Situação real do Medicamento6	88
Figura 36 – Situação real do Medicamento7	89
Figura 37 – Cenários.....	92
Figura 38 – Comportamento do Medicamento1 para o cenário 1	95
Figura 39 – Comportamento do Medicamento2 para o cenário 1	96
Figura 40 – Comportamento do Medicamento3 para o cenário 1	97
Figura 41 – Comportamento do Medicamento4 para o cenário 1	98
Figura 42 – Comportamento do Medicamento5 para o cenário 1	99
Figura 43 – Comportamento do Medicamento6 para o cenário 1	99
Figura 44 – Comportamento do Medicamento7 para o cenário 1	100
Figura 45 – Comportamento do Medicamento2 para o cenário 2	101
Figura 46 – Comportamento do Medicamento3 para o cenário 2	102
Figura 47 – Comportamento do Medicamento5 para o cenário 2	104
Figura 48 – Comportamento do Medicamento1 para o cenário 3	105
Figura 49 – Comportamento do Medicamento2 para o cenário 3	106
Figura 50 – Comportamento do Medicamento3 para o cenário 3	107
Figura 51 – Comportamento do Medicamento4 para o cenário 3	108
Figura 52 – Comportamento do Medicamento5 para o cenário 3	109
Figura 53 – Comportamento do Medicamento6 para o cenário 3	110
Figura 54 – Comportamento do Medicamento7 para o cenário 3	111
Figura 55 – Comportamento do Medicamento1 para o cenário 4	112
Figura 56 – Comportamento do Medicamento2 para o cenário 4	113
Figura 57 – Comportamento do Medicamento3 para o cenário 4	114
Figura 58 – Comportamento do Medicamento4 para o cenário 4	115
Figura 59 – Comportamento do Medicamento5 para o cenário 4	116
Figura 60 – Comportamento do Medicamento6 para o cenário 4	117
Figura 61 – Comportamento do Medicamento7 para o cenário 4	118
Figura 62 – Diferença dos gastos entre a situação real e os cenários	119
Figura 63 – Aumento da demanda não atendida entre a situação real e os cenários	120
Figura 64 – Diminuição da demanda não atendida entre a situação real e os cenários	120
Figura 65 – Histograma da demanda diária do Medicamento1	127
Figura 66 – Medicamento2	129
Figura 67 – Medicamento3	130
Figura 68 – Medicamento4.....	132

Figura 69 – Medicamento6	134
Figura 70 – Medicamento7	135

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Políticas gerais de estoques.....	32
Quadro 2 – Critérios e aplicações de métodos de classificação de estoque selecionados	36
Quadro 3 – Algoritmo <i>Q-learning</i>	41
Quadro 4 – Trabalhos utilizando Gestão de Estoques e SED	45
Quadro 5 – Símbolos do IDEF-SIM	50
Quadro 6 – Definições para SBA baseada na propriedade dos agentes	55
Quadro 7 – Características que definem os tipos de modelo	56
Quadro 8 – Trabalhos utilizando gestão de estoques e SBA	57
Quadro 9 – Sete elementos do protocolo ODD	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados por tema nas bases de dados Scopus e WoS.....	24
Tabela 2 – Pesquisas combinadas par a par nas bases de dados Scopus e WoS.....	27
Tabela 3 – Correspondência dos estados por valor em estoque.....	41
Tabela 4 – Compra real de medicamentos.....	81
Tabela 5 – Saldo inicial de medicamentos.....	82
Tabela 6 – Resumo das ações na situação real	90
Tabela 7 – Lista dos medicamentos ordenados com respectivos pesos.....	91
Tabela 8 – Amplitude, número de intervalos, tamanho do lote e quantidade máxima dos medicamentos	91
Tabela 9 – Codificação dos estados do Medicamento1	93
Tabela 10 – Política de aquisição periódica do Medicamento1	94
Tabela 11 – Codificação dos estados do Medicamento2	94
Tabela 12 – Política de aquisição periódica do Medicamento2.....	95
Tabela 13 – Alterações das aquisições do Medicamento2 no cenário 2 em relação ao cenário 1	102
Tabela 14 – Alterações das aquisições do Medicamento3 no cenário 2 em relação ao cenário 1	103
Tabela 15 – Alterações das aquisições do Medicamento5 no cenário 2 em relação ao cenário 1	104
Tabela 16 – Frequência relativa do Medicamento1	125
Tabela 17 – Medicamento2.....	127
Tabela 18 – Medicamento3.....	129
Tabela 19 – Medicamento4.....	130
Tabela 20 – Medicamento6.....	132
Tabela 21 – Medicamento7.....	134
Tabela 22 – Política de aquisição periódica do Medicamento2.....	136
Tabela 23 – Política de aquisição periódica do Medicamento3 para o cenário 1	136
Tabela 24 – Política de aquisição periódica do Medicamento4 para o cenário 1	137
Tabela 25 – Política de aquisição periódica do Medicamento5 para o cenário 1	137
Tabela 26 – Política de aquisição periódica do Medicamento6 para o cenário 1	138
Tabela 27 – Política de aquisição periódica do Medicamento7 para o cenário 1	138
Tabela 28 – Política de aquisição periódica do Medicamento1 para o cenário 3	139
Tabela 29 – Política de aquisição periódica do Medicamento2 para o cenário 3	140
Tabela 30 – Política de aquisição periódica do Medicamento3 para o cenário 3	140
Tabela 31 – Política de aquisição periódica do Medicamento4 para o cenário 3	141

Tabela 32 – Política de aquisição periódica do Medicamento5 para o cenário 3	142
Tabela 33 – Política de aquisição periódica do Medicamento6 para o cenário 3	142
Tabela 34 – Política de aquisição periódica do Medicamento7 para o cenário 3	143
Tabela 35 – Política de aquisição periódica do Medicamento1 para o cenário 4	144
Tabela 36 – Política de aquisição periódica do Medicamento2 para o cenário 4	145
Tabela 37 – Política de aquisição periódica do Medicamento3 para o cenário 4	145
Tabela 38 – Política de aquisição periódica do Medicamento4 para o cenário 4	146
Tabela 39 – Política de aquisição periódica do Medicamento5 para o cenário 4	146
Tabela 40 – Política de aquisição periódica do Medicamento6 para o cenário 4	147
Tabela 41 – Política de aquisição periódica do Medicamento7 para o cenário 4	147

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CFF	Conselho Federal de Farmácia
CGU	Controladoria Geral da União
FEFO	<i>First-Expire, First-Out</i>
FIFO	<i>First-In, First-Out</i>
FSN	<i>Fast, Slow, Non-Moving</i>
GOLF	<i>Govt., Ordinary, Local and Foreign</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
IA	Inteligência Artificial
HML	<i>High, Medium, Low</i>
IDEF-SIM	<i>Integrated Definition Methods – Simulation</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
LEC	Lote Econômico de Compra
LEF	Lote Econômico de Fabricação
MaSE	<i>Multiagent System Engineering</i>
MBA	Modelos baseados em agentes
MBI	Modelos baseados no indivíduo
MDP	<i>Markov Decision Process</i>
MRP	<i>Material Resource Planning</i>
ODD	<i>Overview, Design concepts and Details</i>
PO	Pesquisa Operacional
RL	<i>Reinforcement Learning</i>
RRL	<i>Ruminative reinforcement learning</i>
SDE	<i>Scars, Difficult, Easily available</i>
SED	Simulação a Eventos Discretos
SBA	Simulação Baseada em Agentes
SOS	<i>Seasonal and Off- Seasonal</i>
VED	<i>Vital, Essential, Desirable</i>
VMS	<i>Vendor-Managed Inventory</i>
WoS	<i>Web of Science</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Parâmetro tamanho do passo
γ	Coefficiente de desconto

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
1.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO	18
1.2.	DELIMITAÇÃO E PROBLEMA DA PESQUISA	20
1.3.	OBJETIVOS	22
1.4.	CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA E ORIGINALIDADE	22
1.5.	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.1.	PESQUISA BIBLIOMÉTRICA.....	24
2.2.	GESTÃO DE ESTOQUE.....	28
2.2.1.	Comportamento da demanda.....	33
2.2.2.	Classificação de estoque.....	35
2.3.	DECISÃO SEQUENCIAL	36
2.4.	APRENDIZADO POR REFORÇO	37
2.4.1.	Heurística <i>Q-learning</i>	40
2.5.	SIMULAÇÃO	42
2.6.	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	42
2.6.1.	Gestão de estoque utilizando simulação a eventos discretos.....	45
2.6.2.	Métodos de simulação a eventos discretos.....	46
2.7.	SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES	53
2.7.1.	Gestão de estoque utilizando simulação baseada em agentes	56
2.7.2.	Métodos de simulação baseada em agentes.....	57
2.8.	SIMULAÇÃO HÍBRIDA.....	59
2.8.1.	Estudo de simulação híbrida.....	59
3.	MÉTODO DE PESQUISA	62
3.1.	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	62
3.2.	PROCEDIMENTOS	63
4.	CONDUÇÃO DA PESQUISA.....	65
4.1.	NÍVEIS DE ABSTRAÇÃO	65
4.1.1.	Descrição do objeto de estudo.....	65
4.1.2.	Identificação dos níveis de abstração	65
4.2.	TIPOS DE SIMULAÇÃO	68
4.2.1.	Simulação discreta – Modelo conceitual.....	68
4.2.2.	Simulação discreta – Modelo computacional.....	69
4.2.3.	Simulação baseada em agentes – Agente farmacêutico	70
4.2.4.	Simulação baseada em agentes –Agente medicamento.....	76
4.3.	CONEXÕES DAS SIMULAÇÕES	77
5.	RESULTADOS E ANÁLISES	80
5.1.	SITUAÇÃO REAL.....	81
5.2.	CENÁRIOS	90
5.2.1.	Cenário 1	93
5.2.2.	Cenário 2	100
5.2.3.	Cenário 3	104
5.2.4.	Cenário 4	111
5.3.	ANÁLISE GERAL.....	118
5.3.1.	Custos	118
5.3.2.	Demanda não atendida	119
6.	CONCLUSÃO	121
6.1.	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E RESPOSTA À QUESTÃO DE PESQUISA	121
6.2.	CONTRIBUIÇÕES DA TESE	122

6.3.	SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO.....	123
APÊNDICE A.	DEMANDA DIÁRIA DOS MEDICAMENTOS.....	125
APÊNDICE B.	POLÍTICA DE AQUISIÇÃO PERIÓDICA DE MEDICAMENTOS DO CENÁRIO 1	136
APÊNDICE C.	POLÍTICA DE AQUISIÇÃO PERIÓDICA DE MEDICAMENTOS DO CENÁRIO 3	139
APÊNDICE D.	POLÍTICA DE AQUISIÇÃO PERIÓDICA DE MEDICAMENTOS DO CENÁRIO 4	144
REFERÊNCIAS.....		149

1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo discorre sobre a introdução do trabalho, apresentando uma contextualização de sua atuação, qual o problema que a pesquisa procura resolver, frente ao que foi observado na contextualização, seguido dos objetivos, geral e específicos, a se atingir e quais as contribuições científicas que serão expostas no decorrer dos capítulos. Finalizar-se-á o capítulo com uma breve explanação do restante do texto.

1.1. Contextualização

A tomada de decisão afeta diretamente o funcionamento das organizações, pois a sua atuação tem efeitos nos resultados, tornando-os mais ou menos favoráveis e esperados. Invariavelmente, ela acontecerá, mesmo que haja ou não uma estrutura formal associada a ela. Sendo assim, organizações em que as decisões são realizadas sem uma formalização prévia estão mais suscetíveis às intempéries inatas aos ambientes em que as mesmas estão inseridas.

Uma classe de decisões com estrutura bem definida, cujos impactos apresentam resultados a curto e médio prazo, é denominada de ferramentas de apoio à decisão gerencial. Quando essa decisão é feita com pouca ou nenhuma subjetividade, relacionada principalmente às ponderações de especialistas, as ferramentas de apoio à decisão são ditas quantitativas. Dentre essas ferramentas quantitativas, podem-se destacar métodos de Pesquisa Operacional (PO). Uma das definições da PO é que ela é uma classe de resolução de problemas que busca a melhor configuração por meio do(s) valor(es) de entrada de um sistema real com a intenção de otimizar a(s) resposta(s) através de um modelo [1].

Os métodos de PO podem ser divididos em analíticos e de simulação. Métodos de PO analíticos são aqueles que utilizam equações matemáticas para representar os modelos. A outra classe de métodos de PO, denominada métodos de simulação, utiliza principalmente um conjunto de lógica e regras para executar o modelo em ambientes computacionais. Ela é útil para lidar com ambientes dinâmicos, com mudanças que ocorrem e variam no decorrer do tempo. Para Pidd [2], a simulação permite utilizar o poder computacional para realizar experimentos dinâmicos em um modelo da realidade, com um mínimo de impacto operacional e de custos. E, ainda dentro da simulação, há categorias que norteiam como será feita essa representação da realidade.

A Simulação a Eventos Discretos (SED) é uma categoria de simulação utilizada como ferramenta de apoio à decisão gerencial. Nela, o comportamento macro de processos é modelado, unindo atividades sequenciais e dependentes. Porém, em algumas situações reais, há a necessidade de se modelar o comportamento individualizado de alguns elementos. Então, para atender esse requisito, vem ganhando força o uso de outra categoria de simulação: a Simulação Baseada em Agentes (SBA). Sua concepção é mudar a perspectiva totalmente macro do sistema para a observação de ações individualizadas de alguns elementos principais, denominados “agentes”.

Há diversas características individualizadas dos agentes que podem ser modeladas para representar a realidade. Em se tratando do ser humano, pode-se elencar, por exemplo: reação à estímulos externos, dimensionamento físico e a capacidade de deliberação. Essa última ocorre quando o agente precisa optar por realizar uma ação, entre as disponíveis, e que não é trivial, de acordo com observações do ambiente em que está inserido. Essa possibilidade torna a SBA uma opção robusta como ferramenta de apoio a decisão, inserindo na representação da realidade da simulação elementos autônomos que modificam o seu meio, em tempo de execução, sendo esta característica não nativa da SED [3,4].

Uma ferramenta que vem potencializando essa representação da decisão da simulação baseada em agentes e que tem apresentando resultados eficazes é o aprendizado por reforço (*Reinforcement Learning – RL*). O RL é uma classe da inteligência artificial em que, por meio do resultado da consequência de uma decisão em uma situação, a escolha de ações que trouxeram mais benefícios para o agente é reforçada. Ela pode ser feita de forma matemática, geralmente utilizando programação dinâmica, ou utilizando simulação [5,6]. A vantagem de se utilizar o RL com simulação reside na desobrigação da representação matemática das probabilidades de mudanças das transições entre estados, pois isto é realizado pelo conjunto de regras e lógica da simulação [7].

Dentre as aplicações do RL há, dentre outras: a precificação dinâmica [8,9], a alocação de recursos humanos [10], a triagem hospitalar [11] e gestão de estoques [7,12]. Nessa pesquisa, será utilizado o RL em uma aplicação de gestão de estoques, especificamente em uma farmácia hospitalar.

A gestão de estoques é uma parte importante de diversas organizações. Ela é responsável pela disponibilidade constante de recursos materiais, sejam eles utilizados direto ou indiretamente. Segundo Jiang e Sheng [13] as ferramentas de apoio a decisão analíticas são mais utilizadas para esse segmento da organização. Porém, esses tipos de métodos fornecem deduções estritas que, geralmente, envolvem notações complexas e equações sob premissas

difíceis de serem alcançadas na realidade e em situações como as de sistema de compras de cadeia de suprimentos. O ambiente a ser estudado na gestão de estoque é geralmente dinâmico, com mudanças que acontecem no decorrer do tempo. Todavia, o uso combinado da SED com a SBA, utilizando RL, apresenta vantagens no apoio a decisões em gestão de estoques, onde consegue-se inserir nos modelos algumas situações mais próximas à realidade, representando, de maneira mais realista, a variabilidade do sistema modelado.

1.2. Delimitação e problema da pesquisa

Em se tratando de hospitais, a gestão de estoques de medicamentos é realizada pela farmácia hospitalar, fornecendo uma área apropriada e corpo técnico [14,15]. Segundo Krishnaraj e Meenakshi [16], esse corpo técnico possui conhecimentos sobre medicamentos mas, geralmente, pouca ou nenhuma noção sobre gestão de estoques. Neste sistema, é imprescindível uma gestão baseada em resultados, associada a um bom nível de serviço. Enquanto que na maioria das empresas um mal funcionamento do setor de estoques gera prejuízos financeiros ou ambientais, na farmácia isso pode resultar em danos irreversíveis aos pacientes ou até em seu óbito. Assim, algumas informações precisam ser observadas, como o não atendimento a pacientes, a perecibilidade de determinados medicamentos e a necessidade de se atender dentro de um orçamento determinado.

O primeiro indicador versa sobre o número de pacientes não atendidos. Quando este ocorre, há como consequência a não acumulação de demandas em períodos sucessíveis, ou seja, a necessidade de um determinado medicamento que ocorre num dia, precisa ser atendida naquele dia, não podendo ser realizada uma entrega dupla no próximo período. Essa falta pode representar um prejuízo severo para os pacientes, dependendo do medicamento.

O segundo indicador é o número de medicamentos vencidos, que representa um prejuízo financeiro para o hospital, valores que poderiam ter sido utilizados para a aquisição de outros medicamentos. Para o Conselho Federal de Farmácia (CFF), que foi notícia no jornal O Globo de 24 de Abril de 2010 por Alencastro [17], os gastos anuais no Brasil em desperdício de medicamentos giram em torno de 1 bilhão de reais, principalmente em falhas nas compras e armazenamento. É um valor próximo de 20% dos remédios comprados no varejo pelo poder público e pela iniciativa privada. O próprio CFF, em uma pesquisa realizada no ano de 2010, a partir dos Relatórios de Fiscalização de Municípios, elaborados pela Controladoria Geral da União (CGU), comprovou que mais de 90% dos municípios brasileiros apresentaram problemas na gestão de recursos ou serviços [18]. Para Nahmias

[19], os medicamentos pertencem a um tipo de produtos perecíveis denominados de “tempo de vida fixa”. Isso significa que o seu prazo de validade é conhecido *a priori*, ou seja, na hora de sua aquisição, já se sabe por quanto tempo ele estará disponível para uso.

Esses indicadores são antagônicos, pois quanto mais se compra medicamento em um pedido, menor o número de pacientes não atendidos, mas potencialmente eleva o número de medicamentos expirados. Quando ocorre o contrário, a compra de poucos medicamentos, potencialmente sucede a diminuição do número de medicamentos expirados e aumenta-se a demanda não atendida. Para Jurado *et al.* [20] há incerteza na demanda e nas entregas que requerem um grau de conservadorismo para evitar entregas internas não atendidas, posto que isso tem consequências, até fatais, para os pacientes.

Para dirimir o problema de medicamentos expirados, a farmácia hospitalar que é utilizada como objeto de estudo do presente trabalho participa de uma rede de hospitais, públicos e privados, que realizam trocas, doações e empréstimos de medicamentos entre si. Assim, por exemplo quando um lote de medicamento está próximo de vencer, é redistribuído na rede. Essa solução traz consigo algumas consequências, como: a necessidade de se sincronizar constantemente com outros hospitais, o aumento do custo de transporte, o aumento da probabilidade de avarias no estoque, dentre outros. Já o problema de medicamentos não atendidos não possui uma abordagem padronizada, tornando assim o estoque com alta variação em seus níveis. É necessário que haja uma política de compras de medicamentos que busque concomitantemente menores valores possíveis de medicamentos não atendidos e expirados, diminuindo a necessidade de trocas externas.

Além dessas duas dimensões que precisam ser atendidas simultaneamente, no caso de hospitais públicos há uma limitação orçamentária. Isso faz com que a decisão de compra de um medicamento influencie diretamente na dos demais, pois as ações dos administradores são limitadas pelo orçamento disponível. Ou seja, a soma de uma compra de todos os medicamentos não pode ultrapassar um teto financeiro disponível. Assim, observa-se que a política de gestão de estoque em uma farmácia hospitalar de mais de um produto sob um orçamento limitado e fixo, exige um tratamento diferenciado, sendo necessário que ela compreenda a aleatoriedade inata ao sistema e a aquisição de mais de um medicamento. Saedi *et al.* [21] lida com uma situação semelhante, porém, com informações determinísticas. Mortazavi, Khamseh e Azimi [7] lidam com aleatoriedade, entretanto é observada a presença de apenas um produto.

O hospital que serve como base para a presente pesquisa participa de um grupo governamental de compras. Contudo, segundo seus gestores, vem apresentando resultados

pouco satisfatórios relacionados a indicadores no que se refere a gestão de estoque. Por essa razão, esta pesquisa busca encontrar soluções que não levem em consideração a participação em grupos de compras, ou seja, a política de compra deve ser individualizada.

A questão da pesquisa é: “Como estabelecer uma política de compras de medicamentos que busque concomitantemente menores valores possíveis de medicamentos não atendidos e expirados?”.

1.3. Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é definir uma política de aquisição de medicamentos periódica em uma farmácia hospitalar, que propicie a diminuição conjunta do número de medicamentos não atendidos e data de validade expirada, atendendo-se a restrição orçamentária imposta à farmácia.

A política de aquisição de medicamentos periódica é um guia de compras para cada medicamento que orienta os tomadores de decisão no momento da aquisição de novos medicamentos. Ela pode ser expressa em termos de equações, tabelas, lotes-padrão, dentre outros. Nesse trabalho, optou-se pela utilização de tabelas que relacionem a quantidade de medicamentos em estoques com as melhores decisões de compra, pois assim, além de ser utilizável computacionalmente, é mais acessível para pessoas não familiarizadas com ferramentas de gestão de estoques.

Os objetivos específicos desta pesquisa foram:

- Elaborar uma estrutura de tomada de decisão da quantidade de compra de medicamentos que seja dinâmica com o mínimo de interferência humana em sua obtenção;
- Definir uma estrutura que torne o valor do custo total das decisões de compra de medicamentos adequado a um orçamento pré-determinado.

1.4. Contribuição científica e originalidade

A presente tese buscou contribuir cientificamente em três frentes de atuação. A primeira foi realizar uma discussão teórica acerca do estado da arte dos quatro temas aqui abordados: farmácia hospitalar, simulação híbrida, aprendizado por reforço e gestão de estoques. Ao longo dessa discussão, algumas lacunas teóricas puderam ser evidenciadas. E,

partindo-se dessas lacunas, um procedimento de obtenção de políticas de compras periódicas de medicamentos em uma farmácia hospitalar foi desenvolvido na segunda frente de atuação. Essa obtenção da política buscou apresentar características que não são comumente encontradas na literatura, a saber: multi produtos, aleatoriedade das variáveis de funcionamento do sistema e independência da necessidade de métodos tradicionais de gerenciamento de estoques.

Na segunda frente de atuação, além de apresentar todo o método com seus pontos fundamentais, houve a preocupação de que o resultado principal do trabalho, ou seja, as política de aquisição periódica, fosse apresentado em uma linguagem acessível para pessoas que não estivessem familiarizadas com a linguagem utilizada em ciências de gestão. Por isso, optou-se pela apresentação da política de aquisição periódica por intermédio de tabelas. Na terceira, e última frente de atuação, foi apresentada uma aplicação com dados reais para demonstrar como o método proposto funcionou na prática e a sua validade e importância para a tomada de decisão eficiente, tanto do ponto de vista econômico como em termos de disponibilidade dos medicamentos.

1.5. Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em mais cinco Capítulos, além deste introdutório, como se segue. No Capítulo 2, está a revisão de literatura, que versa sobre os temas básicos aqui abordados, a saber: sistemas produtivos; gestão de compras; simulação e suas vertentes (eventos discretos, baseada em agentes e híbrida) e aprendizado por reforço. Os próximos Capítulos, 3 e 4, descrevem o método e a condução da pesquisa, respectivamente. Os resultados são apresentados no Capítulo 5, seguido das Conclusões do Capítulo 6 e, finalmente dos Apêndices com as informações sobre cada cenário simulado e as referências bibliográficas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo consiste de uma explanação teórica sobre os temas mais relevantes para o andamento do trabalho. Inicialmente o tema gestão de estoques será abordado apresentando suas principais características e pavimentando o caminho a ser percorrido pelas ferramentas posteriores. A seção seguinte tratará sobre uma pesquisa bibliométrica acerca dos quatro temas principais abordados nessa tese. Em seguida, trata-se o tema gestão de estoques no âmbito específico do *healthcare*. O tema simulação vem posteriormente, com duas variações, SED e SBA, ocorrendo a integração entre ambas através da simulação híbrida. Por fim, discutir-se-á sobre a ferramenta de inteligência artificial RL, com suas definições e heurística utilizada, o *Q-learning*.

2.1. Pesquisa bibliométrica

A fim de analisar a situação da pesquisa científica das áreas correlatas ao presente trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliométrica no banco de dados Scopus. Os analisados são: gestão em saúde (*healthcare*), simulação híbrida (*hybrid simulation*), aprendizado por reforço (*reinforcement learning*) e gestão de estoque (*inventory management*). Inicialmente, serão investigados os termos separados, depois em pares e, por fim, unindo os quatro termos. O período das publicações foi até o ano de 2016, sem data inicial, e as pesquisas foram feitas nos campos título de artigo, resumo e palavras-chave. Segundo Franceschini, Maisano e Mastrogiacomo [22], Scopus e *Web of Science* (WoS) são considerados os dois principais bancos de dados multidisciplinares internacionais.

As análises individuais apresentaram os seguintes resultados:

Tabela 1 – Resultados por tema nas bases de dados Scopus e WoS

Tema	Scopus	WoS
Gestão em saúde	270.707	131.813
Simulação híbrida	3.292	1.889
Aprendizado por reforço	16.290	10.827
Gestão de estoque	3.258	5.311

Fonte: Autoria própria

O tema mais estudado dentre os quatro especificados tem sido a *gestão em saúde*. Este é, por sua vez, um ramo do conhecimento que consegue compactuar outras áreas, que até

então não tinham envolvimento natural. A base de dados Scopus fornece a opção de gerar resultados individualizados no decorrer do tempo. Dessa forma, as Figuras 1, 2, 3 e 4 exibem esses resultados.

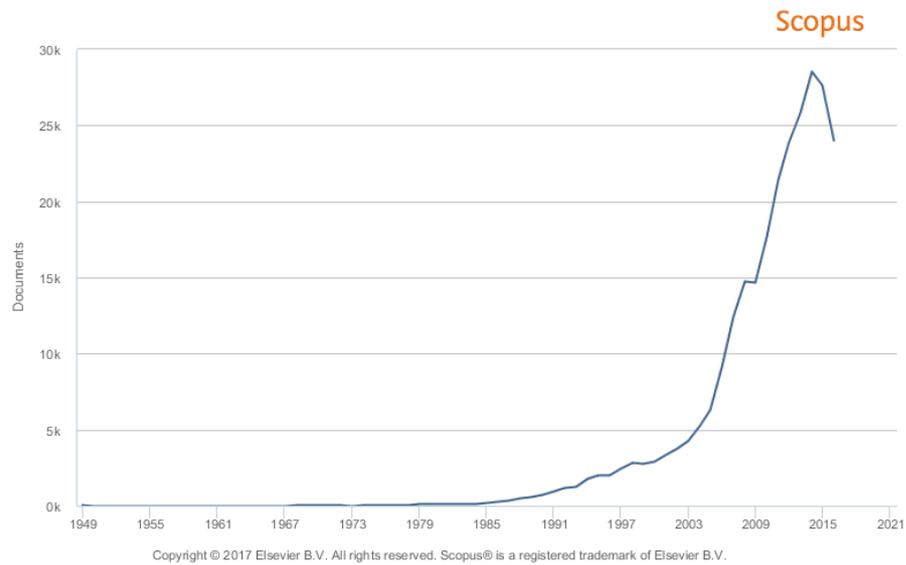


Figura 1 – Análise bibliométrica em gestão da saúde

Fonte: Base de dados SCOPUS

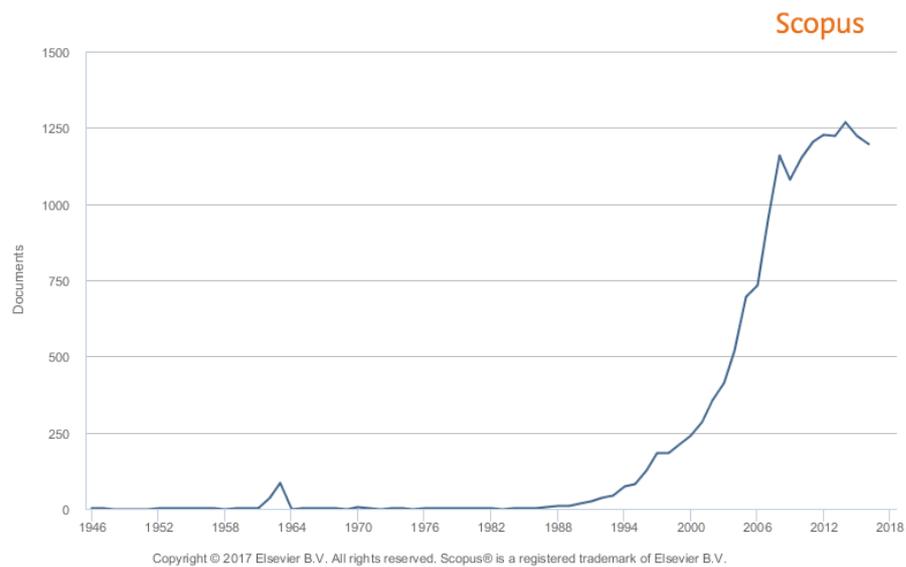


Figura 2 – Análise bibliométrica do aprendizado por reforço

Fonte: Base de dados SCOPUS

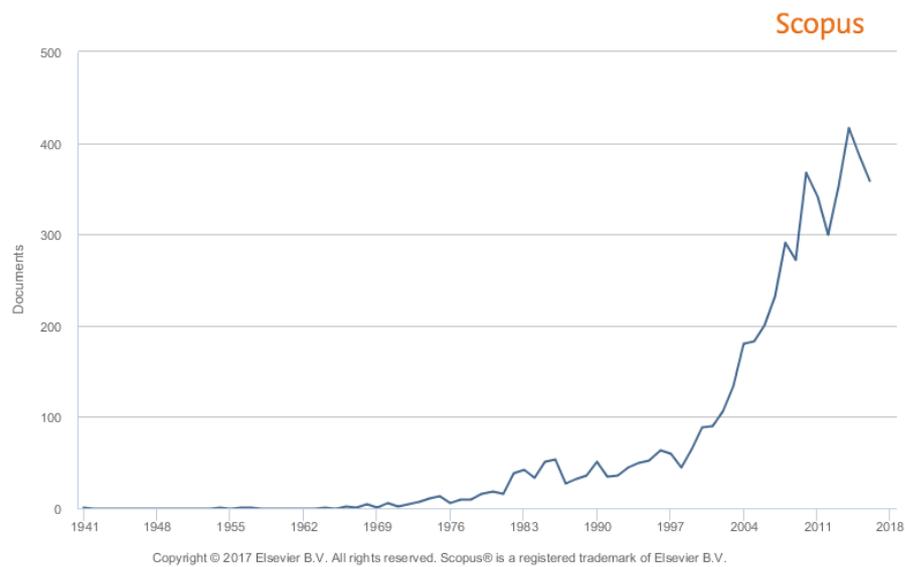


Figura 3 – Análise bibliométrica da gestão de estoque

Fonte: Base de dados SCOPUS

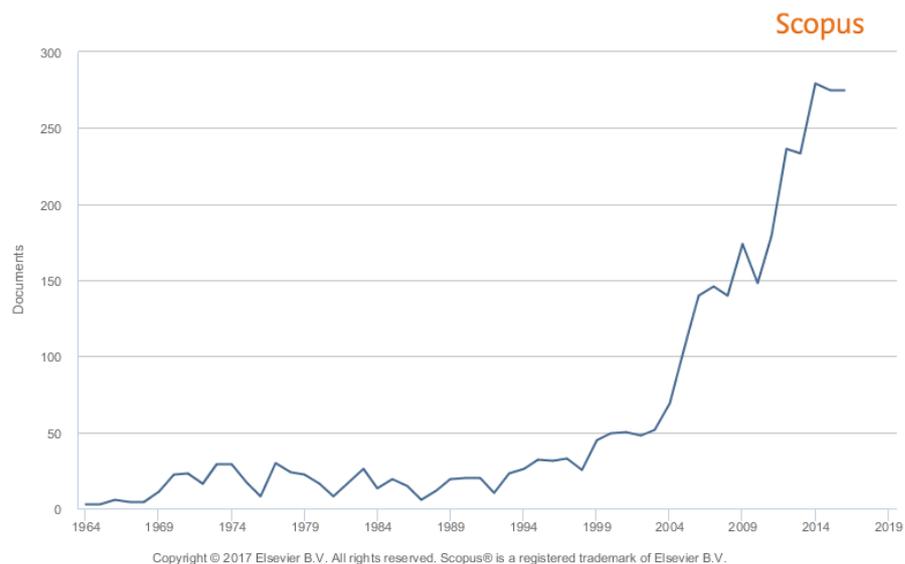


Figura 4 – Análise bibliométrica da simulação híbrida

Fonte: Base de dados SCOPUS

A partir dos resultados, é possível observar que todos os termos apresentaram resultados crescentes nos últimos 50 anos, com uma leve estabilizada ou até mesmo queda nos últimos 2 ou 3 anos. Apesar dessa queda, o termo gestão em saúde foi o que apresentou resultados com o maior número de artigos, ultrapassando valores de 20.000 por ano. Enquanto que o termo que mais se aproxima, aprendizado por reforço, não apresenta valores maiores que 1.500 artigos por ano. Mesmo sendo a simulação híbrida e a gestão de estoques termos mais antigos que os demais, não apresentaram valores que reflitam essa longevidade. A Tabela 2 apresenta a quantidade total de artigos encontrados utilizando a combinação par a par dos termos.

Tabela 2 – Pesquisas combinadas par a par nas bases de dados Scopus e WoS

Termos	Scopus	WoS
Gestão em saúde + Simulação híbrida	31	20
Gestão em saúde + Aprendizado por reforço	28	13
Gestão em saúde + Gestão de estoque	107	44
Simulação híbrida + Aprendizado por reforço	1	1
Simulação híbrida + Gestão de estoque	2	4
Aprendizado por reforço + gestão de estoque	11	6

Fonte: Autoria própria

As áreas mais próximas são a gestão em saúde com gestão de estoque, pois lidam diretamente com a gestão da farmácia hospitalar. Os artigos que possuem os termos gestão em saúde com aprendizado por reforço lidam principalmente com diagnóstico [21, 9]. Gestão em saúde e simulação híbrida é uma combinação que apresenta muitas possibilidades [24].

Em Abdelghany e Eltawil [25], os autores realizaram uma verificação de usos da simulação híbrida em departamentos de emergências e verificaram que: um modelo de simulação baseada em agentes foi usado para avaliar e selecionar a melhor política para diversificação de pacientes; simulação a eventos discretos foi usada para os detalhes no nível de operações dentro do departamento de emergência; e simulação dinâmica foi usada para modelar as relações entre as unidades hospitalares.

Atenção especial é dada para a combinação simulação híbrida em conjunto com aprendizado por reforço apresentar um número baixo de resultados. O motivo é que, historicamente, o aprendizado por reforço tem uma ligação maior com a simulação baseada em agentes (*agent-based simulation* ou *agent simulation*). Se os termos forem trocados, simulação híbrida por simulação baseada em agentes, o número de artigos sobe para 69, na base de dados Scopus, e 63, na base de dados WoS, destacando que há uma ligação maior com esse tipo de simulação, sem estar combinada a outra.

A combinação de RL com simulação a eventos discretos (*discrete events simulation*) retornou 31 resultados na base Scopus e 11 resultados na base WoS. Por fim, a combinação dessa ferramenta de inteligência artificial com simulação contínua (*continuous simulation*) retornou 1 resultado, em ambas as bases. Em sua maioria, os artigos que combinam RL e SBA relatam o uso de aprendizado por reforço para modelar sistemas em que as decisões são tomadas distributivamente, envolvendo inclusive negociações, em áreas como marketing, [26] psicologia [27] e energia [26, 27].

Dessa forma, fica evidente que há uma necessidade de ferramentas e políticas que unam o planejamento e controle de estoques com as farmácias hospitalares e que busquem cada vez mais diminuir esses índices.

2.2. Gestão de estoque

Slack, Chambers e Johnston [30] definem estoque como: “[...] o armazenamento acumulado de recursos materiais em um sistema de transformação [...]”. Esse armazenamento ocorre até o momento em que há alguma solicitação [31]. Sem o estoque, os clientes precisariam esperar até que seus pedidos fossem produzidos ou entregues. Em alguns casos, como o hospital, esse não-atendimento pode representar prejuízos para o cliente, inclusive fatais.

Mesmo sendo considerado um dos desperdícios dentro das organizações, por não agregar valor diretamente ao produto ou serviço no sistema de transformação [32], o estoque desempenha um papel fundamental no funcionamento contínuo de sistemas produtivos, principalmente os que possuem manipulação intensa de recursos materiais, diretos ou indiretos. Em situações reais, a demanda por esses recursos materiais geralmente apresenta comportamento contínuo e aleatório, tendo o estoque a função de absorver a demanda sobressalente, quando ela for maior que a média.

O ciclo do estoque definido por Waters [31] explica o esquema de seu funcionamento detalhado:

1. Uma organização compra um número de unidades de um item de um fornecedor, denominado de lote;
2. Em um tempo combinado, essas unidades são entregues;
3. A não ser que elas sejam utilizadas imediatamente, as unidades são colocadas em armazenamento, reabastecendo o estoque;
4. Clientes, tanto externos quanto internos, criam demandas para esse item;
5. Unidades são retiradas do estoque para atender essa demanda;
6. Em algum momento o número de unidades dos itens fica pequeno e é o momento da organização realizar outro pedido.

Uma possibilidade de acontecimento, não presente na lista supracitada, com um item em estoque é a expiração, ou quando obsolescência. Assim, inclui-se aqui um novo ponto:

7. Se o item expirar e não for utilizado antes de sua demanda, o mesmo é descartado.

Todos esses pontos do ciclo são apresentados na Figura 5.

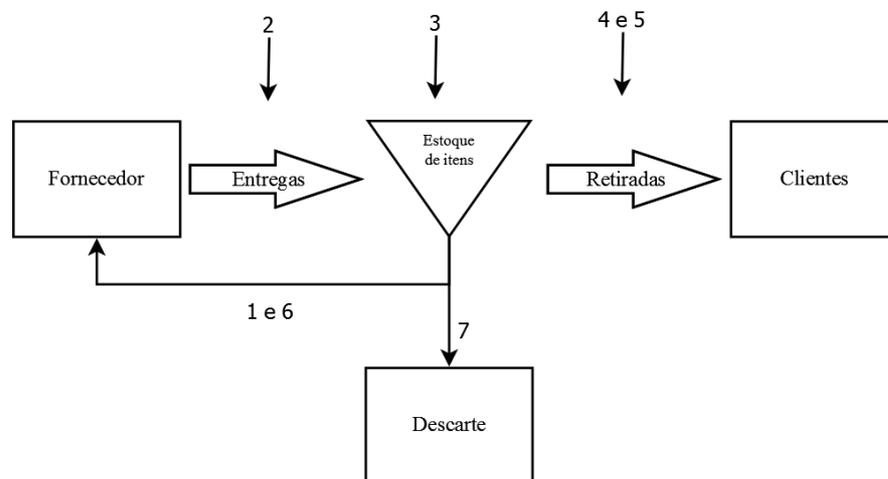


Figura 5 – Ciclo do estoque

Fonte: adaptado de Waters [31]

Os custos relacionados ao estoque podem ser compostos em quatro categorias [33]:

- a) Custo do item – É o valor unitário ou preço unitário de compra do item;
- b) Custo do pedido – É o valor relacionado a realização do pedido de um lote, no caso dele ser feito externamente. Alguns exemplos são os custos de transporte de mercadoria e o custo de inspecionar antes da entrada do estoque;
- c) Custo unitário de manutenção – É o valor relacionado ao custo de armazenagem incorporado a cada unidade;
- d) Custo de falta de estoque – É o valor relacionado às consequências econômicas da falta de estoque, como venda perdida e prejuízo à imagem da organização.

Em um cenário ideal, o tamanho do lote seria de uma unidade, assim o comportamento de atendimento da demanda se aproximaria de uma continuidade. No entanto, isso tornaria o processo mais oneroso, pois a parcela fixa do custo do pedido seria integralmente incorporada aquele produto único. Como esse custo é invariável em relação à quantidade, principalmente em materiais de pequenas dimensões, quanto mais produtos no pedido, menor o custo unitário [34].

Por outro lado, lotes com muitos itens também não são aconselháveis. Em regra geral, esses lotes causam aumento no custo unitário de manutenção. Adicionalmente, em uma farmácia hospitalar, há ainda o problema de potencialmente aumentar o número de

medicamentos expirados, ocasionando perdas expressivas, conforme relatado em Alencastro [17].

Em uma farmácia hospitalar, em termos financeiros, há a incidência principal do custo do item. O custo do pedido e o custo unitário de manutenção são mais difíceis de serem mensurados, principalmente em hospitais que não possuem fins lucrativos. Já o custo de falta de estoque pode inclusive não ser medidos em termos monetários. A falta de medicamento pode ser a diferença entre a vida e a morte de um paciente, por isso podem ser utilizados métodos diferentes para calculá-los [35].

Há, na gestão de estoque, dois tipos de decisão [31]: decisão relacionada ao armazenamento e decisão de compra ou produção. O primeiro tipo afeta diretamente o setor de acomodação dos itens. Abrange decisões de longo prazo, como o dimensionamento físico do espaço; decisões de médio prazo, como a mudança do arranjo físico e a contratação de funcionários; e decisões de curto prazo, como a verificação da validade dos itens e o aviamento. O outro tipo de decisão, o de compra ou produção, é a atividade responsável para que não ocorra a interrupção de atendimento à demanda, por falta de algum item em estoque. Essa decisão precisa conciliar a demanda dos consumidores, o fluxo de informação entre fornecedores e a política, ou procedimento, de pedido [36].

A gestão de estoque em *healthcare* é componente da área de estudo de administração de materiais e logística [37]. A Figura 6 apresenta um esquema, em âmbito macro, que mostra os componentes da área de estudo de administração de materiais e logística em *healthcare*.

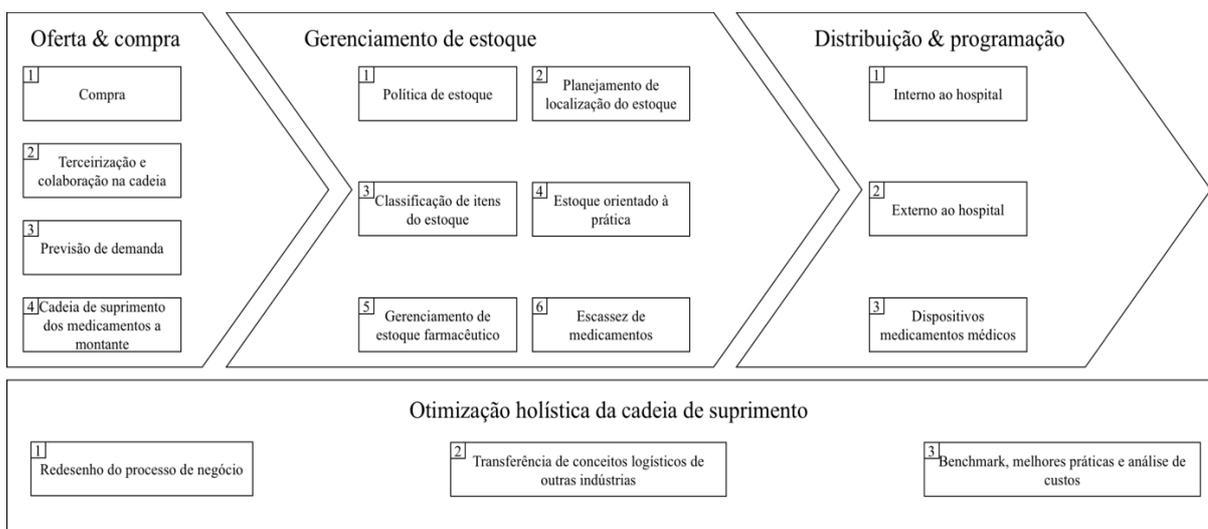


Figura 6 – *Framework* da classificação da área de estudo de administração de materiais e logística

Fonte: Volland *et al.* [37]

Conforme apresentado na Figura 6, o “Gerenciamento de estoque” inclui os temas sobre política de estoque, planejamento de localização, bem como esquemas de classificação e publicações de inventário orientadas para a prática, o gerenciamento de inventário de medicamentos e a escassez de medicamentos. Em relação a primeira etapa desse *framework*, “Oferta & compra”, sua responsabilidade é pelos procedimentos operacionais para realizar a comunicação entre os fornecedores e o hospital, tendo como principais tópicos a atividade de compra, a terceirização e a colaboração na cadeia, a previsão de demanda e a cadeia de suprimento dos medicamentos a montante. Destaca-se aqui o aparecimento de grupos coletivos de compras. Neles, um grupo de hospitais realiza uma aliança, temporária ou permanente, para barganhar melhores condições de compras frente aos fornecedores. Alguns exemplos de alianças são apresentados em Yang *et al.* [38], Klein [39], Nollet, Beaulieu e Fabbe-Costes [40] e Zhou *et al.* [41].

Na etapa “Gerenciamento de estoque” é encontrada a atividade em que está inserido o tema básico da presente pesquisa: a política de estoque. Segundo Gebicki *et al.* [42], a política de estoque se preocupa com o equilíbrio entre os custos de encomendar e transportar com os níveis de serviço ao paciente. O objetivo principal é entregar a dose certa da medicação certa no momento certo através da rota certa ao paciente certo. Segundo Volland *et al.* [37], a política define os parâmetros: definição do ciclo de revisão (periódico ou contínuo), o ponto de reabastecimento, a quantidade pedida e / ou o nível de pedido.

O funcionamento do fluxo de medicamentos e informações em um hospital apresentado por Gebicki *et al.* [42] é observado através da Figura 7. Aqui, ele foi adaptado por não apresentar máquinas de dispensas, devido à sua atividade ser estritamente manual.

O foco principal da gestão de estoque é como a política a ser adotada pela farmácia afeta o atendimento da demanda dos pacientes e a expiração dos medicamentos através do pedido de compras aos fornecedores. Em outras palavras, a farmácia central hospitalar só tem a capacidade de alterar esses índices manipulando a decisão de pedido de novos medicamentos, tendo, portanto, o nome de política. Para simplificar, Volland *et al.* [37] utilizam uma notação para tornar os tipos de políticas comparáveis. Nela, ao responder as perguntas “Quando comprar?” e “Quanto comprar?” é realizada a identificação da política de gestão de estoque.

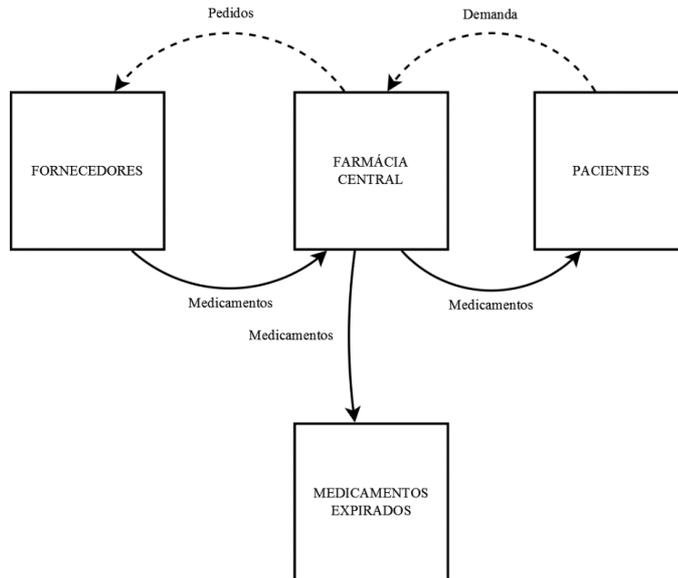


Figura 7 – Fluxo de medicamentos

Fonte: adaptado de Gebicki *et al.* [42]

Para a primeira pergunta há duas situações: ou a revisão de compras é feita periodicamente, com intervalo T , ou a revisão de compras é feita com um tempo variável, mas observando um mínimo no estoque s . Na segunda pergunta também há duas circunstâncias: ou se realiza a compra sempre com uma quantidade fixa Q , ou se realiza a compra com uma quantidade variável suficiente para atingir um valor determinado s . O Quadro 1 representa as combinações possíveis das políticas.

Quadro 1 – Políticas gerais de estoques

		Quando comprar?	
		Cada T períodos	Quando o nível de estoque atingir o nível s
Quanto pedir?	Compra fixa de quantidade Q	N/A	(s, Q)
	Até atingir o nível S	(T, S)	(s, S)

Fonte: Volland *et al.* [37]

Uma política (T, Q) é inviável, pois seus resultados não seriam confiáveis nem esperados, devido a aleatoriedade do sistema. Dito em outras palavras, se uma farmácia comprar a mesma quantidade de medicamentos em períodos fixos de tempo, a aleatoriedade irá gerar falta de medicamentos ou excesso de estoque, em períodos alternados de alta demanda e baixa demanda.

A política (s, Q) realiza pedidos de tamanho fixo com períodos variáveis. Esta foi utilizada em Wilson, Hodge e Bivens [43] combinada com o sistema *Kanban* para o suprimento dentro de um ambulatório oncológico. A outra política que utiliza o período variável é a (s, S) . Nela, a quantidade a ser solicitada também é variável, para que o nível de estoque atenda a um determinado valor. Attanayake *et al.* [44] utilizaram SED para testar configurações alternativas de uma cadeia de suprimentos de medicamentos e avaliar qual apresentou os melhores custos de estoque sob demanda estocástica.

Por fim, há a política de revisão periódica com quantidade de pedido dinâmica, representada por (T, S) . Inicialmente, a decisão é centrada em quantos medicamentos solicitar em situações em que o período é definido pela própria farmácia hospitalar, como pode ser observado em Hindley [45] e Wilson, Hodge e Bivens [43]. Contudo, em algumas circunstâncias, a escolha de T é modificável antes da implementação da solução, representando também sua própria complexidade na decisão, como visto em Nicholson, Vakharia e Erenguc [46] e Rosales, Magazine e Rao [47].

Rosales, Magazine e Rao [48] por sua vez, desenvolveram um modelo híbrido, combinando a revisão periódica, considerada de baixo custo, com a revisão contínua, mais dispendiosa, em um ambiente de farmácia hospitalar com sistema de dispensação interna de medicamentos e simulado computacionalmente.

A presente pesquisa se categoriza na política (T, S) , pois o período entre trocas acontece em períodos fixos mensais, já definida pelas compras do hospital. Assim, a quantidade a ser comprada precisa contemplar esse período mensal, balanceando as dimensões falta de medicamento e precibilidade, sujeita a um orçamento.

2.2.1. Comportamento da demanda

A demanda por itens de um estoque pode ser dividida entre demanda dependente e demanda independente [31]. A diferença entre as duas é que na demanda independente o comportamento do cliente ocorre indiferente às decisões internas da organização. Já na demanda dependente, há uma cadeia de consequências que interferem em sua conduta.

O método mais utilizado para lidar com estoques de itens com demanda dependente é o *Material Resource Planning* (MRP). Para Krajewski, Ritzman e Mallhotra [49], o MRP é um sistema de informação que realiza a programação de reposição de itens dependentes. Ele traduz informações do plano mestre de produção e de outras fontes em pedidos individuais para cada item que compõe o item de ordem superior na base de dados da

lista de materiais. Esta lista é uma representação gráfica e matemática da composição de um dado produto. Outro método para gerenciar demandas dependentes é o *Just in Time* (JIT) [50]. A ideia central do JIT é focar o planejamento para atender as necessidades exatamente no momento que forem solicitadas. Desta forma, a gestão de estoque age no sentido de minimizar o estoque, principalmente o de material em processo.

Uma das ferramentas de gestão de estoque com demanda independente mais conhecida é o Lote Econômico de Compra (LEC), desenvolvida em 1913 [51]. Como o próprio nome indica, o LEC busca comprar um lote com uma quantidade tal que minimize o custo total do pedido. Há algumas premissas para utilizá-lo [31]:

- A demanda é constante e conhecida;
- Todos os custos são conhecidos e não variam;
- Não é permitido escassez;
- Tempo de entrega é nulo, pedido feito é pedido entregue;
- Não lida com parâmetros não financeiros, como perecibilidade e número de não-atendimentos.

A ferramenta LEC é a mais utilizada na gestão de estoque para a demanda independente. Porém, o seu uso precisa ser acompanhado de outras informações auxiliares, pois dificilmente será conhecida a demanda e a mesma raramente será constante, além disso acontecer igualmente com os custos que são difíceis de ser calculados. Outrossim, é mais utilizada quando há a fabricação dos componentes, ao invés de ser obtida externamente [52]. Nessa situação a ferramenta é conhecida por Lote Econômico de Fabricação (LEF).

Outros métodos foram desenvolvidos para suprimir essas deficiências. O trabalho de Dobson, Pinker e Yildiz [53] desenvolveu um modelo matemático da LEC para um produto com data de expiração e observou que a taxa de demanda é uma função que decresce na medida em que o produto se aproxima do seu prazo de validade. Em Jiang e Sheng [13] os autores realizaram um estudo em uma cadeia de suprimento de produto único com dois níveis, consistindo em múltiplos consumidores e múltiplos varejistas, estes disputando entre si a preferência daqueles para maximizar seus lucros, satisfazendo seu nível de serviço objetivado enquanto procuram diminuir seu estoque excessivo. Os autores realizaram uma simulação com 10 varejistas e 80 consumidores em duas condições diferentes.

Em Katanyukul e Chong [12] são apresentadas algumas sugestões de como os métodos de RL podem ter melhores qualidade e velocidade na tomada de decisão, com uma estrutura lógica adicional que aditiva a decisão com elementos de estado e ações antigas melhor trabalhadas. Há falta de dados probabilísticos e de uma maior variabilidade, já que

apresenta apenas um produto, impossibilitando o desenvolvimento de um modelo com melhor representação. No entanto, conforme os autores, serve como base para melhorias nesses aspectos. A variabilidade do sistema, por sua vez, foi um dos objetivos no modelo proposto por Dey [54]. Para tanto, o autor utilizou a lógica difusa em uma versão atualizada do LEC. A variabilidade se concentrou principalmente na demanda.

A simulação de sistemas dinâmicos foi a solução encontrada por Chen, Li e Jin [55] para lidar com as flutuações das demandas em produtos agroindustriais. Dessa forma, foi possível realizar análises de sensibilidade que fizeram com que a nova política gerasse uma diminuição dos custos totais em até 16,27%, comparado com métodos tradicionais. Entretanto, mesmo informando que há uma preocupação com a perecibilidade do produto, não é apresentada a sua aplicação.

2.2.2. Classificação de estoque

Para Pandya e Thakkar [56] os custos relacionados ao estoque, armazenagem, pedido e falta do mesmo, fazem com que uma classificação seja necessária, pois facilita focar em itens mais importantes, em detrimento de outros. E esse controle não necessariamente se traduz em termos financeiros. Por exemplo, em farmácias hospitalares, é importante focar em medicamentos que tenham um impacto maior na saúde dos pacientes. Os autores realizaram um levantamento com os critérios e aplicações de alguns métodos de classificação de estoque, presentes no Quadro 2.

No âmbito de controle de estoque em farmácia hospitalar, os métodos que têm apresentado algumas aplicações estão na análise ABC, na análise XYZ e na análise VED. Outras aplicações utilizam um controle combinado desses métodos. Em Singh *et al.* [57] aplicaram conjuntamente os métodos de análise ABC e VED para montar uma matriz para identificar e categorizar os itens que exigiriam maior monitoramento, sem análises e nem sugestões posteriores. Do mesmo modo, o trabalho de Krishnaraj R e Meenakshi [16] classificou os itens de uma farmácia hospitalar utilizando as análises ABC e XYZ.

Quadro 2 – Critérios e aplicações de métodos de classificação de estoque selecionados

Método	Critério	Aplicação
Análise ABC	Valor utilizado no período	Para materiais que vão para produção
Análise XYZ	Classificação por importância	Situação da categoria
Análise HML (<i>High, Medium, Low</i>)	Preço unitário	Para manter visível itens com alto custo
Análise VED (<i>Vital, Essential, Desirable</i>)	Criticidade ou perda de produção	Para controlar a manutenção de itens esporádicos e equipamentos de manufatura
Análise FSN (<i>Fast, Slow, Non-Moving</i>)	Capacidade de movimentação do item	Itens de movimentação rápida precisam ser mantidos nos níveis altos
Análise SDE (<i>Scars, Difficult, Easily available</i>)	Dificuldade de compra	Para manter a vigília sobre a disponibilidade, deve ser mantido em estoque, tendo em mente a dificuldade na aquisição e pode seguir a compra a termo
Análise GOLF (<i>Govt., Ordinary, Local and Foreign</i>)	Governamental - Tempo de entrega mais para recuperação, pagamento antecipado Estrangeiro - Procedimento longo através do banco, porto, permissão, dever, etc.	Os suprimentos governamentais precisam de espera para obter material; A agência de canalização pode ser usada, contagens de fator de tempo de entrega de contratos externos.
Análise SOS (<i>Seasonal and Off-Seasonal</i>)	Itens sujeitos a variações naturais, como período de colheita.	Deve comprar na época da colheita para obter vantagens de preço e fornecimento de boa qualidade.

Fonte: [56]

2.3. Decisão sequencial

A política de gestão de estoques é uma atividade crucial nas organizações e pode ser modelada como um problema de decisões sequenciais [12], posto que decisões em um momento são tomadas observando as decisões passadas e as suas consequências. Simbolicamente, sua representação é descrita na Figura 8 [58].

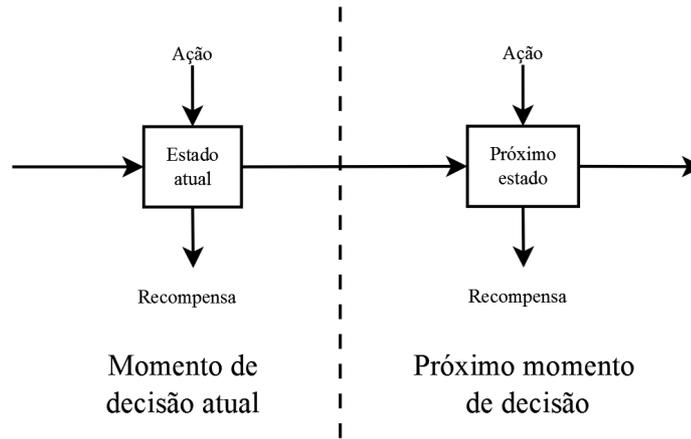


Figura 8 – Representação simbólica de um problema de decisão sequencial

Fonte: Puterman [58]

Problemas de decisões sequenciais podem ser modeladas como em cada momento (ou tempo) de decisão, o estado do sistema fornece todas as informações necessárias de sua situação para que o tomador de decisões aja escolhendo uma ou mais ações disponíveis. Feito isso, há dois acontecimentos: o tomador de decisão recebe uma recompensa, que pode ser boa ou ruim a depender da sua avaliação, e o sistema evolui para um estado imediatamente futuro e possivelmente diferente. Mais especificamente, essas atividades podem ser visualizadas como um *Markov Decision Process* (MDP) [58]. Assim, segundo Kaelbling, Littman e Moore [5] um MDP consiste formalmente em:

- Um conjunto de estados \mathcal{S}
- Um conjunto de ações \mathcal{A}
- Uma função de recompensa $\mathcal{R}: \mathcal{S} \times \mathcal{A} \rightarrow \mathfrak{R}$
- Uma função de transição $\mathcal{T}: \mathcal{S} \times \mathcal{A} \rightarrow \Pi(\mathcal{S})$

A função de recompensa \mathcal{R} expressa a consequência de uma determinada ação a , pertencente ao grupo de ações \mathcal{A} , quando é escolhida em um estado s , pertencente a um grupo de estados \mathcal{S} , em um momento t . A função de transição, \mathcal{T} , representa a probabilidade de como estará o próximo estado, s' , após a escolha da ação a e o presente estado s .

2.4. Aprendizado por reforço

O aprendizado por reforço (*Reinforcement Learning – RL*), ferramenta pertencente ao grupo de aprendizado por máquina denominado de não supervisionado, é utilizado para lidar com problemas de decisões sequenciais. O RL é uma forma de aprendizado computacional em tempo diferencial baseado na tentativa e erro e recompensa a

longo prazo [12]. Seu objetivo é maximizar, a longo prazo, a função de recompensa da decisão sequencial.

Kaelbling, Littman e Moore [5] e Sutton e Barto [6] citam que o RL é principalmente focado no aprendizado direcionado ao objetivo em um contexto geral do problema a ser enfrentado. Sendo ele particularmente útil em problemas reais, pois não é necessário modelar analiticamente todo o comportamento do sistema *a priori*, ou seja, conhecer todos os valores relativos ao conjunto de transições \mathcal{T} , que modela todas as possíveis combinações $\mathcal{S} \times \mathcal{A}$, todos os estados possíveis e todas as ações possíveis; sendo assim, livre do modelo.

Os principais componentes presentes do RL são:

- *Agente* – elemento(s) central(is) para a tomada de decisão;
- *Decisão* – ação que altera o estado do sistema;
- *Estado* – representação do meio em que o agente está inserido
- *Política* – define o comportamento do agente em um período no tempo, definindo quais as decisões tomar frente à cada situação;
- *Função de recompensa* – calcula o retorno imediato da(s) decisão(ões) tomadas;
- *Função de valor* – representa o quão bom uma política é no longo prazo;
- *Modelo* – representa, dentro do RL, o ambiente em que o agente está inserido para tomar a decisão. No caso dessa tese, o modelo é representado pela simulação híbrida a eventos discretos e baseada em agentes.

O(s) agente(s) e o ambiente interagem em uma sequência de momentos discretos no tempo, $t = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$. Em cada momento, ou episódio t , o agente recebe alguma representação do *estado* do ambiente \mathcal{S} , \mathcal{A} é o conjunto de *ações* disponíveis no estado s_t . Um episódio seguinte, como consequência de sua(s) ação(ões) tomada(s), recebe uma *recompensa* numérica, $r_{t+1} \in \mathbb{R}$, e encontra-se em um novo estado, s_{t+1} . A Figura 9 apresenta esse relacionamento de forma esquemática.

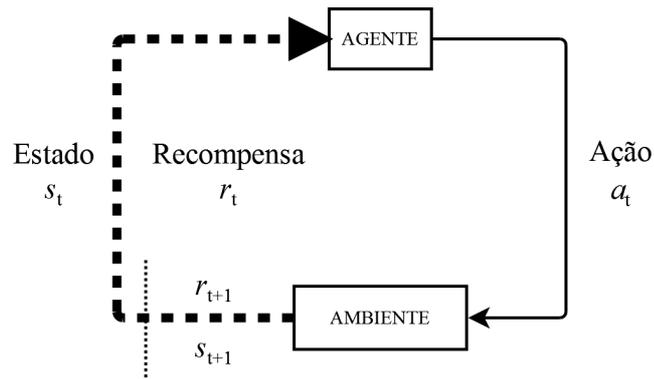


Figura 9 - Interação agente-ambiente

Fonte: Autoria própria

Alguns autores utilizaram o RL no auxílio da tomada de decisão na gestão de estoques. No trabalho de Valluri, North e Macal [59] foram comparados três algoritmos de RL, *Q-learning*, *Sarsa* (λ) e *Tile coding with Sarsa* (λ) representando cada estado com uma função de aproximação baseada em redes neurais para avaliar um modelo de cadeia de suprimento simples, linear e com apenas um produto composto por 5 agentes independentes: cliente, varejista, atacadista, distribuidor e fabricante. Nos dois primeiros algoritmos, apenas um agente, o varejista, tem a capacidade de tomada de decisão baseada em RL. Já no último, três deles, varejista, atacadista e distribuidor, apresentam essa característica de aprendizado. Os autores concluíram que as ferramentas se mostraram úteis, porém, a demora do aprendizado (resultante em mais de mil episódios) foi considerada uma desvantagem.

No trabalho de Katanyukul e Chong [12] foi utilizado o aprendizado por reforço reflexivo (*Ruminative reinforcement learning – RRL*), motivado por como os seres humanos contemplam as consequências de suas ações com o objetivo de aprender mais rapidamente a tomar a melhor decisão por tentativa e erro. A estrutura do estoque foi de produto único com finalidade de diminuir os custos globais. O objetivo foi avaliar se esse método consegue o aprendizado mais rápido, em relação a outros métodos existentes, fato que se provou satisfatório.

Sui, Gosavi e Lin [60] utilizaram o RL para gerenciar o estoque de varejista em situações em que a decisão não é feita pelo mesmo, mas sim pelos fornecedores dos produtos, em um acordo consignado, conhecido como sistema de gerenciador de estoque pelo fornecedor (*Vendor-Managed Inventory – VMI*). A decisão que foi otimizada é a quantidade de caminhões que precisam ser enviados para cada varejista, a partir dos fabricantes. Igualmente aos dois trabalhos citados acima, a busca foi centrada na maior diminuição dos custos.

Na área de gestão em saúde, o uso de RL tem apresentado resultados satisfatórios. Algumas áreas de aplicação são: diagnóstico de doenças [59, 60], controle de propagação da doença [61, 62], utilização de robôs na interação com os humanos [65] e alocação de recursos [11].

O RL não é por si só uma ferramenta de tomada de decisão com métodos formais bem definidos. Ele serve como arcabouço teórico para que outras ferramentas formais sejam desenvolvidas a partir dele [5]. Algumas ferramentas do tipo “livres de modelo”, ou como já foi dito anteriormente não possuem os valores das transações, são *Tile Coding*, *Sarsa* (λ), *Tile coding with Sarsa* (λ) e *Q-learning*. Por ser difundido na utilização em situações práticas, foi escolhida nessa pesquisa a heurística *Q-learning* [5–7] para modelar o processo decisório da política de estoque hospitalar, conforme apresentado no próximo tópico.

2.4.1. Heurística *Q-learning*

A heurística *Q-learning*, apresentada em Watkins [66], é um método de diferença temporal amplamente utilizado, pois consegue representar o valor das ações tomadas sem precisar armazenar o conjunto dos valores históricos, somente o conjunto atual e o conjunto do último episódio. O seu valor é obtido através da equação (1).

$$Q(s, a) \leftarrow Q(s, a) + \alpha \left(r(s, a) + \gamma \min_{a'} Q(s', a') - Q(s, a) \right) \quad (1)$$

Em que:

- a é a ação a ser tomada, ou a quantidade de medicamentos a serem compradas;
- s é o estado do sistema no momento da compra, aqui representado pela quantidade em estoque;
- α é o parâmetro tamanho do passo, que possui o poder de incluir o aprendizado no Qsa ;
- $r(s, a)$ é o valor da recompensa ou punição;
- γ é o coeficiente de desconto, com valor entre 0 e 1. Para modelos de gestão de compras, o valor a ser considerado é 1 [7].

O RL usualmente se caracteriza por estar no modo de exploração experiente (*exploitation*). Neste modo, o mecanismo do *Q-learning* utiliza um histórico para priorizar as decisões que produziram melhores consequências. Porém, esporadicamente é necessário que sejam tomadas ações que não foram escolhidas ou foram pouco escolhidas anteriormente,

para poder gerar um histórico mais apurado das consequências das ações. Este modo é identificado como exploração aleatória (*exploration*) e nele as ações são tomadas aleatoriamente [6]. Esse processo é feito comparando um valor aleatório calculado no momento da decisão com outro fixo, ε , pré-determinado. Assim, o algoritmo para implementação do *Q-learning* está representado no Quadro 3.

Quadro 3 – Algoritmo *Q-learning*

<i>Início</i>
<i>iteração = 0; α = valor inicial; ε = valor inicial; a = valor aleatório; $\forall Q_{sa} = 0$</i>
<i>Enquanto a simulação não termina</i>
<i>Simula por um período</i>
<i>iteração = iteração + 1</i>
<i>Escolhe um valor aleatório entre 0 e 1 e compara com ε</i>
<i>Se for menor que ε</i>
<i>Escolhe um valor de a aleatoriamente</i>
<i>Se for maior que ou igual a ε</i>
<i>Escolhe um valor de a de acordo com o menor Q_{sa}</i>
$Q(s, a) \leftarrow Q(s, a) + \alpha \left(r(s, a) + \gamma \min_{a'} Q(s', a') - Q(s, a) \right)$
<i>Decrementa α</i>

Fonte: Autoria própria

Cada valor de Q_{sa} relaciona uma ação, que é a quantidade a ser comprada, com o estado atual, ou a quantidade em estoque do medicamento. Para tornar essa informação mais tratável, ela será representada por um código que abrange amplitudes de valores [7,67]. Assim, cada valor real de medicamentos em estoque será transformado em um código, mais simples.

Tabela 3 – Correspondência dos estados por valor em estoque

Faixa	Estado
[0, Amplitude)	0
[Amplitude, Amplitude*2)	1
[Amplitude*2, Amplitude*3)	2
⋮	⋮
[Amplitude*(n-1), Amplitude*n)	n-1
[Amplitude*n, ∞)	n

Fonte: Autoria própria

Como pode ser observado na Tabela 3, se existir n estados possíveis, cada um representará valores em um intervalo mínimo de (Amplitude * estado) até [Amplitude * (estados +, excluindo esse valor superior. A amplitude tem relação direta com o valor de cada produto, o tamanho do lote de compra e a demanda.

No problema dessa pesquisa foi utilizado a SED para desempenhar o papel de modelar o comportamento das mudanças de estados feitas indiretamente.

2.5. Simulação

No apoio à decisão gerencial, a simulação utiliza modelos lógicos manipuláveis matemática e computacionalmente. Ela pertence à grande área da Pesquisa Operacional (PO) [1]. Suas características possibilitam a construção de um modelo que é usado para se imitar o comportamento do sistema real correspondente. Essencialmente, há um problema a ser resolvido e a simulação é utilizada para encontrar a solução para esse problema.

No contexto mais geral, a simulação na utilização para o apoio à decisão gerencial pode ser dividida entre computacional ou não computacional. A não computacional, também denominada como experimentação por Kelton e Law [68], utiliza técnicas de teatro, jogos empresariais, *Role Playing Games*, dentre outros. A computacional será mais detalhada a seguir.

2.6. Simulação computacional

Segundo Banks *et al.* [69], simulação computacional é a imitação da operação de um processo de mundo real que geralmente ocorre por um tempo em um ambiente computacional. Por intermédio da simulação, soluções para uma diversidade de problemas podem ser encontradas sem intervir diretamente no objeto estudado. Ainda segundo tais autores, o modelo representa o comportamento do sistema através de expressões matemáticas, lógicas e simbólicas entre as entidades que o compõe.

Dessa forma, o processo simulado ocorre em um ambiente computacional, com equações e representações lógicas sendo resolvidas em cada instante do tempo pelo processador do computador. Essa é uma das vantagens da simulação em relação à outras ferramentas clássicas da PO, pois, em sua maioria, lidam com resultados pontuais. Para Pidd [2], a simulação apresenta vantagem, pois as ferramentas tradicionais puras não conseguem

representar com fidelidade a dinâmica da transição dos efeitos durante o tempo de um sistema real e geralmente trabalham com valores médios dos comportamentos dos elementos reais.

Quando ocorre a execução da simulação, os dados probabilísticos dos elementos do sistema são escolhidos aleatoriamente e a cada momento. Essa característica torna a simulação bastante abrangente na captura de comportamentos aleatórios presentes na realidade. A simulação tenta representar a realidade através do uso de sistemas e modelos. Um sistema é definido como um conjunto de partes e elementos reais que, interagindo entre si, tentam atingir um determinado objetivo comum [68]. Por sua vez, o modelo é a representação do sistema para um propósito definido, abstraindo as informações irrelevantes [70]. Modelo computacional é o modelo desenvolvido no ambiente computacional. Esse modelo é desenvolvido utilizando ferramentas matemáticas.

A simulação computacional processa entradas e produz saídas. Como o modelo é computacional, ressalta-se que as alterações feitas nas entradas não irão interferir diretamente no sistema real. Essas mudanças podem ser no número de farmacêuticos, no tempo de processamento, no tamanho do pedido, dentre outros. O presente trabalho tem como entradas a serem manipuladas o tamanho do pedido a ser realizado, utilizando inteligência artificial e observando as saídas número de pacientes não atendidos e número de medicamentos expirados. Para caracterizar o comportamento dinâmico, a simulação computacional realiza mudanças sequenciais em seu modelo. Essas mudanças são chamadas de eventos. De acordo com o comportamento desses eventos, há outra divisão no tipo de simulação computacional: a simulação contínua e a simulação a eventos discretos.

Caso esses eventos ocorram em uma duração de tempo que não possa ser descartada, a simulação é considerada contínua. Para tal modalidade, utilizam-se equações diferenciais e outros tipos de modelos matemáticos [1]. Pode-se elencar nessa categoria a simulação de sistemas dinâmicos e simulação de tensão-deformação em modelos de peças. Porém, se esses eventos são executados em um período de tempo descartável para o funcionamento da simulação, ela é considerada a eventos discretos. Por exemplo, a duração da chegada de um novo pedido interno não afeta o tempo da simulação da farmácia hospitalar.

Nem sempre essa divisão acontece de forma clara. Uma mudança na realidade pode ser caracterizada diferentemente, dependendo do objetivo da simulação. Assim, um acontecimento pode ser simulado como eventos diferentes. Em uma situação hipotética de uma etapa de modificação mecânica em uma peça, como por exemplo o seu aquecimento, pertencente à um processo de transformação; se o objetivo for de gestão, a exemplo o

dimensionamento da quantidade de recursos envolvidos na operação, há dois eventos distintos: entrada e saída da peça.

Caso o objetivo seja o de dimensionar as características técnicas do recurso, tendo como exemplo qual a temperatura ideal, toda a atividade é caracterizada apenas como um evento, o de modificação da peça. Para White Jr. e Ingalls [70] o evento na simulação contínua é chamado de atividade. Em outras palavras, a simulação contínua está ligada diretamente com a natureza do evento, enquanto que na simulação a eventos discretos o foco são as informações indiretas que se obtém da simulação para objetivos gerenciais.

Em simulações a eventos discretos as entradas são feitas pelas entidades [70]. Essas são representações de elementos reais e tem situação passageira dentro do sistema [68]. As entidades possuem informações que as diferenciam das demais, denominadas atributos. O atributo possui um comportamento passivo, posto que é processado pelas atividades presentes no modelo. A entidade pode ser física ou lógica. Clientes em um hospital e peças em uma fábrica são exemplos de entidades físicas. Entidades lógicas podem ser uma solicitação de ordem de serviço em uma oficina de manutenção ou um pacote de dados em um processador. Todas essas entidades possuem atributos distintos, tais como: nome, início do processamento, cliente solicitante e programa executante, considerando a ordem dos exemplos ilustrados anteriormente.

Os recursos são os elementos que realizam o processamento das entidades. Como as entidades, os recursos também possuem atributos, principalmente a sua capacidade de processamento [70]. Os outros tipos de características que se destacam nos recursos são as dinâmicas, denominadas métodos. Eles são dinâmicos por terem a natureza de execução de uma sequência de instruções, como as funções em linguagens de programações. Os métodos podem alterar atributos, desempenhar uma ação no tratamento de uma entidade, podem realizar uma autoavaliação, dentre outras ações.

A fila se forma quando a capacidade do recurso alcança seu limite e uma entidade solicita atendimento ou processamento. Nesse caso, a mesma (e as demais que porventura apareçam) precisa aguardar até que alguma entidade em processamento seja liberada pelo recurso. Existem ainda algumas informações que não pertencem exclusivamente a nenhum desses dois elementos de simulação, são variáveis globais [70]. Elas servem a todos os elementos indistintamente. Geralmente sua utilização tem finalidade estatística, onde um uso frequente é a contagem do número de entidades que passam pelo sistema.

2.6.1. Gestão de estoque utilizando simulação a eventos discretos

Existem alguns trabalhos na literatura que abordam aplicações em conjunto de gestão de estoques utilizando SED. Fizemos um mapeamento de aplicações recentes sobre esses temas em que verificou-se quais características existentes são mais comuns entre eles. Esse levantamento é apresentado a seguir no Quadro 4.

Quadro 4 – Trabalhos utilizando Gestão de Estoques e SED

Artigo	Aplicação
Birim e Sofyalioglu [71]	Uso da simulação para verificar se há diferença entre a presença ou não de incentivos financeiros em uma cadeia de suprimentos compostas por dois níveis.
Postacchini <i>et al.</i> [72]	Comparação de diferentes políticas de gestão de estoques em uma farmácia hospitalar, utilizando simulação a eventos discretos nos resultados estoque médio, nível de atendimento e no efeito chicote.
Armenzoni <i>et al.</i> [73]	Simulação de partes separadas de uma planta industrial hipotética para obter uma previsão de demanda e gestão de estoque.
Garcia-herreros <i>et al.</i> [74]	Simulação de um sistema de produção que apresenta uma análise do impacto em uma nova forma de lidar com a incerteza.
Baesler <i>et al.</i> [75]	Comparação de diferentes políticas de gestão de estoques em um banco de doação de sangue utilizando simulação a eventos discretos.
Sharda e Akiya [76]	Utilização da simulação para avaliar qual a melhor política, entre produzir para estoque ou adiar, para diferentes produtos em uma indústria química.
Samvedi e Jain [77]	Impacto de diferentes políticas de estoque quando há uma mudança brusca nos parâmetros da simulação.

Fonte: Autoria própria

A característica comum, que é encontrada em todos os trabalhos, é que a SED foi utilizada como validador da mudança da política. Ou seja, ela substituiu a aplicação de alguma ferramenta determinada *a priori* em algum ambiente real, hipotético ou existente, e observou-se as consequências dessas alterações. Outra observação que pode ser feita é que a maioria desses trabalhos [71–74,76] são voltados para estoques em sistemas de produção tradicionais. O artigo de Samvedi e Jain [77] é genérico, sem uma identificação clara da área

de atuação, já o artigo de Baesler *et al.* [75] é da área de *healthcare*. Dessa forma, fica evidente que o uso da SED não possibilita à própria simulação a capacidade de realizar mudanças adaptativas, que consigam perceber o ambiente e modificá-lo.

2.6.2. Métodos de simulação a eventos discretos

Há algumas ferramentas presentes na literatura que auxiliam a utilização da SED. Elas possuem um conjunto de regras e normas já testadas e validadas, que potencializam a obtenção de bons resultados. O método de problemas, dentro do universo em PO, possui os seguintes passos básicos [1]:

1. Definir o problema de interesse e obter dados relevantes;
2. Formular um modelo matemático para representar o problema;
3. Desenvolver um procedimento baseado em computação para derivar soluções para o problema do modelo;
4. Testar o modelo e refinar quando necessário;
5. Preparar para a aplicação contínua do modelo como descrito pelo gerenciamento;
6. Implementar.

Em se tratando de SED, o segundo passo – formular um modelo matemático para representar o problema – faz-se sua representação através de relações lógicas entre entidades, recursos e atividades. Alguns outros trabalhos deixaram esses passos mais detalhados para problemas tratados com simulação a eventos discretos. Um dos primeiros trabalhos que apresentou um método voltado exclusivamente para a simulação foi desenvolvido em Mitroff *et al.* [78]. Ele é representado na Figura 10.

As etapas seguem conforme:

- Modelo conceitual – Na etapa de revisão de modelo conceitual, cria-se um modelo que irá representar as principais variáveis que o sistema terá. É necessário salientar que esse modelo é construído independente do software a ser utilizado.
- Modelo científico – Em seguida será feito o modelo científico, que é dependente diretamente do ambiente computacional em que será implementado.
- Solução e problema – Aqui as etapas foram condensadas propositalmente para evidenciar que nessas etapas que ocorreram as principais ações da pesquisa, que é quando a simulação e a otimização acontecem, irão fornecer soluções ótimas.

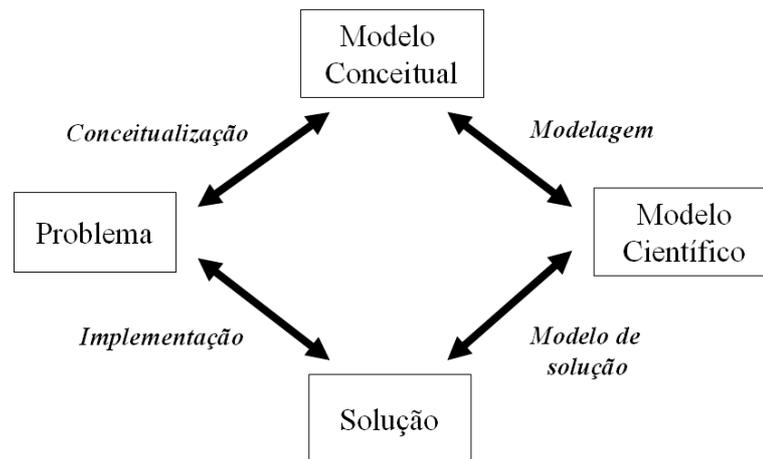


Figura 10 – Método de Modelagem e Simulação

Fonte: Mitroff *et al.* [78]

Posteriormente, o esquema apresentado por Maria [79] deixou as etapas necessárias para se realizar um estudo de simulação mais lógica e com caminhos mais claros a serem seguidos, que são:

- Passo 1: Identificar o problema;
- Passo 2: Formular o problema;
- Passo 3: Coletar e processar dados reais do sistema;
- Passo 4: Formular e desenvolver um modelo;
- Passo 5: Validar o modelo;
- Passo 6: Documentar o modelo para usos futuros;
- Passo 7: Selecionar um projeto experimental apropriado;
- Passo 8: Definir condições de experimento para executar o modelo;
- Passo 9: Realizar execuções de simulações;
- Passo 10: Interpretar e apresentar os resultados;
- Passo 11: Recomendações de ações.

A Figura 11 representa esquematicamente a iteração desses passos.

Por fim, no método de estudos experimentais simulados propostos em Montevechi *et al.* [80] são apresentados mais detalhes acerca dos passos da realização de simulação, focada principalmente na simulação a eventos discretos. A Figura 12 apresenta a estrutura desse estudo.

Nesse método, há a existência de três fases distintas, as quais produzem três modelos diferentes: concepção, implementação e análise. Cada um precisa ser validado para seguir com o passo seguinte, ao estilo de desenvolvimento de projeto de software em cascata.

Na fase de concepção os objetivos e o sistema são definidos. Eles servem como guias para avaliar o desempenho da simulação. Essa definição, juntamente com a definição do sistema e de dados reais, fomentam a construção do modelo conceitual, principal produto dessa fase.

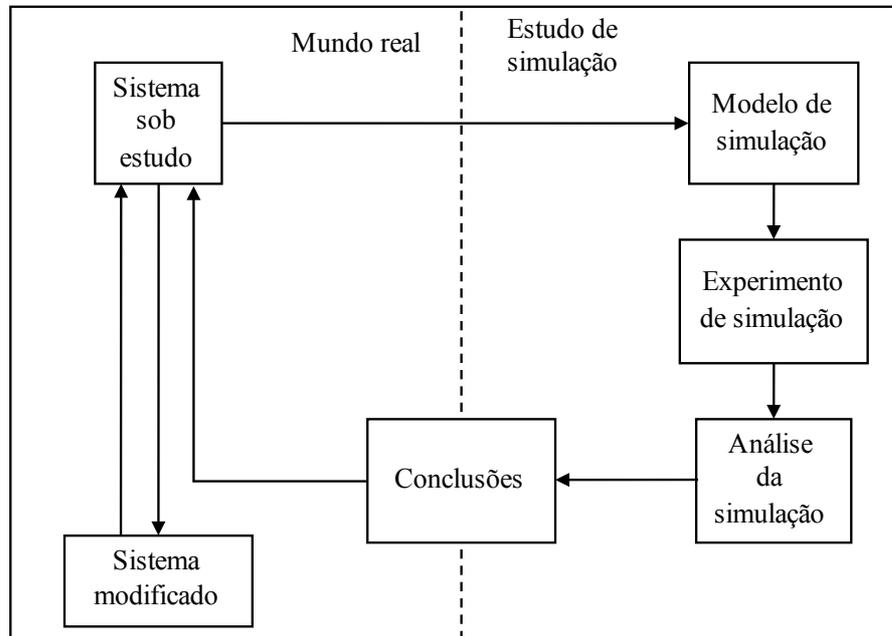


Figura 11 – Esquema de estudo em simulação

Fonte: Maria [79]

Para Robinson *et al.* [81], a modelagem conceitual é o processo de abstrair um modelo da realidade de um sistema proposto. Portanto, ela é uma representação abstrata da realidade. Isso significa que apenas algumas características serão captadas. Este modelo é vital para o modelo computacional. Para os autores, alguns fatos são chaves para a definição de um modelo conceitual:

- O modelo conceitual é acerca de mover uma definição de problema, através dos requisitos do modelo para uma definição do que será modelado e como;
- A modelagem computacional é iterativa e repetitiva;
- O modelo conceitual é uma representação simplificada do sistema real;
- O modelo conceitual é independente do código do modelo computacional ou software;
- A perspectiva do cliente e do modelador são igualmente importantes na modelagem conceitual.

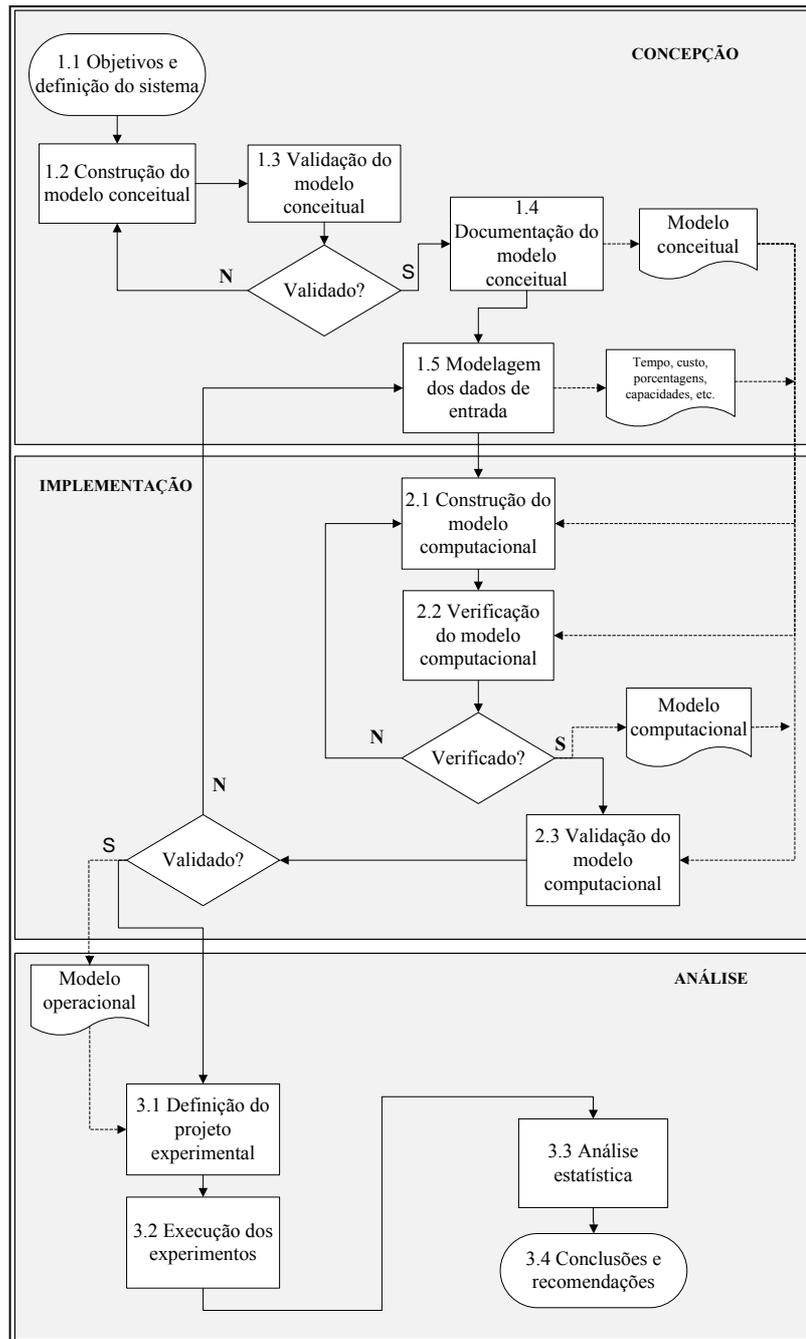
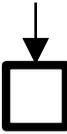
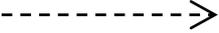


Figura 12 – Método empregado para o estudo de simulação

Fonte: Montevechi *et al.* [80]

Existem algumas técnicas que auxiliam, principalmente no aspecto visual, a criação de modelos conceituais, dentre eles, há o fluxograma, a UML, o mapeamento de processos, dentre outros. A ferramenta IDEF-SIM (*Integrated Definition Methods – Simulation*) tem como característica principal a modelagem conceitual de sistemas específicos para projetos de simulação [80]. Convém ressaltar que ele segue o paradigma de simulação baseada em processo. Os principais elementos são apresentados no Quadro 5 a seguir.

Quadro 5 – Símbolos do IDEF-SIM

Elementos	Simbologia		Técnica de origem
Entidade			IDEF3 (modo descrição das transições)
Funções			IDEF0
Fluxo de entidade			IDEF0 e IDEF3
Recursos			IDEF0
Controles			IDEF0
Movimentação			Fluxograma
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos		Regra E	IDEF3
		Regra OU	
		Regra E/OU	
Informação explicativa			IDEF3 e IDEF0
Fluxo de entrada no sistema modelado			
Ponto final do sistema			
Conexão com outra figura			

Fonte: [80]

A definição de entidade e recurso já foram anteriormente definidas. As funções representam os locais em que irá acontecer alguma atividade, podendo ter ou não a presença de recurso, indicado pela seta com sentido vertical e direção de cima para baixo. Ademais, pode existir também a presença de algum controle lógico de funcionamento, representado por

uma seta com o mesmo sentido, mas com direção contrária. Os demais elementos servem para representar como será o fluxo da entidade no sistema.

Para tornar o modelo conceitual mais representativo, há a etapa de coleta e representação dos dados reais, pois como a simulação tem um caráter de execução da realidade, é necessário que esses sejam o mais fiel possível. Caso os dados possuam baixo grau de variabilidade, pequeno o suficiente para ser descartado, é utilizada a sua média. Porém, quando essa variabilidade possui um impacto significativo no funcionamento do sistema, é necessário utilizar algum método de representação [82]. Geralmente, há três formas de se modelar esses dados de entrada: (1) simulação rastreada, em que os dados reais são utilizados *ipsis litteris* como foram coletados; (2) modelar empiricamente, em que os valores são obtidos aleatoriamente a partir dos dados coletados; ou (3) modelagem teórica, que utiliza alguma distribuição teórica estatística presente na literatura, como normal, exponencial, dentre outras.

A verificação e a validação servem para determinar se o modelo está “correto” em relação ao seu uso específico ou propósito [83]. Formalmente, a verificação garante que o modelo do programa computacional está correto, enquanto que a validação garante que o modelo produz um grau de precisão satisfatório. Não necessariamente a validação é feita apenas com modelos computacionais, como o caso da verificação. A validação do modelo conceitual, presente na Figura 12, busca determinar (1) se as teorias e suposições estão corretas e (2) se a representação do modelo do problema e a estrutura, a lógica e a relação matemática e causal são “razoáveis” para o seu propósito. As técnicas primárias utilizadas são as avaliações face-a-face, quando alguém com conhecimento mais apropriado do sistema confirma, ou não, se o modelo é válido e a rastreabilidade, quando é verificado todo o caminho que a(s) entidade(s) percorre em todo o modelo para verificar se a lógica é correta.

A segunda fase do método proposto por Montevechi *et al.* [80] é a implementação computacional. Nela, as informações coletadas na fase de concepção são utilizadas para a construção do modelo computacional. De maneira geral, o software de simulação colocará o modelo conceitual elaborado na fase anterior para funcionar e simular o ambiente experimental, tal e qual o sistema real. O desafio é encontrar uma linguagem ou software comercial que leve em consideração os requisitos encontrados na fase de conceituação [84].

A primeira decisão é a escolha entre uma linguagem de programação ou um software de simulação comercial. Dentre essas duas, a linguagem de programação apresenta algumas características: elas geralmente são mais rápidas na execução, porém, mais difíceis de serem tratadas devido ao seu ambiente ser menos amigável, com muitos códigos e textos e

baixa atratividade visual. Elas ainda apresentam uma subdivisão: há as linguagens de uso geral, que não são utilizadas especificamente para a simulação, mas para desenvolver programas de computadores em geral, como por exemplo as linguagens C, C++, Java e Python. Geralmente nessas linguagens de programação de uso geral há bibliotecas, ou códigos feitos anteriormente por terceiros e disponibilizados livremente, que auxiliam no desenvolvimento de simulação. O outro grupo são as linguagens voltadas propriamente para a simulação, como GPSS/H, SIMAN e SLAM. Nelas os comandos nativos já são voltados à simulação.

A outra forma de desenvolver o modelo computacional é através do uso de softwares comerciais. Sua principal vantagem frente às linguagens reside no fato de que eles apresentam forte apelo visual, através de uma interface gráfica do usuário (*Graphical User Interface* – GUI) [2]. Essa característica permite que os usuários, mesmo com pouca familiaridade, desenvolvam mais rapidamente os primeiros modelos computacionais, em relação às linguagens de simulação. Em sua essência, os softwares comerciais de simulação utilizam uma linguagem de simulação, seja ela de uso geral ou específico para simulação, em uma unidade denominada motor, ou *engine* da simulação. Ele cria uma camada entre o usuário e esse motor.

A verificação do modelo computacional garante que a programação computacional e implementação do modelo conceitual está correta [85]. Basicamente, é garantido que a simulação não apresenta erros em sua execução. Os softwares comerciais já apresentam ferramentas que auxiliam essa atividade, principalmente com rastreadores que buscam e apresentam sugestões de melhorias para o modelador. Já a validação operacional verifica se o modelo computacional apresenta resultados pertinentes aqueles encontrados no sistema real.

A terceira e última fase do método proposto por Montevechi *et al.* [80] é a análise. Como o propósito geral de uma simulação é melhorar o sistema que está sendo simulado, essa fase representa o momento em que o modelador pode testar as melhorias [2]. Algumas ferramentas auxiliam nessa etapa, em que as alterações sugeridas são simuladas e comparadas para verificar a eficácia da melhora. Dentre elas, há a otimização via simulação [86], o delineamento de experimentos [87], etc.

Tradicionalmente, as abordagens que são utilizadas na simulação a eventos discretos estão intimamente ligadas à programação procedural. Nos últimos anos, principalmente a partir da década de 1990, os computadores aumentaram seu poder de processamento, o que possibilitou aos cientistas utilizarem os mesmos para modelar sistemas

com interações entre os elementos [88]. Em alguns sistemas de SED, essa possibilidade faz com que haja uma atenção maior em alguns elementos [89]. Uma das possibilidades recentes é a utilização da Simulação Baseada em Agentes (SBA). Essa mudança ocorre principalmente nas entidades e nos recursos, posto que permite que eles possam ser representados com um maior grau de fidelidade à realidade.

2.7. Simulação Baseada em Agentes

Segundo Macal e North [90], a SBA é uma ferramenta relativamente nova, utilizada para modelar sistemas complexos. O seu aparecimento se deu a partir do interesse em emular o comportamento social de elementos fundamentais de sistemas reais, denominados de agentes autônomos e interativos e, a partir da interação entre eles, a nível micro na simulação, gerar consequências no todo [89–92]. Essa simulação tem alguns propósitos, entre eles a predição de consequências, realizar alguma atividade específica ou descobrir e testar novas teorias sociais [93]. Ela pertence ao ramo computacional da Inteligência Artificial (IA) e a sua atuação extrapola os limites tradicionais da matemática e envolve a psicologia, a sociologia, a cognição, a biologia, a economia, dentre outras [94].

Russell e Norvig [94] definem agente como "[...] algo que pode perceber o ambiente através de sensores e operando nele através de atuadores [...]". Para os autores, um ser humano é um agente, pois ele possui olhos, ouvidos e outros órgãos como sensores e mãos, pernas, boca e outras partes do corpo como atuadores. Porém, agentes podem também representar outros elementos, além do humano. Para a propósito de modelagem de sistemas reais, os agentes precisam ter algumas propriedades e atributos:

- Modularidade – Todo agente é identificável unicamente com um conjunto de atributos, comportamentos e/ou capacidade decisória;
- Autonomia – O funcionamento do agente é independente do restante dos demais elementos, outros agentes e o ambiente no qual ele está imerso;
- Sociabilidade – Agentes trocam informações entre si e com o ambiente, através de protocolos de comunicações e comportamento;
- Condicionalidade – O estado de um agente varia conforme o tempo.

Tornou-se possível modelar computacionalmente essas características de agentes devido ao avanço da capacidade computacional, seja em relação ao software ou em relação ao hardware. Isso possibilita velocidades cada vez maiores com custos cada vez menores, enquanto que aquele está avançando nos métodos e linguagens de programação, com especial

atenção às linguagens orientadas a objetos. Uma forma geral de se demonstrar como funciona o comportamento de um agente é apresentada na Figura 13.

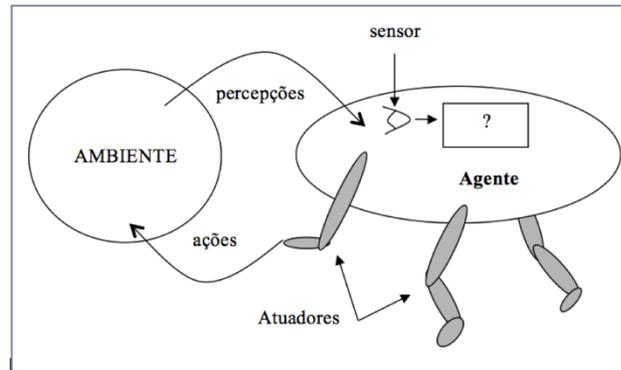


Figura 13 – Interação de um agente através de sensores e atuadores

Fonte: Russell e Norvig [94]

Na Figura 13, observa-se que os agentes recebem estímulos do ambiente através de sensores e retorna ações através de atuadores [95]. Todas essas informações acompanham o comportamento amplo da definição de agente. Inicialmente o sensor captura estímulos do ambiente no qual está inserido. Esses estímulos podem ser físicos, como por exemplo iluminação, força, vibração, temperatura, dentre outros; ele pode também representar estímulos abstratos, como a situação atual de um sistema, no que diz respeito a alguma medida de desempenho do mesmo, como número de máquinas quebradas, pacientes em fila, quantos dias faltam para o lote de um determinado medicamento perecer, dentre outros. Em resumo, o sensor irá capturar sinais externos ao agente, que são consequências de ações que não foram tomadas por ele, e que lhe sirva como embasamento para a tomada de decisão.

A tomada de decisão é realizada utilizando alguma forma de inteligência não natural (aqui não será utilizado o termo artificial para não ir de encontro com o conceito já utilizado amplamente) que processe esse estímulo e gere um conjunto de ações a serem executadas. Por fim, essas ações são executadas pelo agente com o uso dos atuadores. Em termos de simulação computacional, esse comportamento é consideravelmente abstrato, devido a sua gama de possibilidades para cada item. Os sensores e atuadores são representações lógicas que utilizam sinais com valores que são transmitidos entre o agente e o ambiente e entre os agentes, em caso de sistemas multiagentes.

A SBA pode ser organizada em quatro categorias, de acordo com a propriedade dos agentes [3], presentes no Quadro 6 a seguir. Essa categorização tanto define a simulação inteira, quanto identifica os agentes individualmente presentes nela. A categorização da

simulação univocamente se faz pela presença de pelo menos um agente com tipo. Por exemplo, caso haja pelo menos um agente interativo, mas a imensa maioria seja de agentes autônomos e individuais, essa simulação será identificada como interativa. Caso haja o aparecimento de um agente adaptativo, a simulação será adaptativa.

Quadro 6 – Definições para SBA baseada na propriedade dos agentes

Tipo	Comportamento	Interações	Adaptabilidade
SBA individual	Prescrito	Limitadas	Não
SBA autônomo	Autônomo	Limitada	Não
SBA interativa	Autônomo	Entre outros agentes e o ambiente	Não
SBA adaptativa	Autônomo	Entre outros agentes e o ambiente	Agentes mudam o comportamento durante a simulação

Fonte: Macal [3]

O primeiro tipo de agente, o individual, é de menor complexidade. Ele é semelhante aos elementos entidade e recurso advindos da SED. Possui a capacidade de agir independentemente durante a simulação. Caso essa capacidade de agir se apresente de forma dinâmica, ou seja, suas ações não sejam meramente definidas anteriormente, o agente será considerado autônomo, a segunda categoria.

Numa situação em que há uma interação de um agente autônomo com os demais pertencentes à mesma população, este adentra na categoria de agente interativo. Por fim, há a possibilidade do agente modificar o seu comportamento conforme ele vá aprendendo, alterando, para que aconteça uma evolução à uma estrutura que aumente a possibilidade de êxito em relação ao objetivo pretendido. Então, ele será um agente adaptativo. Shoham, Powers e Grenager [96] também o definem como agente aprendiz.

Algumas diferenças entre SED e SBA suscitam discussões entre autores, inclusive gerando um artigo que resume uma mesa redonda de um *workshop* realizado pela sociedade britânica de Pesquisa Operacional em 2007, cujo tema foi como a SBA pode gerar mais benefícios [97]. O Quadro 7 apresenta o resumo da diferença entre as duas formas de simulação:

Quadro 7 – Características que definem os tipos de modelo

Modelo SED	Modelo SBA
Orientado a processo; foco se dá na modelagem do sistema como um todo.	Baseado no indivíduo; foco se dá na modelagem das entidades e a interação entre elas.
Abordagem de modelagem <i>top-down</i> .	Abordagem de modelagem <i>bottom-up</i> .
Entidades passivas e a inteligência é modelada a parte no sistema.	Entidades ativas e a inteligência é representada individualmente.
Filas são elementos-chave.	Sem conceito de filas.
Fluxo de entidade atravessando o sistema; comportamento macro é modelado.	Sem conceito de fluxo; comportamento macro emerge do comportamento dos agentes individuais
Distribuições de entrada são frequentemente baseadas em dados (objetivamente) coletados/medidos.	Distribuições de entrada são frequentemente baseadas em dados teóricos e/ou subjetivos.

Fonte: Siebers *et al.* [97]

Brailsford [98], por sua vez, apresenta alguns argumentos que contestam se realmente a SBA veio para substituir a SED, pois as aplicações que foram apresentadas podem também ser feitas utilizando a SED. O autor inclusive questiona se a SED não seria um subconjunto da SBA. Assim, conclui-se que a SBA não veio para substituir a SED, ela apresenta algumas características que a tornam mais assimilável em algumas situações, como quando há uma necessidade de modelar a tomada de decisão de elementos individualizados no sistema, mas o uso da SED não é descartável, provavelmente seja mais difícil.

A SBA tem sido utilizada em diversas áreas, como transportes [99–102], mercado consumidor [103–106], esportes [107–109], agricultura [110–113], *healthcare* [114–118] e gerenciamento da cadeia de suprimento [119–122]. Pertencente ao gerenciamento da cadeia de suprimento está a gestão de estoques, área correlata à presente pesquisa e que será detalhada a seguir.

2.7.1. Gestão de estoque utilizando simulação baseada em agentes

Analogamente ao que foi feito no tópico 2.6.1, foi feito também um mapeamento de alguns trabalhos recentes que envolvam aplicações de gestão de estoques e SBA. Os resultados estão resumidos no Quadro 8.

Quadro 8 – Trabalhos utilizando gestão de estoques e SBA

Artigo	Aplicação
Sha e Srinivasan [123]	Simulação do dimensionamento da frota de uma indústria química com produto único. Utiliza-se a SBA para modelar o mercado, o cliente, o coordenador de pedidos o armazém e a logística. A decisão é feita através de otimização matemática.
Riddle <i>et al.</i> [124]	Análise da cadeia de suprimento de dois metais críticos para a indústria energética. A gestão de estoque é feita em três pontos distintos da cadeia e seus níveis são determinados pelo movimento entre demanda e oferta.
Mortazavi, Khamseh e Azimi [7]	Uso da SBA com RL para dimensionamento de estoques multiníveis de um produto único em uma cadeia de suprimentos.
Negahban [125]	Uso combinado da SBA com a simulação de Monte-Carlo para determinar a quantidade economicamente melhor de um produto em uma aplicação do problema do jornaleiro.
Kwon, Im e Lee [126]	Desenvolvimento de um <i>framework</i> integrado baseado na colaboração multiagentes e raciocínio baseado em casos para situações de cadeia de suprimento com produto único.

Fonte: Autoria própria

Nos trabalhos pesquisados, houve o aparecimento de ferramentas integradas à SBA que permitiram que a decisão e consequente mudança ocorressem durante a simulação. Destaca-se algumas ferramentas formais de decisão analítica, como a otimização matemática [123], o aprendizado por reforço [7] e a simulação de Monte-Carlo [125]. Uma deficiência é a ausência de soluções que apresentem como tratar multiprodutos que concorrem a um único orçamento, como por exemplo a farmácia hospitalar de um hospital público no Brasil.

2.7.2. Métodos de simulação baseada em agentes

Por ter sua origem advinda da simulação orientada a objetos, muitos métodos aplicados à SBA também seguem normas adotadas por tal paradigma computacional, acompanhando o progresso da engenharia de software. Contudo, essas técnicas precisam ser adaptadas para poder representar um comportamento resolutivo, autônomo, flexível e a riqueza da interação com os demais agentes [127]. Os autores propõem um método

denominada GAIA, que foi especificamente desenvolvido para realizar a análise e projeto de sistemas baseados em agentes.

Outro método é o *Multiagent System Engineering* (MaSE), apresentada em DeLoach, Wood e Sparkman [128], que é semelhante ao que foi desenvolvido em Wooldridge, Jennings e Kinny [127]. Na MaSE, há o uso mais intenso de ferramentas gráficas de engenharia de software tradicional.

Diferentemente dos métodos apresentados em Wooldridge, Jennings e Kinny [127] e DeLoach, Wood e Sparkman [128], que são utilizados para aplicações com uso de agentes, o método apresentado por Grimm *et al.* [129] lida com a simulação de sistemas, tanto a nível individual (modelos baseados no indivíduo – MBI) quanto a nível de agentes (modelos baseados em agentes – MBA). Além disso, esse método possui forte apelo à sistemas com agentes que não sejam especificamente computacionais, até pela sua origem, de modelar sistemas ecológicos. Os autores definiram um protocolo que facilitasse a comunicação de quem deseja apresentar um detalhamento de seus sistemas, seja MBI ou MBA. Foi definido o acrônimo ODD, que representa os três blocos de agrupamento de elementos *Overview* (visão geral), *Design concepts* (conceitos de projeto) e *Details* (detalhes), estes por sua vez compostos por sete elementos, conforme o Quadro 9:

Quadro 9 – Sete elementos do protocolo ODD

Visão Geral (<i>Overview</i>)	Propósito
	Variáveis de estado e escalas
	Visão geral do processo e programação
Conceitos de projeto (<i>Design concepts</i>)	Conceitos de projeto
Detalhes (<i>Details</i>)	Inicialização
	Entradas
	Submodelos

Fonte: Grimm *et al.* [129]

A lógica por trás da sequência do ODD é: contextualização e informações gerais são inicialmente fornecidas (visão geral), seguido de considerações mais estratégicas (conceitos de projeto) e finalmente detalhes mais técnicos (detalhes).

2.8. Simulação híbrida

O uso combinado de duas ou mais simulações caracteriza a simulação híbrida [130]. Sob um olhar mais detalhado, dificilmente uma simulação é “pura”, pois mesmo em uma SED clássica, estarão presentes elementos de simulação contínua, simulação de Monte-Carlo ou simulação baseada em agentes. Para Martinez-moyano e Macal [131], essa combinação tem o potencial de produzir melhor entendimento em sistemas complexos. Esse fato acontece porque comportamentos diferentes do sistema real são tratados com ferramentas diferentes, que se comunicam entre si.

Para que um projeto de simulação seja considerado híbrido, é necessário que haja uma definição explícita de como cada modalidade irá atuar. Tem que haver uma sinergia definida entre as limitações e vantagens de cada uma. Um dos primeiros trabalhos a utilizar formalmente essa definição foi Fahrland [132]. O autor combinou as simulações contínuas e a de eventos discretos na fase de modelagem, comparando as linguagens de programação específicas para simulação presentes à época e como poderia haver comunicação entre elas a fim de realizar uma simulação mais realista.

2.8.1. Estudo de simulação híbrida

Em Djanatliev e German [133] foi desenvolvido um método, ao nível macro, que auxilia a utilização da simulação híbrida. Os autores relatam que, em particular a simulação a eventos discretos, os sistemas dinâmicos e a simulação baseada em agentes são técnicas com potencial de serem tratados pelo método. Na Figura 14 pode-se observar esquematicamente como funciona esse método que é composto por três passos.

2.8.1.1. Identificação dos níveis de abstração

Identifica as áreas de problemas diferentes em relação ao sistema real, antes de planejar o tipo de simulação a ser utilizada. Partes dentro de um mesmo sistema podem demandar abordagens diferentes. Por exemplo, num sistema bancário a fila de atendimento e a decisão diária de quantos atendentes disponibilizar. Essa divisão pode ser realizada considerando as áreas distintas das fases de intervenção (por exemplo, pedido, recebimento, aviamento, entrega) ou por níveis de abstração (macro, meso, micro), sendo essa última mais

utilizada. Esse nível de abstração está representado na Figura 14 pelos níveis ou subclasses A, B e C.

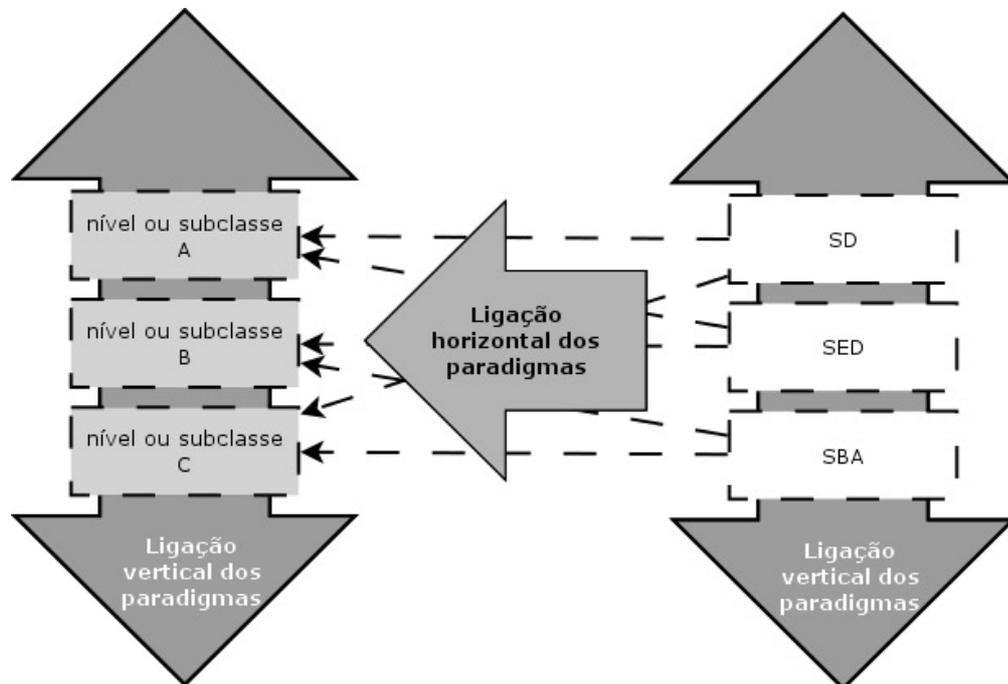


Figura 14 – Método da simulação híbrida

Fonte: Adaptado de Djanatliev e German [133]

2.8.1.2. Aspectos gerais da ligação horizontal dos tipos de simulação

Aqui a principal atividade é determinar qual o tipo de simulação é mais indicado para cada área do sistema dividido na etapa anterior. Geralmente o nível macro é representado por sistemas dinâmicos, o nível meso por SED e o nível micro por SBA. Para o exemplo bancário anteriormente explicitado, a fila pode ser modelada utilizando a simulação a eventos discretos, enquanto que a decisão do número de atendentes disponíveis pode ser representada com a simulação baseada em agentes. Esses aspectos estão representados na Figura 14 pelos três tipos básicos de simulação, a saber: SD, SED e SBA.

É importante observar que, ao escolher o paradigma, os autores não formalizam nenhum método. Assim, é recomendável que sejam utilizadas técnicas tradicionais para tal, pertencente aos tipos de simulações que foram elencadas.

2.8.1.3. Aspectos gerais da ligação vertical dos tipos de simulação

Nessa terceira etapa são definidas as interações e troca de dados entre os tipos de simulação escolhidos. É necessário aqui que haja uma identificação clara de como será feita essa permuta. Identifica-se o momento. Está representada na Figura 14 pela seta com orientação vertical e sentido da esquerda para a direita e que liga os tipos de simulação com os níveis ou subclasses. Essa ligação vertical é importante na simulação híbrida, pois ela identifica como e quando as ligações farão trocas de informações para aprimorar suas potencialidades.

3. MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa deve ser classificado e identificado para servir de orientação ao pesquisador. Dessa forma, um trabalho bem classificado potencializa os resultados obtidos, tornando-o menos subjetivo e mais cientificamente claro. Para tanto, nos próximos tópicos são descritos a classificação dessa pesquisa e os passos para o desenvolvimento do método utilizado.

3.1. Classificação da pesquisa

Para Miguel *et al.* [134], a pesquisa científica deve ser classificada de acordo com a sua natureza, seus objetivos, sua abordagem e o método ou estratégia utilizada. Quanto à natureza, esta pesquisa é considerada aplicada, pois representa a busca de uma solução para um problema real, que é a compra de medicamentos em uma farmácia hospitalar, tendo como objetivo procurar alternativas que visem uma política que utilize os recursos da melhor maneira possível. Em relação aos objetivos, preocupa-se em analisar modelos quantitativos, com fins de modelar e entender o processo de compras e desenvolver políticas que produzam os melhores resultados da farmácia hospitalar tratando-se, assim, segundo Bertrand e Fransoo [135] de uma pesquisa normativa.

Na abordagem do problema, por serem as variáveis de entrada e de saída da simulação representadas de forma mensurável em dimensões pré-definidas, a pesquisa é classificada como quantitativa. Por fim, o método ou estratégia empregado segue a modelagem e simulação, utilizando um ambiente simulado computacional para realizar representações da realidade em busca do objetivo pretendido, sem intervir na realidade para experimentar mudanças em seus parâmetros [135]. A Figura 15 situa a presente pesquisa dentro das quatro classificações.

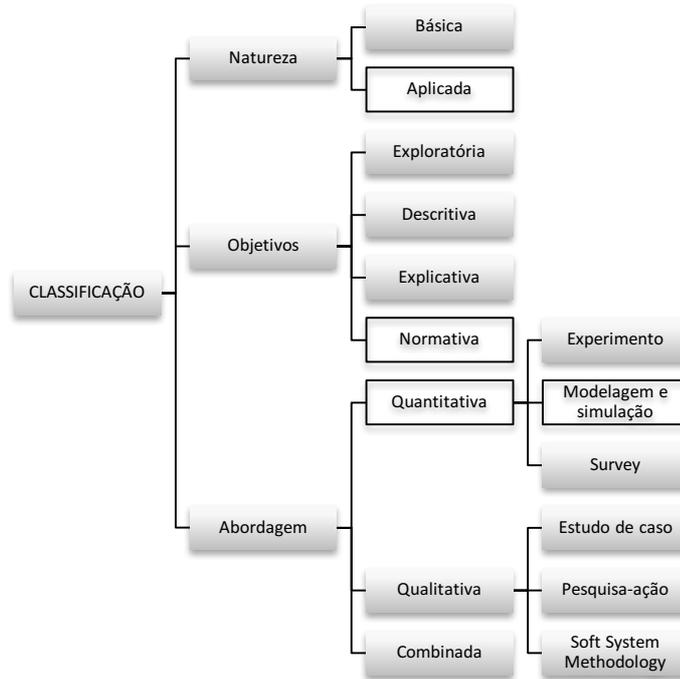


Figura 15 – Classificação da pesquisa

Fonte: Adaptado de Miguel *et al.* [134]

3.2. Procedimentos

Para a realização desta pesquisa foi utilizada como referência a simulação híbrida, envolvendo SED e SBA, proposta por Djanatliev e German [133]. Há quatro etapas, com suas respectivas atividades ordenadas pelo número entre parênteses sendo, então, apresentados na Figura 16.

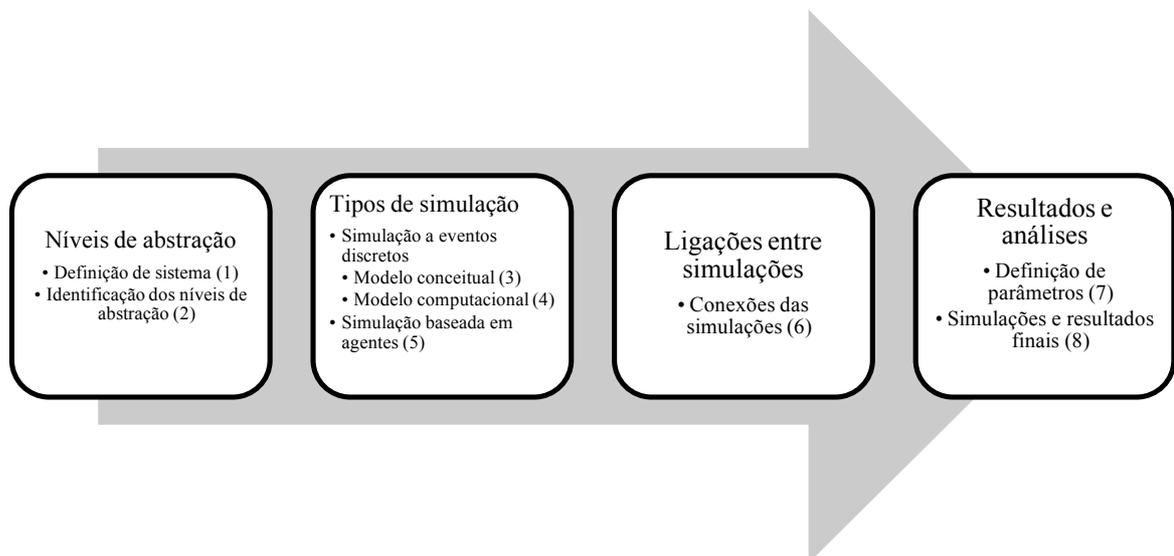


Figura 16 – Etapas da pesquisa

Fonte: Autoria própria

Na primeira etapa, denominada níveis de abstração, serão realizadas as seguintes atividades: definição de sistema (1) e identificação dos níveis de abstração (2). Na definição de sistema, as características do sistema real serão determinadas. Já na atividade identificação dos níveis de abstração, será especificado qual tipo de simulação é mais adequada para cada nível de abstração, ou seja, como o ambiente estudado pode ser dividido de tal forma que cada parte seja modelada por um tipo de simulação diferente.

As simulações selecionadas para esse estudo foram a SED e a SBA. Assim, alcançada a primeira etapa, a próxima trata as definições detalhadas de como as simulações atendem as divisões feitas na atividade identificação dos níveis de abstração (2). As duas primeiras atividades dessa etapa, modelo conceitual (3) e modelo computacional (4), por terem características de processos rotineiros, versarão sobre as definições da SED. Elas ocorreram seguindo as fases iniciais propostas por Montevechi *et al.* [80], concepção e implementação. Para apresentar características de processo decisório, as duas atividades seguintes serão utilizadas via SBA para modelar os agentes (5). O método utilizado para modelar as atividades de agentes foi uma adaptação da proposta por Grimm *et al.* [129], devido à natureza dos agentes e de alguns requisitos que os autores sugerem que sejam obtidos já estarem presentes em outros lugares ou nem serem necessários. Especificamente, os requisitos que serão atendidos são o propósito e visão geral do processo e a programação.

A próxima etapa irá lidar com as comunicações entre as simulações na atividade conexões das simulações (6), identificando em que lugares e momentos em suas lógicas isso irá ocorrer. Por fim, na etapa de resultados e análises há as atividades: definição de parâmetros (7) e simulações e resultados finais (8). As três primeiras etapas serão detalhadas no capítulo a seguir, enquanto que a última será detalhada no capítulo 5.

4. CONDUÇÃO DA PESQUISA

Neste capítulo serão apresentados como os passos do método indicado no item 3.2 serão aplicados no contexto na farmácia hospitalar que serve como base para o estudo. A ordem de apresentação dos tópicos segue a ordem apresentada na Figura 16.

4.1. Níveis de abstração

4.1.1. Descrição do objeto de estudo

O objeto em estudo é uma farmácia hospitalar de um hospital público de grande porte, com mais de 200 leitos e vinculado a uma universidade federal. Na farmácia em questão, são dispensados aproximadamente 150 tipos de medicamentos. No entanto, esse número sofre variabilidade, pois geralmente ocorrem mudanças no fornecimento, flutuações na demanda, dentre outros.

4.1.2. Identificação dos níveis de abstração

Com o auxílio da equipe gestora da farmácia, foram identificados quatro níveis de abstração que terão influência nos objetivos deste trabalho. A primeira abstração é o atendimento rotineiro e diário das solicitações internas de medicamentos; a segunda é a política de decisão de compra de medicamentos; a terceira representa o vencimento dos medicamentos e a quarta o seu consumo. Essas abstrações estão representadas nos processos “atendimento da farmácia hospitalar” e “funcionamento do medicamento” e estão identificados nas Figuras 17 e 18. Outras abstrações presentes em outros processos, como: política de armazenamento, alocação de recursos e outros, não foram considerados por não interferirem no objetivo da pesquisa.

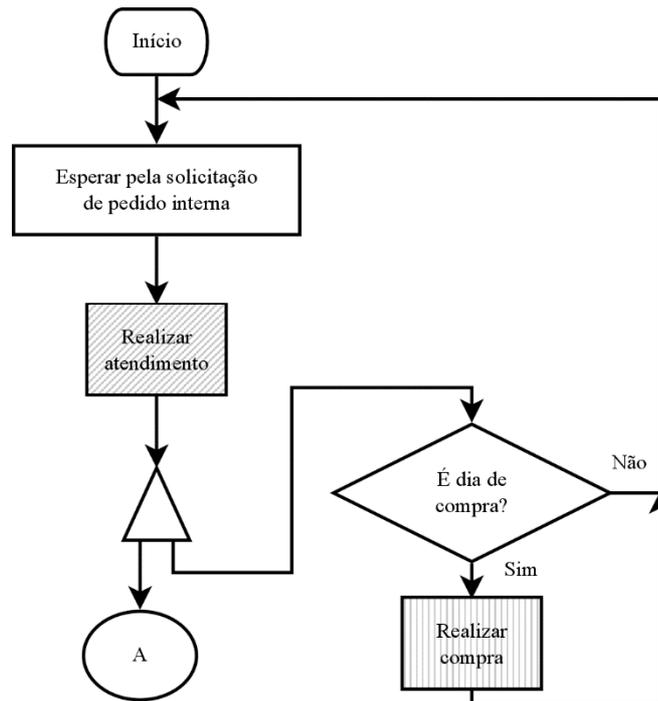


Figura 17 – Fluxo de atendimento da farmácia hospitalar

Fonte: Autoria própria

No primeiro processo, detalhado na Figura 17, ocorre o atendimento da farmácia às solicitações diárias internas e o processo de solicitação de novos medicamentos. No atendimento da farmácia, o farmacêutico e sua equipe, (a partir daqui representados simbolicamente apenas pelo farmacêutico), verifica se a demanda de cada medicamento solicitado possui correspondente em estoque (preenchido pelo padrão de linhas em diagonal). Aqui aparece a primeira abstração, para ser realizada via SED. Após a realização desse atendimento, o fluxo segue dois caminhos paralelos, através do símbolo do triângulo. Um deles pelo símbolo “A”, que segue para a abstração seguinte, e o outro até a solicitação de novos medicamentos (preenchida pelo padrão de linhas verticais), em que o farmacêutico realiza a solicitação das quantidades de medicamentos. Este farmacêutico possui uma restrição orçamentária, onde é necessário que o valor total do pedido a ser feito caiba dentro de um orçamento pré-definido. E aqui aparece a segunda abstração, que será atendida via SBA.

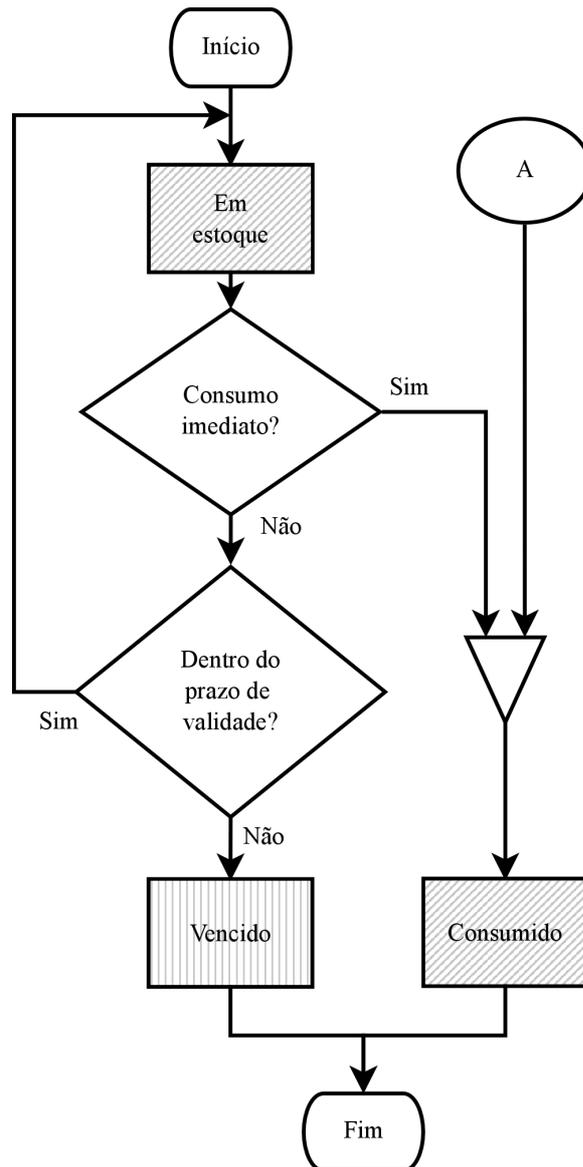


Figura 18 – Fluxo de funcionamento do medicamento

Fonte: Autoria própria

Já no segundo processo, de funcionamento do medicamento, observa-se em qual momento o medicamento irá expirar (identificado pelo padrão de linhas verticais) e, por representar uma decisão independente, será uma abstração realizada via SBA, e em qual momento será consumido, (identificado pelo padrão de linhas em diagonal) relacionado à SED com uma ligação de requisito, por meio do símbolo do triângulo invertido, com a abstração “realizar atendimento”, supracitado. Ou seja, para que o medicamento seja consumido é necessário que ele esteja em estoque e que receba o aviso da SED.

4.2. Tipos de simulação

4.2.1. Simulação discreta – Modelo conceitual

Na Figura 19 será descrito o fluxo de atendimento de solicitação de pedido interno por intermédio da ferramenta IDEF-SIM, como visto na Figura 17. Essa opção se justifica pelo comportamento rotineiro do sistema, sem a necessidade da modelagem de comportamentos que envolvam decisão ou mudanças radicais, ou quase, de seus elementos. Convém ressaltar que no IDEF-SIM da Figura 19 também é observável a abstração “Consumido” do processo de funcionamento do medicamento, como visto na Figura 18.

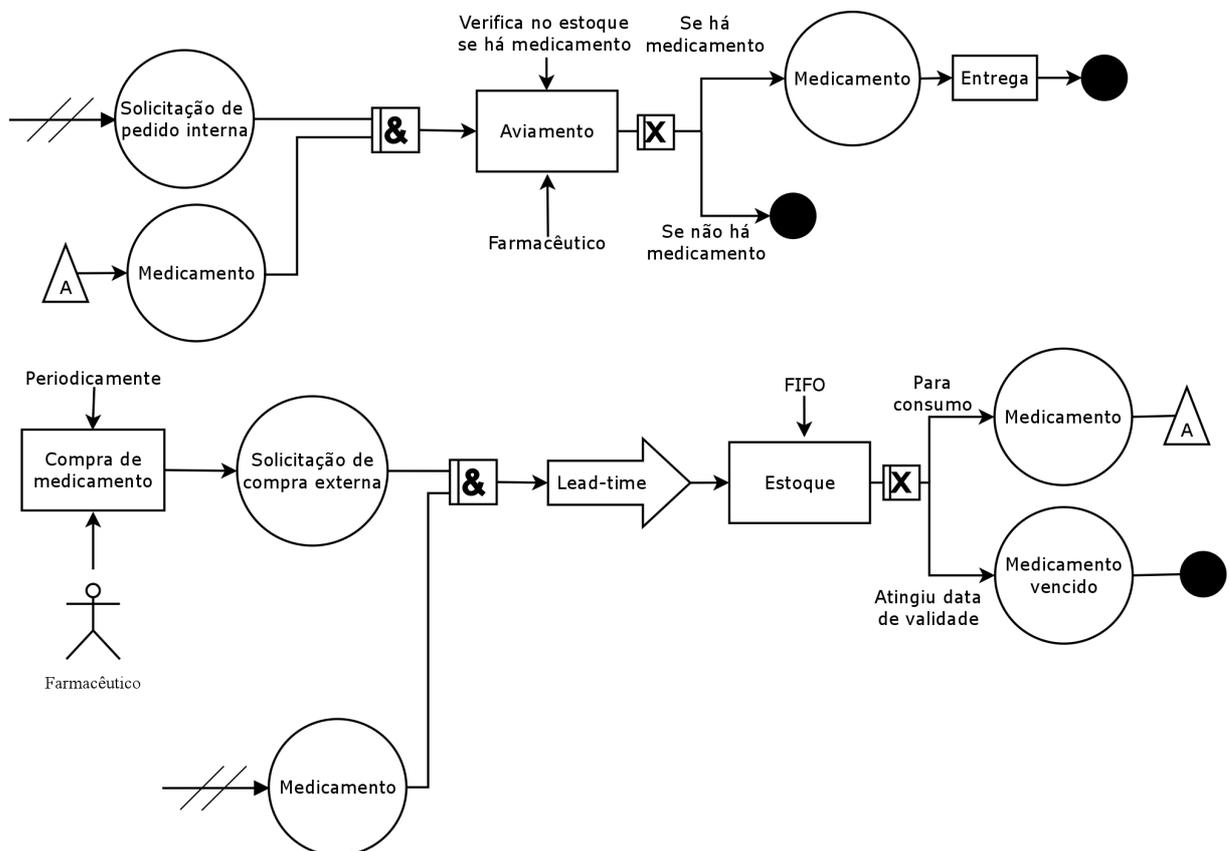


Figura 19 – IDEF-SIM do fluxo de atendimento

Fonte: Autoria própria

O processo tem início na chegada de uma entidade denominada “Solicitação de pedido interna”. Nela, estão presentes as quantidades individuais de cada medicamento que precisam ser atendidas internamente. Essa entidade, juntamente com a entidade “Medicamento”, vindo do estoque, serve como entrada à tarefa aviamento, que verifica se há

medicamento em estoque, faz a tradução da receita médica em quantidades de medicamentos e finalmente a distribuição. Para a demanda não atendida, devido à falta de medicamento em estoque, faz-se um registro para posterior cálculo da punição.

Na metade inferior da Figura 19, foi modelada a entrada de medicamentos externo à farmácia, resultado do processo de compra de medicamentos, que é uma saída da SBA. Assim, após feito o pedido com as quantidades desejadas, aguarda-se um tempo variável para a entrega dos mesmos e entrada no estoque da farmácia hospitalar. Quando o medicamento está no estoque, só há duas formas da saída do mesmo. Ou ele é requerido pela solicitação de pedido interna, explicado anteriormente, ou ele atinge o prazo de validade, representado pela abstração “Vencido”, da Figura 18, sendo então descartado fisicamente. Também são realizados os registros desses valores de medicamentos expirados.

A validação do modelo conceitual foi feita através do método face-a-face com a aprovação da responsável pela farmácia.

4.2.2. Simulação discreta – Modelo computacional

O modelo computacional foi desenvolvido no software AnyLogic®. Este software é atualmente o único software de simulação comercial que realiza simulação híbrida [133]. Além de realizar simulações envolvendo simulação a eventos discretos e simulação baseada em agentes, lida também com a simulação dinâmica. A verificação do modelo computacional se faz no próprio software. Por fim, a validação do modelo operacional se faz através da confrontação de resultados obtidos na simulação com dados reais do ano de 2016, que não serão incluídos na modelagem dos dados de entrada e apresentados no próximo capítulo. A Figura 20 apresenta o modelo implementado no ambiente computacional.

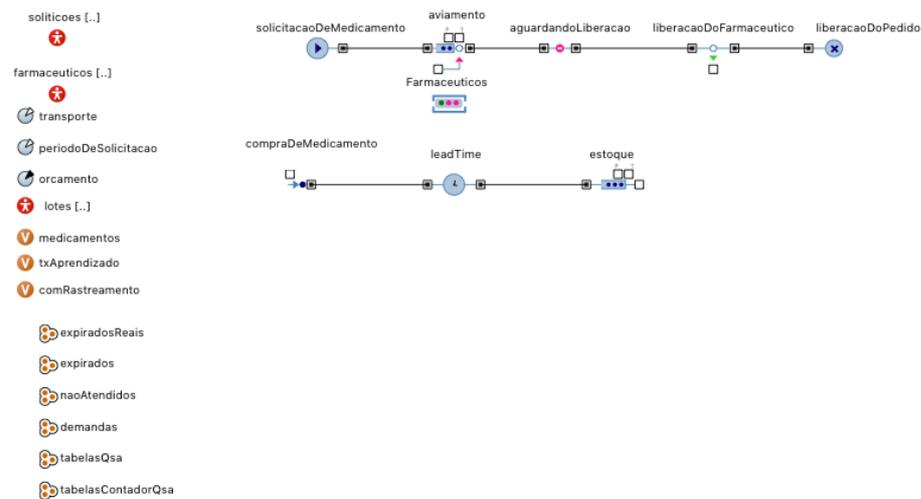


Figura 20 – Ambiente computacional da simulação a eventos discretos

Fonte: Autoria própria

4.2.3. Simulação baseada em agentes – Agente farmacêutico

No método utilizado para modelar as atividades de agentes serão utilizadas as etapas propósito e visão geral do processo e programação, oriundas da que foi proposta por Grimm *et al.* [129]. Como foi observado, duas abstrações serão representadas pela SBA, apresentando dois agentes: Farmacêutico e Medicamento. O agente farmacêutico é caracterizado como adaptativo, pois as suas decisões vão se adaptando conforme as mudanças da realidade ocorrem, conforme Macal [94], resumido no Quadro 6. Ele será detalhado a seguir.

Propósito – Representar a tomada de decisão do farmacêutico de quantos medicamentos comprar por cada período. Outro propósito que o agente farmacêutico realiza é o aviamento, mas ele já está definido no item 4.2.1.

Visão geral do processo e programação – O processo de tomada de decisão sequencial do Agente Farmacêutico vai ser realizado via RL que é representado por uma quintupla $\{T, S, A, R, P\}$ da seguinte forma:

- T : Conjunto de números inteiros positivos $\{1, 2, 3, \dots\}$ contendo os momentos de decisões, especificamente a cada 30 dias;
- S : Conjunto dos estados possíveis $\{s_1, s_2, s_3, \dots, s_i\}$ do sistema no momento da decisão, representado pelo número de medicamentos (i) em estoque no momento da decisão e codificado conforme seção 2.4.1.

- A : Conjunto de ações $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_i\}$ que foram realizadas para cada medicamento (i) no momento da decisão;
- R : $S \times A \mapsto \mathbb{R}$: Função da punição obtida a partir da escolha da ação a_i estando no estado s_i do medicamento i no momento de decisão t . Seu cálculo é obtido através da equação (4);
- P : Função que define as probabilidades de transição. Como foi escolhida a simulação para representar o comportamento dinâmico do sistema, esse item é desprezado.

Na Figura 21 é descrito o processo de solicitação de compra externa periódica, que é a primeira abstração, apresentada na Figura 17.

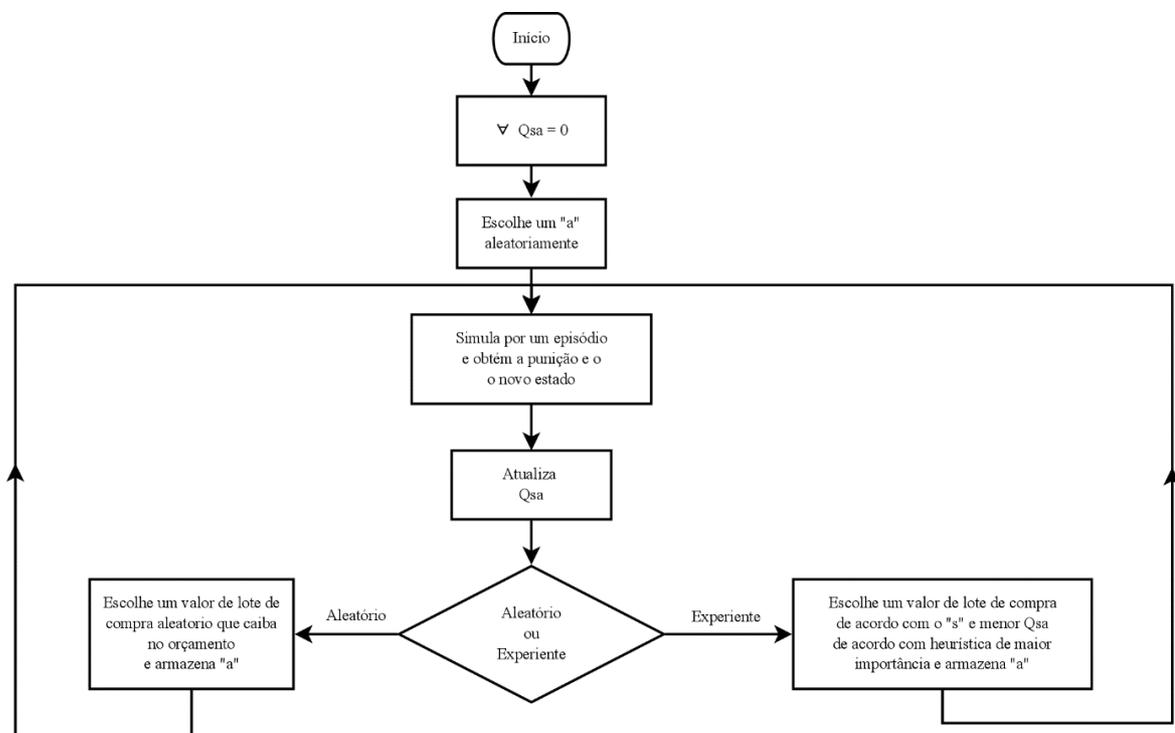


Figura 21 – Decisão de compra externa periódica

Fonte: Autoria própria

O processo é iniciado com a atribuição de valor zero para todas as variáveis Qsa 's e escolha aleatória de uma ação de tamanho de lote para compra inicial e que o seu valor total seja menor que o orçamento disponível. Posteriormente, é escolhido se o farmacêutico irá tomar uma decisão do tipo aleatório ou do tipo experiente, em cada momento de decisão. Para isso, foi definido um valor inicial de 0,1 para a variável ϵ . É feito um teste lógico de comparação dela com um valor obtido aleatoriamente de uma função Uniforme entre 0 e 1 e, caso esse resultado seja maior, é utilizada a opção aleatória, do contrário a opção experiente.

Na opção aleatória, o tamanho do lote de compra de cada medicamento é escolhido sem uma regra pré-definida, logo, esse tamanho é aleatoriamente escolhido e a soma de seus valores devem ser menores que o orçamento disponibilizado. Caso essa restrição não seja atendida, são feitas novas escolhas até ser satisfeita. Na outra opção de compra, a experiente, a escolha do tamanho de lote de compra é feita através do menor valor Q_{sa} , sendo observado seu estado. Caso a soma dos valores dos lotes excedam o valor de orçamento disponibilizado, é utilizada a heurística gulosa, denominada heurística de maior importância.

A heurística funciona observando os valores de importância que são atribuídos a cada medicamento pelo farmacêutico e sua equipe, conforme expressões (2) – (3).

$$O_r \leftarrow O_r - (q \times c) \quad (2)$$

Sujeito a:

$$O_r > (q \times c) \quad (3)$$

O seu funcionamento é observado na Figura 22. Nessa heurística, foi utilizada uma variável denominada “orçamento restante”, que recebe no começo o mesmo valor que o orçamento disponível. Desse montante, o medicamento com maior importância tem o seu pedido atendido de acordo com esse valor de orçamento restante. Então, ele é atualizado pela diferença entre o seu valor anterior e o valor do pedido do medicamento de maior importância, conforme (2). Este pedido não pode ultrapassar o valor desse orçamento restante, conforme (3). Caso essa verificação não seja atendida, escolhe-se o pedido correspondente ao valor Q_{sa} imediatamente superior, até que seja atendido.

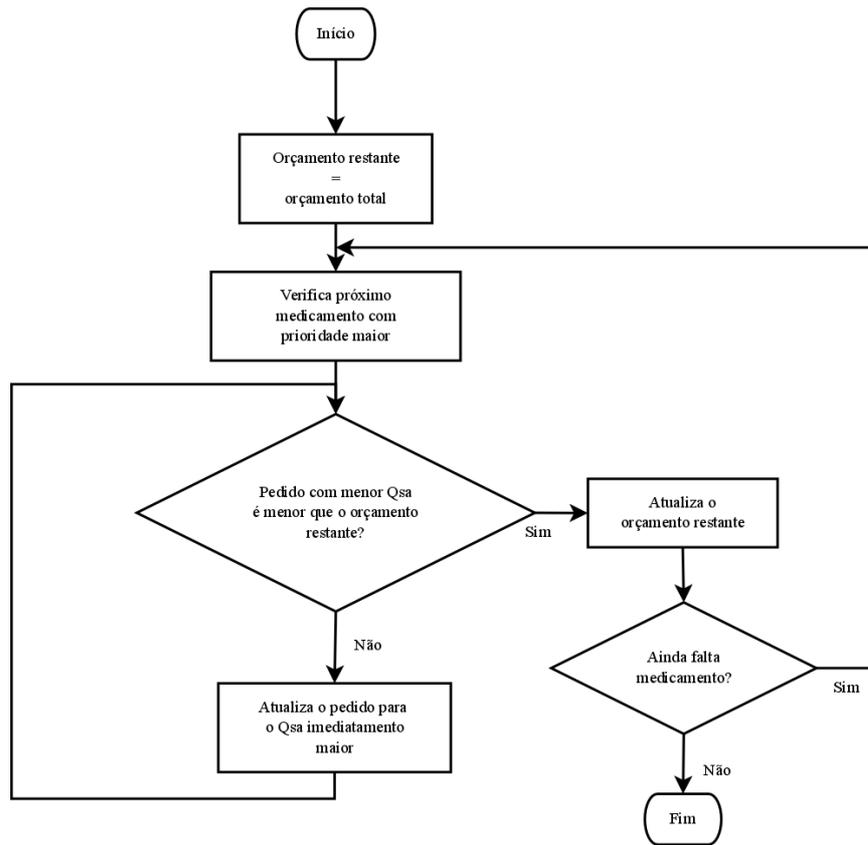


Figura 22 – Heurística de maior importância

Fonte: Autoria própria

Em que:

- O_r é o orçamento restante;
- q é a quantidade a ser comprada;
- c é o custo unitário do medicamento.

Posteriormente, é verificado o próximo medicamento com importância imediatamente inferior, até que não tenha mais medicamentos ou orçamento disponível. Do contrário, o mesmo procedimento de adequação feito no medicamento anterior é repetido.

Adiante, um período de 30 dias é simulado e os novos valores de punição e estado são obtidos. Por fim, o valor de Qsa , observando o estado e as quantidades de medicamentos comprados, é calculado. Dessa forma, o processo iterativo é realizado, com o agente Farmacêutico aprendendo com as ações e as punições obtidas da simulação. Para o cálculo da punição, como os medicamentos apresentam características diferentes, como demanda e custo, optou-se por levar em consideração os valores proporcionais de cada dimensão que são: falta de medicamento e expiração.

Assim, a fórmula que calcula a punição (R_i) pode-se utilizar a equação (4):

$$R_i = w_1 \frac{Q_{ni}}{D_{ni}} + w_2 \frac{Q_{epi}}{E_{li}} \quad (4)$$

Em que:

- i é o índice do medicamento;
- Q_{ni} é a quantidade de medicamentos i não entregues;
- Q_{epi} é a quantidade proporcional teórica de medicamento i expirados;
- D_{ni} é a demanda do medicamento i para o período;
- w_1 e w_2 são os pesos para cada dimensão;
- E_{li} é o estoque líquido do medicamento i .

Os valores de w_1 e w_2 correspondem respectivamente aos pesos subjetivos às dimensões falta de medicamento e expiração dos medicamentos. Quanto maior forem esses valores de w_1 e w_2 , maior será o impacto dessa dimensão na punição. A soma de seus valores tem que ser 1, conforme (5):

$$w_1 + w_2 = 1 \quad (5)$$

A dimensão falta de medicamento é mais fácil de ser obtida, pois é um valor proporcional referente ao não atendimento em relação à demanda do período. Já a dimensão expiração de medicamento demanda mais atenção. O motivo principal é que, geralmente, o prazo de validade, quando o medicamento adentra o estoque da farmácia hospitalar, é maior que o intervalo entre compras. Por exemplo, se o medicamento for comprado semanalmente e o seu prazo de validade for de um ano, a punição, ou quantidade de medicamentos que venceram, só estará presente no cálculo da punição da ação do mês que ocorrer o fato, bem posterior ao mês que foi feita a compra. Por isso, decidiu-se utilizar o conceito de expiração proporcional, ilustrado na Figura 23.

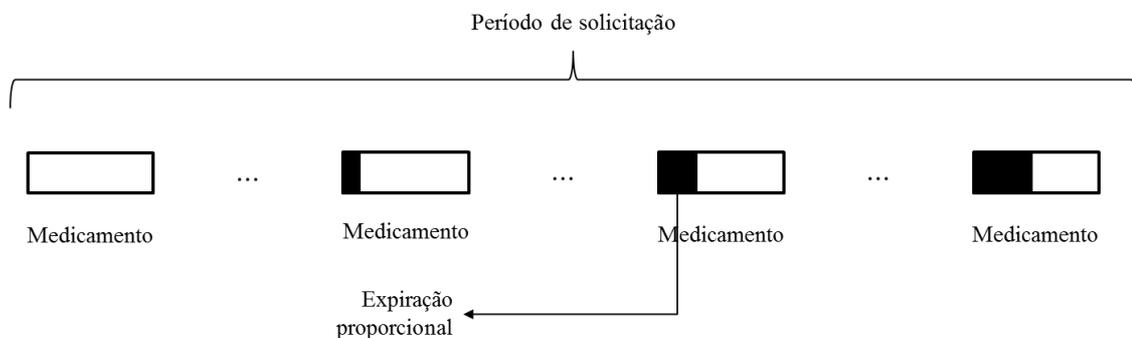


Figura 23 – Expiração proporcional do medicamento

Fonte: Autoria própria

A lógica por trás desse conceito é a mensuração não apenas de quanto o medicamento atinge o prazo final de validade, ou 100% dele, mas também entrará no cálculo a quantidade proporcional teórica, já que o medicamento ainda estará disponível para uso, de quanto o medicamento expirou no período entre compras, uma variação de expiração. Assim, se um medicamento tem prazo de validade de 100 dias e, no momento inicial do período entre compras, considerando-o como 30 dias, já tiverem passados 30 dias desde a chegada no estoque, ao final desse período terão se passado 60 dias, logo, sua expiração proporcional ficou em 30/100, 0,3 ou 30% expirado naquele período, especificamente.

Em outras palavras, a expiração proporcional é calculada observando quantos medicamentos de cada lote estão presentes no começo e no fim do período e quantos dias se passaram desde o começo do período até o momento do cálculo. Foi utilizada a equação (6) para calcular o valor global de expiração para cada medicamento. Esse é o valor da quantidade proporcional de medicamentos expirados, presentes na equação (4).

$$Q_{ep} = \sum_{lotes} E_p * Q_l \quad (6)$$

Em que:

E_p é o valor correspondente a quanto um lote expirou proporcionalmente entre a data do início do prazo de solicitação e a data atual;

- Q_l é a quantidade de medicamentos em estoque em cada lote.

Assim, a dimensão da punição expiração será ligada diretamente à proporcionalidade da expiração dos medicamentos que não foram consumidos e que ainda estão em estoque, em relação às suas parcelas que estavam em estoque no começo do período de solicitação. Essas parcelas são calculadas de acordo com (7):

$$E_l = \overline{Q_{ep_0}} + P_0 \quad (7)$$

Em que:

- $\overline{Q_{ep_0}}$ é o complemento de expiração do estoque no momento da solicitação;
- P_0 é a quantidade solicitada para o medicamento.

Por fim, o complemento da expiração do estoque em todos os lotes é obtido por meio de (8):

$$\overline{Q_{ep_0}} = \sum_{lotes} Q_0 * (1 - E_{p_0}) \quad (8)$$

Em que:

- Q_0 é a quantidade em estoque no momento da solicitação;
- E_{p0} é o valor correspondente a quanto um lote expirou proporcionalmente igual ao fim do período de solicitação anterior.

A Figura 24 apresenta a tela do programa AnyLogic® com o ambiente computacional do agente Farmacêutico implementado.

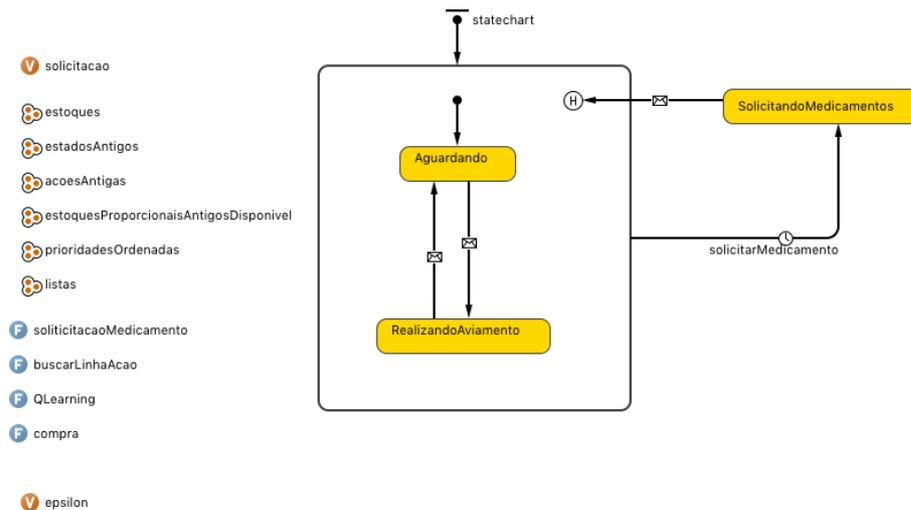


Figura 24 – Ambiente computacional do agente Farmacêutico

Fonte: Autoria própria

4.2.4. Simulação baseada em agentes –Agente medicamento

Propósito – Representar o medicamento e sua atividade de expirar, que é independente do restante da simulação. Foi utilizado o conceito de agente individual, conforme o Quadro 6.

Visualização geral e programação – O diagrama de estados do agente medicamento está apresentado conforme a Figura 25.

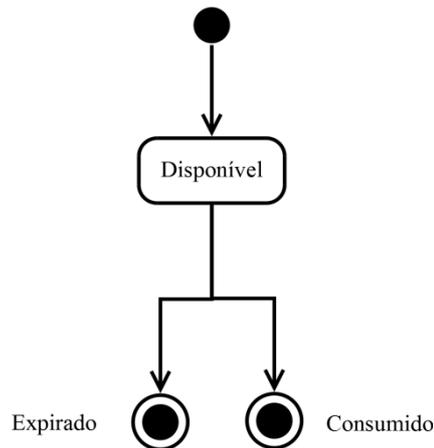


Figura 25 – Agente medicamento

Fonte: Autoria própria

O medicamento pode ser representado como um agente, já que ele possui comportamento autônomo e independente do restante do modelo, além de possuir a capacidade de se comunicar com o sistema, avisando que o mesmo se encontra disponível ou expirado, e com o agente farmacêutico, recebendo a informação que o mesmo foi enviado para o consumidor final.

A Figura 26 apresenta a tela do programa AnyLogic® com o ambiente computacional do agente Medicamento implementado.

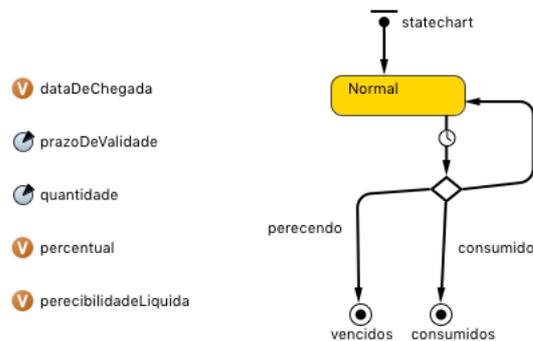


Figura 26 – Ambiente computacional do agente Medicamento

Fonte: Autoria própria

4.3. Conexões das simulações

As ligações servem para identificar como serão as trocas de informações entre os dois tipos de simulação, SBA e SED. A primeira ligação reside na relação entre o agente Farmacêutico e o processo de pedido de novos medicamentos, feito via simulação a eventos discretos. Inicialmente, a SED irá determinar o momento que essa ação acontece (1). Então, é iniciada a atividade de compra externa periódica pelo agente, começando o procedimento de

decisão de compra externa periódica, presente na Figura 21. A escolha do tamanho do lote (2) fomenta a criação da entidade “Solicitação de compra externa” (3) da SED. Para executar a ação “Atualiza *Qsa*” (4), o Farmacêutico precisa das informações “quantidade de medicamentos não entregues” e “quantidade de medicamentos expirados” (5).

As outras ligações ocorrem entre o agente Medicamento e SED do fluxo de atendimento. Tanto a SED é avisada pelo Medicamento que ele está disponível e é expirado (6), quanto o Medicamento avisado pela SED em relação ao seu consumo (7). As trocas de informações, identificadas pelos números de suas ocorrências são apresentados nas figuras 27, 28 e 29.

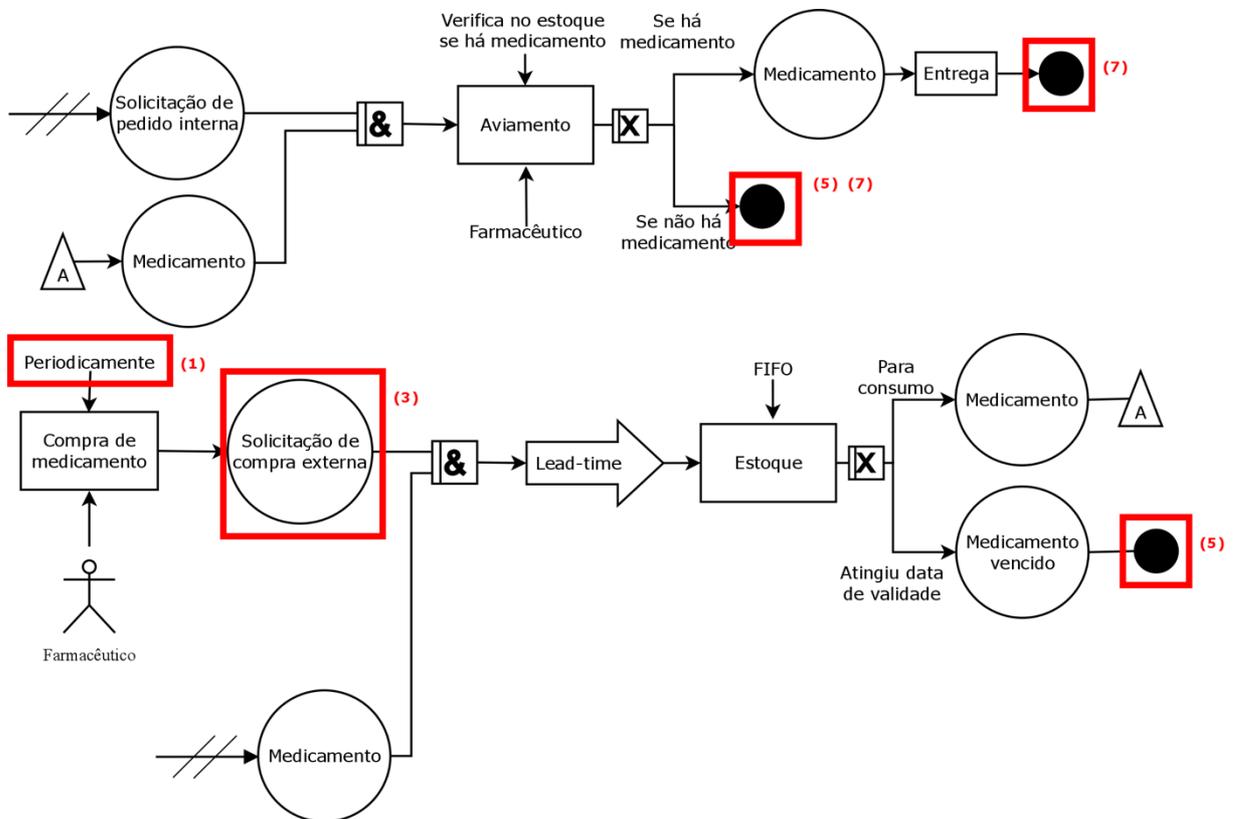


Figura 27 – IDEF-SIM do fluxo de atendimento com ligações

Fonte: Autoria própria

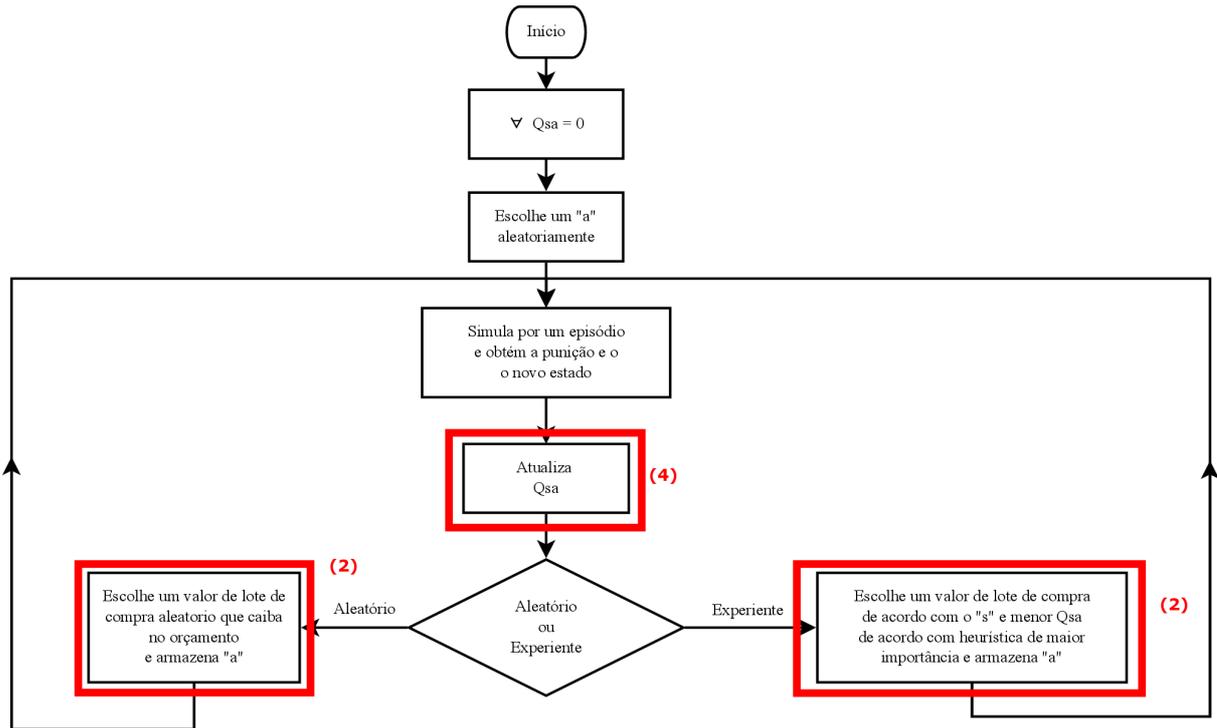


Figura 28 – Processo de compra externa periódica com ligações

Fonte: Autoria própria

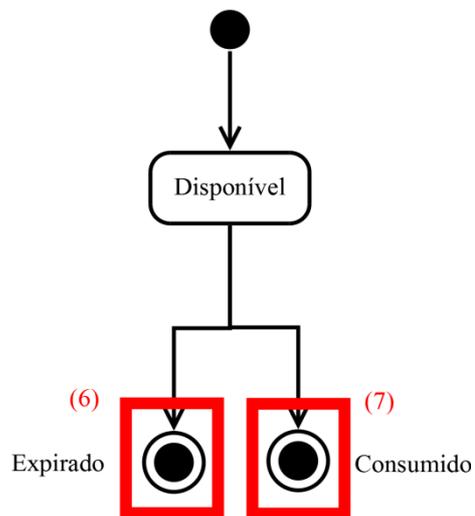


Figura 29 – Agente medicamento com ligações

Fonte: Autoria própria

5. RESULTADOS E ANÁLISES

O presente capítulo expõe a aplicação do método proposto. Essa aplicação tem como propósito avaliar e validar o método exposto anteriormente. Inicialmente, para a escolha dos medicamentos, foi utilizada uma combinação de dois tipos distintos de classificação de estoques, a classificação ABC e a classificação XYZ, selecionando os medicamentos que pertencem tanto à faixa A quanto à faixa Z, respectivamente. A classificação ABC é realizada diariamente na farmácia hospitalar do objeto de estudo. Assim, para efeito da presente aplicação, foi considerada a avaliação obtida no dia 1 de janeiro de 2015, por sugestão da administração da farmácia. A faixa XYZ foi realizada sob demanda para esse trabalho.

Dessa combinação, obtém-se o total de 5 medicamentos. Observou-se que esses cinco medicamentos apresentam demandas relativamente altas, com baixos valores de perecibilidade. Por esse motivo foram adicionados na aplicação do método dois medicamentos, que pertencem ao grupo formado pela faixa A da classificação ABC e pela faixa Y da classificação XYZ, a fim de validar as duas dimensões, falta de medicamento e expiração. Dessa forma, a lista dos códigos dos medicamentos, por ordem de importância relativa, é: 576383, 455806, 560213, 441031, 565246, 560200 e 576379. A partir desse ponto, eles serão referenciados como Medicamento1, Medicamento2, Medicamento3, Medicamento4, Medicamento5, Medicamento6 e Medicamento7, respectivamente.

Para efeito da obtenção da política de compras de medicamentos e da comparação com a realidade, foram utilizados dois conjuntos de dados de demanda. O primeiro, a ser utilizado no aprendizado, compreende o período a partir de março de 2011 a abril de 2016, e é empregado para gerar a política de aquisição periódica de cada medicamento. Os resultados dos testes de aderência em comparação com distribuições contínuas e discretas mostram que os dados coletados não podem ser representados por distribuições estatísticas formais. Assim, optou-se por utilizar distribuições empíricas para tal. Os valores tabulados e os respectivos gráficos estão no APÊNDICE A.

O segundo conjunto de dados, a ser utilizado como validação, contém os valores compreendido entre maio de 2016 e abril de 2017. É nesse segundo conjunto que há a comparação entre as compras que foram realizadas de fato e as compras que hipoteticamente seriam feitas, caso a política já estivesse implementada. Na próxima seção serão apresentadas as características do comportamento da farmácia hospitalar em uma situação real.

5.1. Situação real

A aqui denominada situação real é um corte temporal de 12 meses que serviu como base de validação e avaliação entre o comportamento concreto com as políticas de compra hospitalares obtidas do método proposto. Dessa forma, o período compreendido nesse recorte é imediatamente posterior ao das demandas dos medicamentos. Ele é compreendido entre maio de 2016 e abril de 2017.

Assim, confrontou-se a demanda e as compras reais de cada medicamento, sem considerar permutas, trocas ou doações entre hospitais, para a obtenção do número de pacientes não atendidos e levantou-se a quantidade de medicamentos expirados reais, compreendidos nesse recorte. Esse procedimento foi necessário para se garantir uma comparação mais eficaz entre esses resultados e as políticas obtidas dos cenários simulados.

As compras que realmente foram realizadas estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4 – Compra real de medicamentos

	Medicamento1	Medicamento2	Medicamento3	Medicamento4	Medicamento5	Medicamento6	Medicamento7	TOTAL
Maio/16	R\$-	R\$-	R\$7.308,00	R\$-	R\$1.780,00	R\$16,00	R\$-	RS9.104,00
Junho/16	R\$4.900,00	R\$-	R\$16.800,00	R\$-	R\$6.396,00	R\$9,00	R\$-	RS28.105,00
Julho/16	R\$-	R\$10.000,00	R\$9.744,00	R\$-	R\$7.120,00	R\$-	R\$-	RS26.864,00
Agosto/16	R\$4.900,00	R\$-	R\$-	R\$-	R\$-	R\$-	R\$-	RS4.900,00
Setembro/16	R\$-	R\$27.225,00	R\$8.260,00	R\$5.100,00	R\$-	R\$-	R\$-	RS40.585,00
Outubro/16	R\$-	R\$-	R\$-	R\$2.910,00	R\$-	R\$-	R\$-	RS2.910,00
Novembro/16	R\$11.904,00	R\$62.900,00	R\$6.195,00	R\$6.402,00	R\$18.990,00	R\$49,00	R\$-	RS106.440,00
Dezembro/16	R\$-	R\$-	R\$-	R\$-	R\$-	R\$-	R\$-	RS-
Janeiro/17	R\$-	R\$181.525,00	R\$148.800,00	R\$-	R\$7.945,00	R\$-	R\$-	RS338.270,00
Fevereiro/17	R\$-	R\$10.000,00	R\$-	R\$-	R\$-	R\$-	R\$-	RS10.000,00
Março/17	R\$-	R\$-	R\$6.195,00	R\$-	R\$-	R\$-	R\$-	RS6.195,00
Abril/17	R\$9.300,00	R\$-	R\$-	R\$-	R\$-	R\$-	R\$-	RS9.300,00
TOTAL	RS31.004,00	RS291.650,00	RS203.302,00	RS14.412,00	RS42.231,00	RS74,00	RS-	RS582.673,00

Fonte: Autoria própria

Em primeira análise, é possível observar na Tabela 4 que, em termos mensais, as compras não seguiram uma distribuição uniforme, indo desde valores zero, em dezembro de 2016, até o gasto de R\$338.270,00, realizado no mês seguinte. Outra análise que pode ser feita a partir dos dados é que há medicamentos que consumiram muitos recursos, como o caso do Medicamento2, e outros com menos, ou nenhum recurso, como o caso do Medicamento1; e é fato que esses recursos não são proporcionais à ordem de importância relativa entre eles.

Justifica-se pelo fato de que a ordem de importância relativa não necessariamente segue o custo unitário dos medicamentos e a ordem da demanda

Outro fato importante que merece destaque é que, no começo do recorte do período de validação e comparação, em maio de 2016, os valores de estoques disponíveis tiveram forte influência no comportamento do medicamento no decorrer desse período, portanto os valores iniciais precisavam ser observados, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Saldo inicial de medicamentos

Medicamento	Estoque inicial
Medicamento1	6.400
Medicamento2	1.909
Medicamento3	250
Medicamento4	1.812
Medicamento5	250
Medicamento6	78
Medicamento7	0

Fonte: Autoria própria

Aqui serão exibidos os resultados das compras realizadas pela equipe da farmácia hospitalar em relação à demanda que aconteceu no período de maio de 2016 e abril de 2017. Isso representará os resultados relacionados à quantidade de pedidos não atendidos. Serão expostos os gráficos para cada medicamento. A apresentação seguirá a ordem de prioridade relativa, começando pelo Medicamento1, na Figura 30.

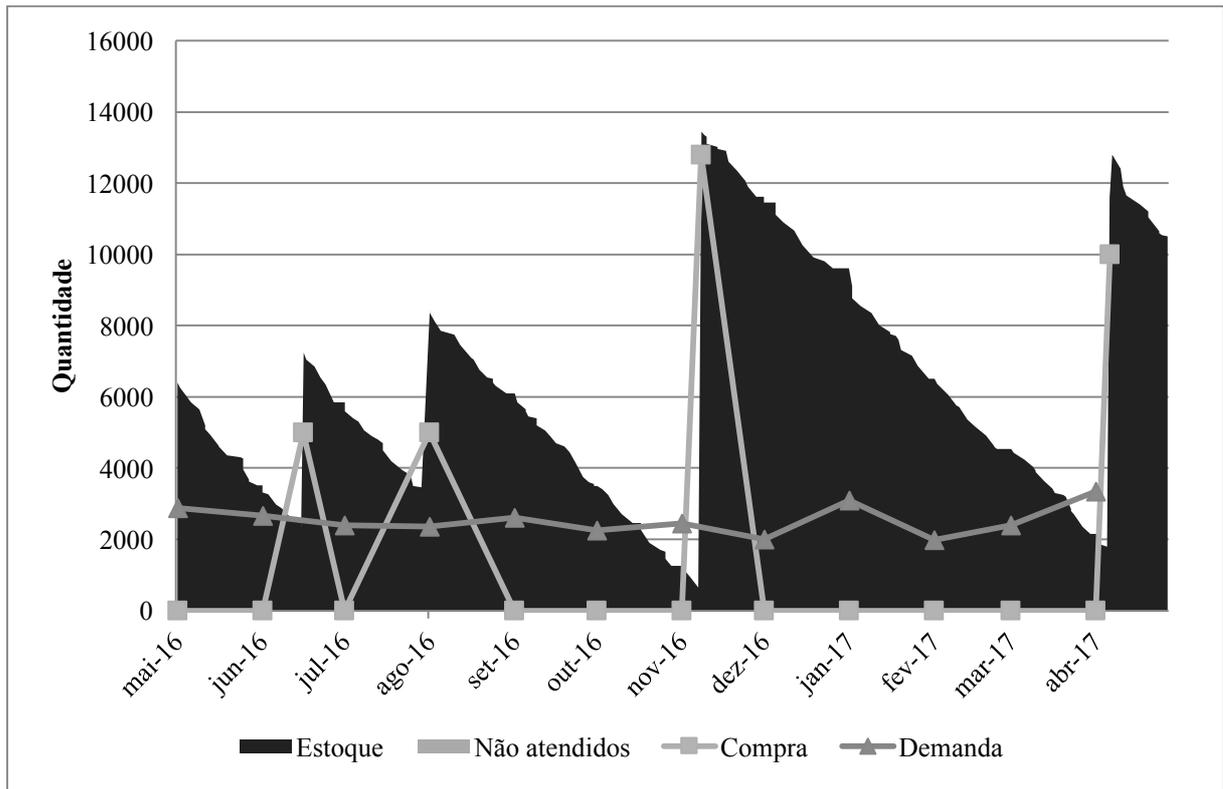


Figura 30 – Situação real do Medicamento1

Fonte: Autoria própria

Na Figura 30, e em todas as seguintes, apresenta as variações temporais das quantidades, medicamentos em estoque, não atendidos, comprados e de demanda. O Medicamento1, pela sua importância na farmácia hospitalar, teve um tratamento diferenciado no que tange às aquisições. Isso fez com que não houvesse, durante esse período, demanda não atendida. Porém, para assegurar esse comportamento, é possível observar no gráfico da Figura 30 que duas grandes aquisições foram necessárias: uma no dia 08/11/2016, de 12.800 unidades e com um custo de R\$11.904,00; e outra no dia 06/04/2017, de 10000 unidades e com um custo de R\$9.300,00. Duas aquisições que foram seguidas, sem nenhuma outra acontecendo entre elas. Isso fez com que gerasse, durante esse período de quase 5 meses, um nível elevado de estoque, frente ao que aconteceu anteriormente.

A demanda mensal do Medicamento1 para o período entre maio de 2016 e abril de 2017 iniciaram com uma leve queda, do mês de maio de 2016 para junho de 2016, seguindo uma demanda que aparentemente foi diminuindo até o mês de janeiro de 2017, com uma demanda de 3.097 unidades, seguido de dois meses com menos demanda até o mês com maior demanda, abril de 2017, de 3350 unidades.

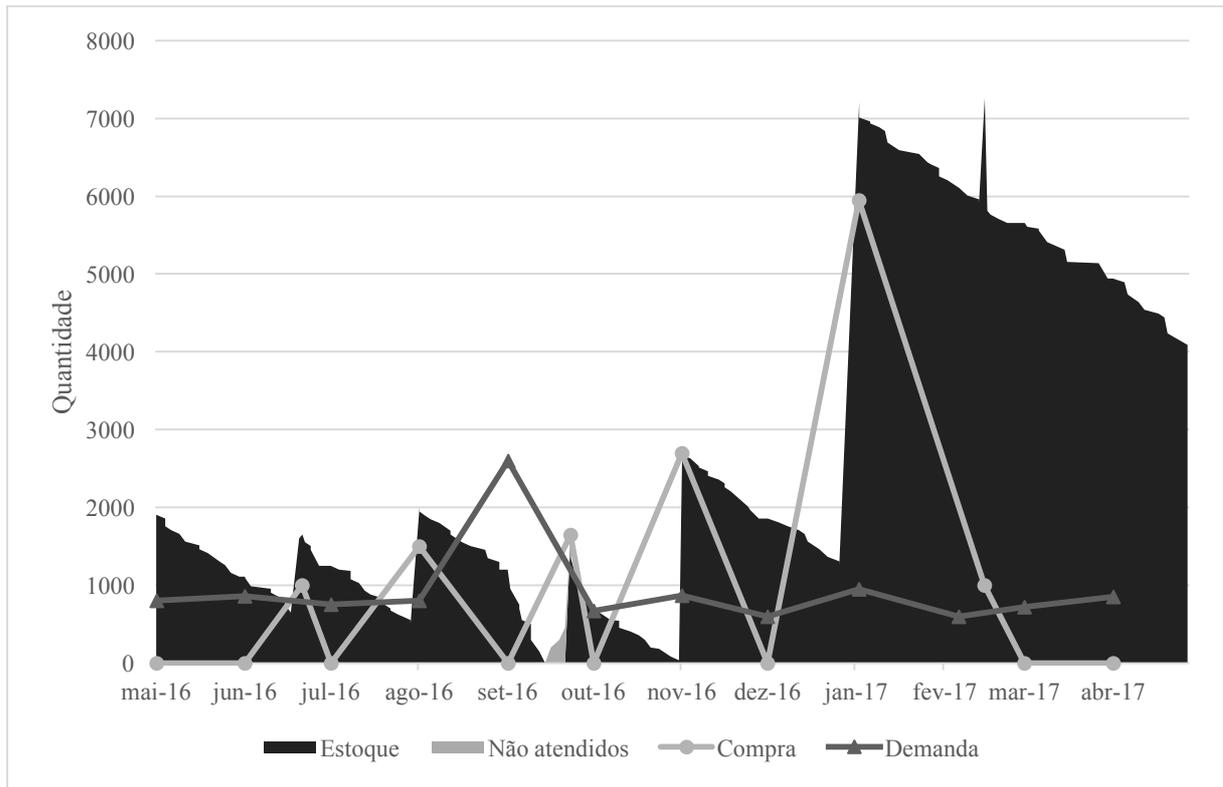


Figura 31 – Situação real do Medicamento2

Fonte: Autoria própria

Semelhantemente ao que aconteceu com o Medicamento1, houve uma compra elevada no começo do ano de 2017 do Medicamento2, mais precisamente na data de 02/01/2017, de 5.950 unidades e com um custo de R\$181.525,00. Essa aquisição foi a de maior valor individual, dentre os sete medicamentos e no recorte do período analisado. Pode-se observar também, no gráfico da Figura 31, o acontecimento de não atendimentos no mês de setembro de 2016, em um total de 950 unidades. Esse mês apresentou um aumento inesperado da demanda por esse medicamento, conforme observado na demanda da Figura 31.

A demanda mensal para o Medicamento2 é relativamente estável, com valores variando entre 600 e 950 unidades. A exceção ocorre no mês de setembro de 2016, quando a demanda alcançou o pico de 2.600 unidades, quase 3 vezes o valor do segundo mês com maior demanda, em janeiro de 2017, de 950 unidades.

O comportamento de compra do Medicamento3, com baixos valores de solicitação no início do período avaliado, seguido de um considerável aumento no final do ano de 2016. Situação semelhante foi observada no Medicamento2, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 32, com duas compras seguidas em janeiro de 2017, uma no dia 2 e a outra no dia 16, ambas de 3.100 unidades e com um custo cada de R\$74.000,00, totalizando R\$148.800,00. Essas duas compras, em conjunto com a compra no mesmo mês do

medicamento anterior, fizeram de janeiro de 2017 o mês mais dispendioso para a instituição, no conjunto dos 7 medicamentos analisados. Esse medicamento não apresentou casos de não atendimento.

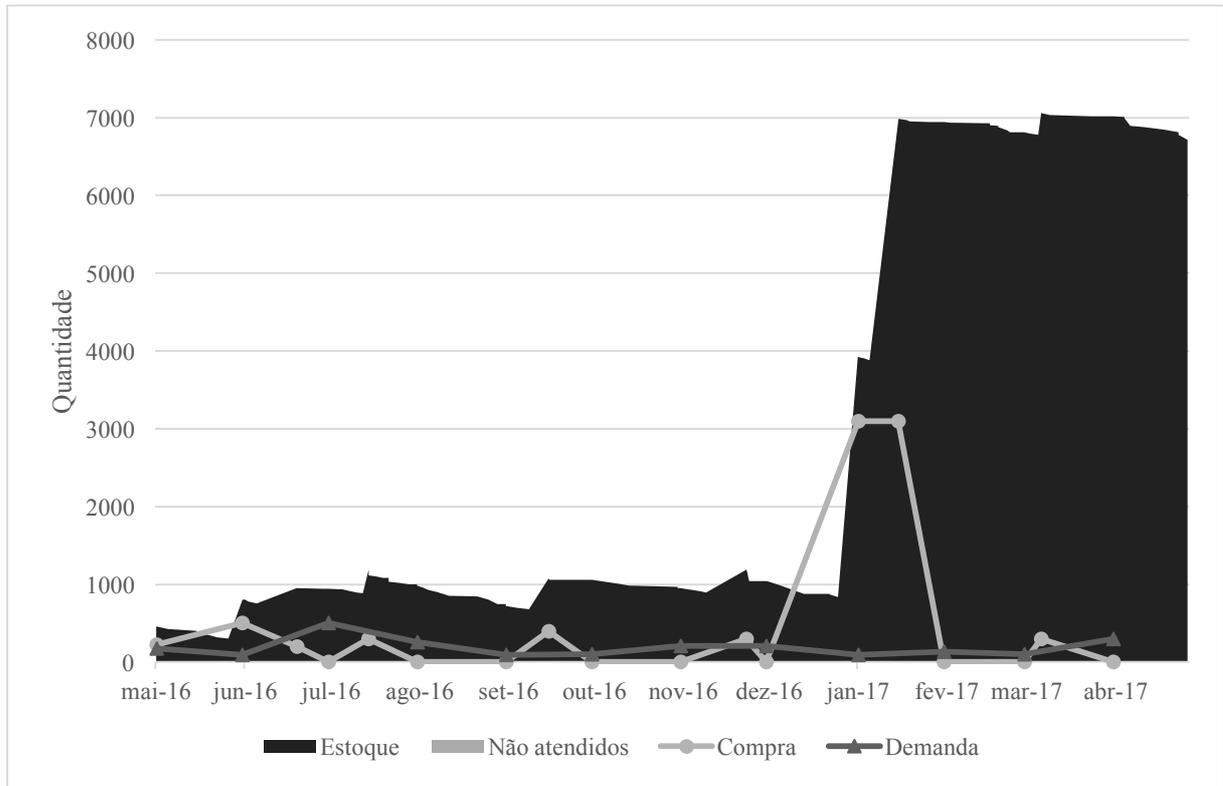


Figura 32 – Situação real do Medicamento3

Fonte: Autoria própria

A demanda mensal do Medicamento3 para o período entre maio de 2016 e abril de 2017 apresenta comportamento irregular, com valores alternando entre abaixo de 100 unidades, em janeiro de 2017 com 90 unidades, e em um mês, julho de 2016, de 505 unidades.

A diferença entre o Medicamento4 e os outros três anteriores é que o seu saldo inicial, no começo do recorte temporal, foi relativamente alto, o que permite passar um período considerável (6 meses) sem compras. Mas, teve comportamento semelhante no período do fim do ano de 2016 e começo do ano de 2017, quando houve as três aquisições de medicamentos: em 20/09/2016, de 1500 unidades e com um custo de R\$5.100,00; em 03/10/2016, de 1.000 unidades e com um custo de R\$2.910,00; e em 08/11/2016, de 2.200 unidades e com um custo de R\$6.402,00. Não houve demanda não atendida nesse medicamento.

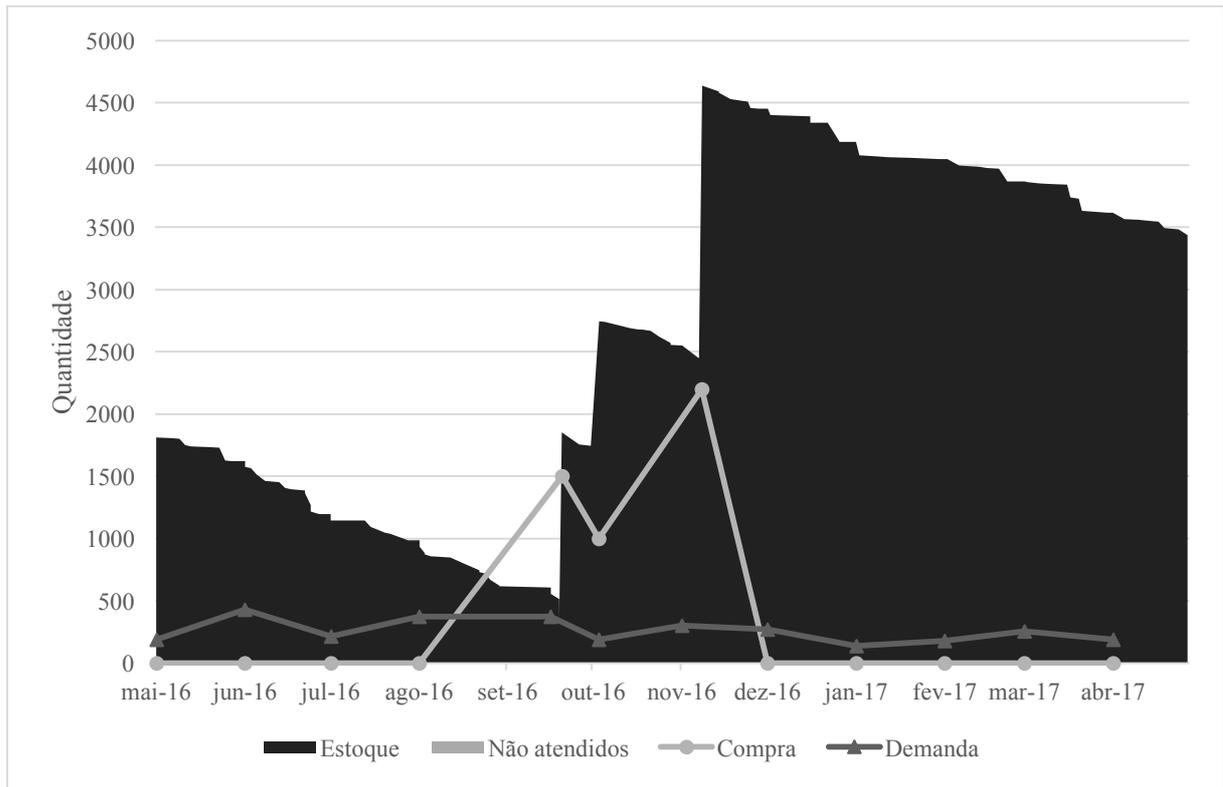


Figura 33 – Situação real do Medicamento4

Fonte: Autoria própria

A demanda mensal do Medicamento4 apresentou um comportamento com um decréscimo no decorrer dos meses no período entre maio de 2016 e abril de 2017. O menor valor de demanda encontrado foi de 135 unidades e o maior de 427 unidades.

O Medicamento5 é o último pertencente tanto à faixa A quanto a faixa Z, na classificação de estoque combinada ABC e XYZ, pela ordem de importância relativa. Após realizar três aquisições de medicamentos nos primeiros meses do período do recorte, não houve compras nos meses de agosto, setembro e outubro de 2016, gerando assim uma demanda não atendida acumulada de 2.649 unidades exatamente nesses três meses sem compras. Justifica-se isso pela necessidade de priorizar outros medicamentos. Posteriormente a farmácia hospitalar realizou aquisições que deixaram o estoque do medicamento com um nível elevado, fato que aumenta a possibilidade de haver vencimento e imobiliza capital para outros investimentos.

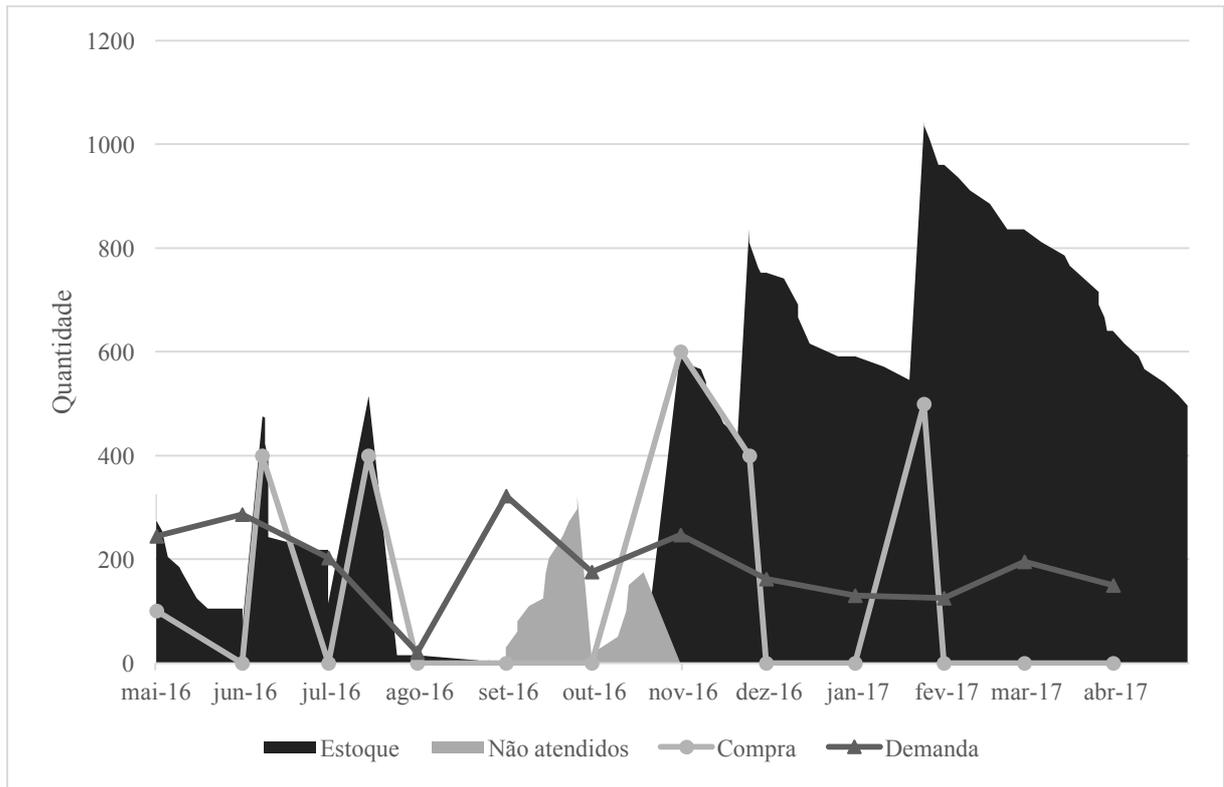


Figura 34 – Situação real do Medicamento5

Fonte: Autoria própria

O comportamento da demanda mensal do Medicamento5 apresentou um decréscimo ao longo do período. Os valores variam entre 125 e 322 unidades, em que a única exceção está no mês de agosto de 2016, com uma demanda de 20 unidades.

Os cinco medicamentos apresentados anteriormente não apresentam valores consideráveis de expiração, pois os mesmos têm uma demanda elevada, em se comparado aos demais. Os dois próximos medicamentos possuem histórico de perecibilidade.

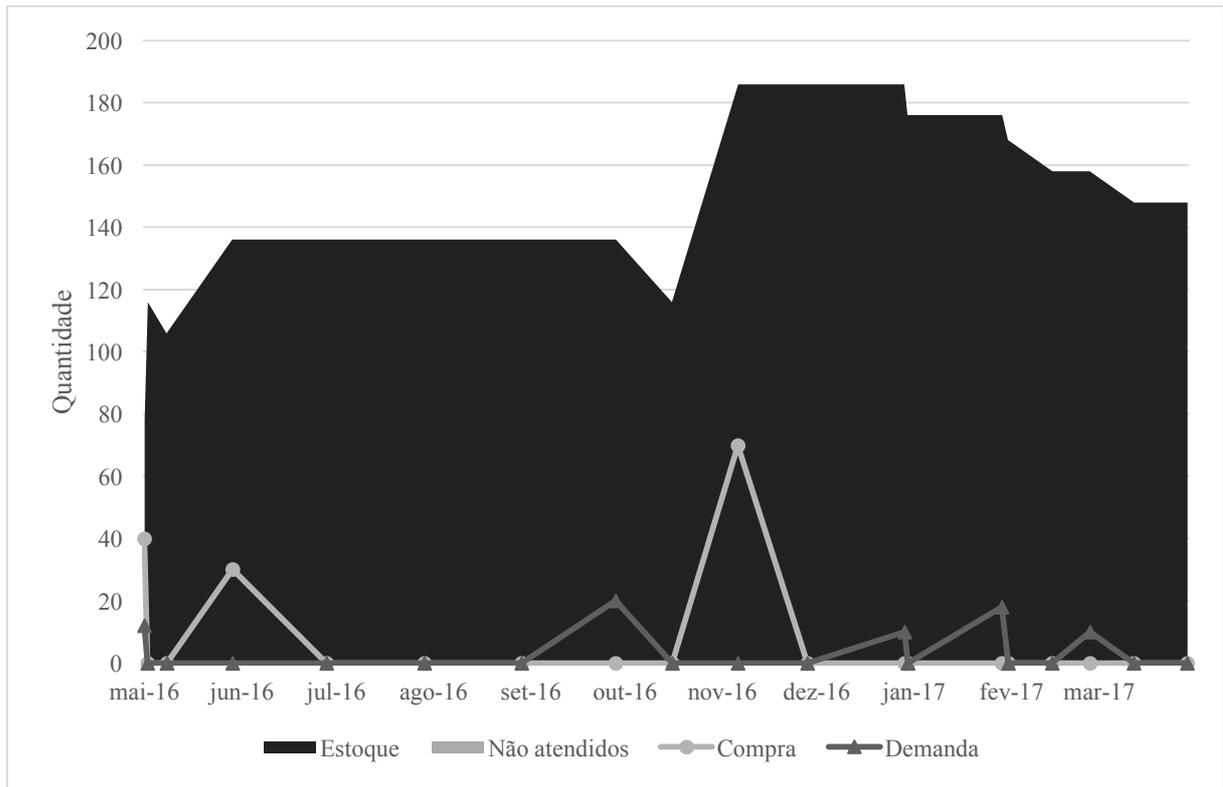


Figura 35 – Situação real do Medicamento6

Fonte: Autoria própria

A política adotada pela gerência da farmácia hospitalar para o Medicamento6 vai de encontro ao comportamento demandado do medicamento. Ou seja, manter um nível elevado de estoque, como o observado no gráfico da Figura 35, não é a solução para um medicamento com demanda relativamente baixa. Especificamente, a demanda para o período estudado foi de 70 unidades, enquanto que no dia 09/11/2016 adquiriram essa mesma quantidade, ao custo de R\$49,00, não tendo um impacto financeiro considerável em relação aos outros medicamentos apresentados anteriormente. Esse comportamento provocou a perecibilidade de 60 unidades para esse período. Houve uma demanda inicial, no mês de maio de 2016, de 12 unidades, com um período sem demanda por 5 meses, com a maior demanda observada do período de 20 unidades, seguido por dois meses sem demanda para ter os três últimos meses com demanda observada no período.

Por fim o ultimo medicamento a ser apresentado na situação real é o Medicamento7. A política de aquisição de medicamentos adotada pela gerência da farmácia hospitalar para o Medicamento7 foi oposta àquela adotada para o Medicamento6. Não houve qualquer aquisição de unidades para o medicamento, conforme o gráfico da Figura 36. Isso fez com que aparecessem 15 não atendimentos. Em termos concretos, foram realizadas

permutas, trocas e / ou aquisições emergenciais para atender a essa demanda, porém, por não ser o foco desse trabalho, não será detalhado.

A demanda mensal do Medicamento7 apresentou um leve crescimento. Essa tendência está assim caracterizada pois as demandas, que foram constantes de 5 unidades, se concentram na segunda metade do período analisado.

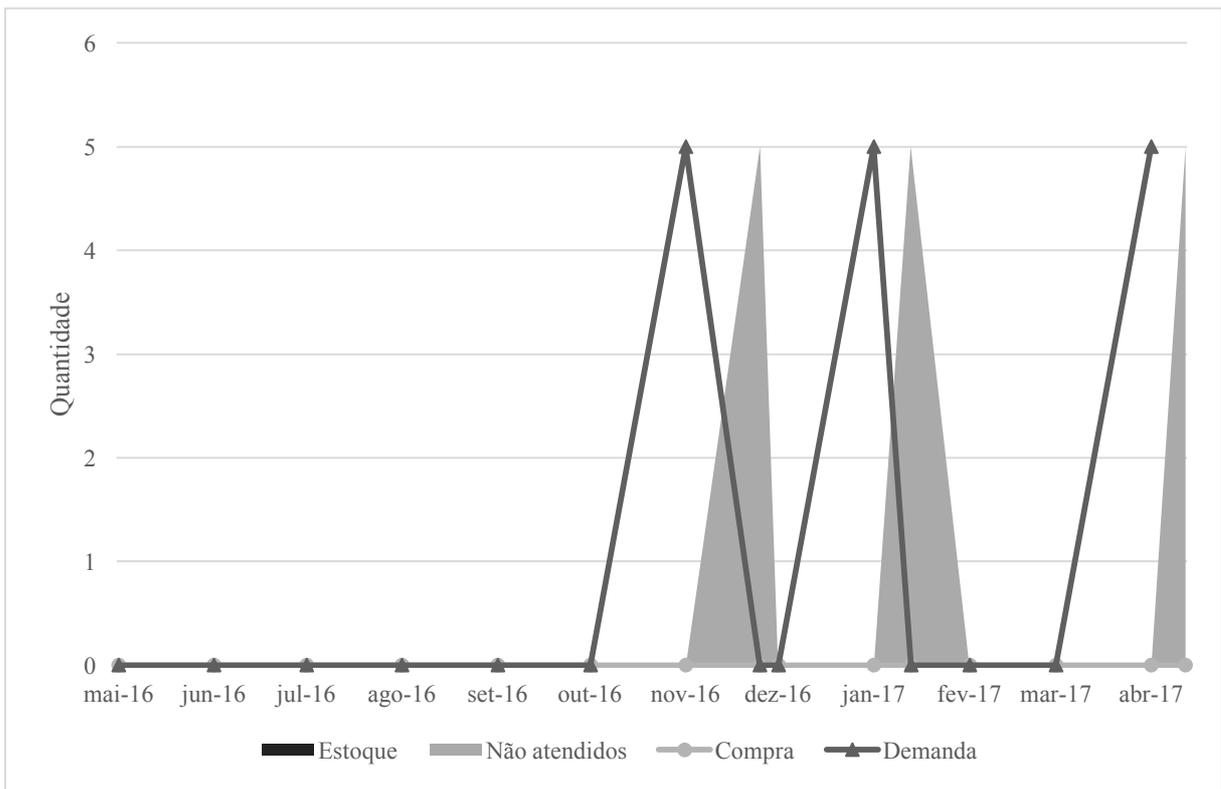


Figura 36 – Situação real do Medicamento7

Fonte: Autoria própria

Os valores resumidos de compra, por quantidade e por unidade financeira, e não atendimento, por quantidade e por unidade financeira, estão presentes na Tabela 6.

Os dados da Tabela 6 servirão como balizadores para as políticas de aquisição de medicamentos obtidos. A comparação entre a realidade e a simulação será feita entre os resultados de número de medicamentos expirados, número de medicamentos vencidos e custo de aquisição de medicamentos. Foram quatro cenários, nomeados: cenário 1, cenário 2, cenário 3 e cenário 4, apresentados a seguir.

Tabela 6 – Resumo das ações na situação real

	Compra (un)	Compra (\$)	Não atendido (un)	Não atendido (\$)
Medicamento1	32.800	31.004,00	0	-
Medicamento2	13.800	314.150,00	950	2.375,00
Medicamento3	8.425	203.302,00	0	-
Medicamento4	4.700	14.412,00	0	-
Medicamento5	2.400	42.231,00	2.649	42.092,61
Medicamento6	140	74,00	0	-
Medicamento7	0	-	15	219,00
Total	62.265	605.173,00	3.614	44.686,61

Fonte: Autoria própria

5.2. Cenários

Os valores dos parâmetros dos cenários foram estipulados livremente, mas levando em consideração os gastos da situação real. Isso significa que a sua obtenção exigiu a execução de algumas dezenas de simulações com valores que iam sendo alterados progressivamente observando o impacto nos resultados, para que enfim esses traduzissem as informações subjetivas não estruturadas obtidas da administração da farmácia hospitalar. Essas simulações consumiram um período não planejado dos estudos que ficaram próximos a um mês. Os respectivos pesos de falta de medicamento e perecibilidade, a serem aplicados na equação (4), que por sua vez calcula a punição do medicamento para o período de compra de 30 dias, estão presentes na Tabela 7.

Tabela 7 – Lista dos medicamentos ordenados com respectivos pesos

	Valor	Peso falta de medicamento (w_1)	Peso perecibilidade (w_2)
Medicamento1	0,93	0,999	0,001
Medicamento2	20,00	0,999	0,001
Medicamento3	20,65	0,99	0,01
Medicamento4	2,91	0,99	0,01
Medicamento5	15,89	0,9	0,1
Medicamento6	0,50	0,2	0,8
Medicamento7	14,60	0,2	0,8

Fonte: Autoria própria

Os pesos para falta de medicamento (w_1) e para expiração (w_2) também foram estipulados livremente, obedecendo dois grupos de valores: os 5 primeiros medicamentos que apresentam demanda mais alta, apresentam valores altos de w_1 , enquanto que os 2 últimos medicamentos que apresentam demanda mais baixa, apresentam valores altos de w_2 . Para chegar a valores razoáveis, foram feitas simulações prévias e observados os resultados alcançados, sendo assim, alguns desses pesos, como por exemplo do Medicamento1 e do Medicamento2, apresentaram valores extremos, para poder representar melhor a subjetividade. Os outros parâmetros dos medicamentos são a amplitude, o número de intervalos, o tamanho do lote e a quantidade máxima a ser comprada, presentes na Tabela 8.

Tabela 8 – Amplitude, número de intervalos, tamanho do lote e quantidade máxima dos medicamentos

	Amplitude	Número de intervalos	Tamanho do lote (un)	Quantidade máxima (un)
Medicamento1	500	5	100	13.000
Medicamento2	200	3	200	6.000
Medicamento3	75	3	20	6.200
Medicamento4	100	2	25	2.500
Medicamento5	75	3	20	1.000
Medicamento6	10	1	1	70
Medicamento7	5	1	1	50

Fonte: Autoria própria

O primeiro parâmetro, a amplitude, e o segundo, o tamanho do lote, igualmente ao que foi realizado nos pesos anteriormente, tiveram seus valores estipulados livremente. Simulações prévias foram executadas para avaliar como ele se comportam. Observou-se que,

quanto maior a demanda, são necessários valores maiores de amplitude e de número de intervalos, porém, sem valores conclusivos. Por observar valor acima do último valor de amplitude, multiplicado pelo número de intervalos, haverá um intervalo a mais na análise. O tamanho de lote procurou utilizar múltiplos dos valores comprados previamente pela farmácia e seus custos unitários. A quantidade máxima limita a quantidade comprada por mês em cada medicamento. Ela não é obrigatória para a obtenção da política de compras de medicamento, mas torna as simulações mais rápidas, pois exclui quantidades de medicamentos a serem compradas que não podem e nem devem ser adquiridas, em termos concretos.

Conforme apresentados no item 2.4.1 de revisão sobre *Q-learning*, os valores de ϵ , que determina a probabilidade de escolha entre compra aleatória e experiente da Figura 21, será de 0,1 e de α , a taxa de aprendizado utilizada na equação (1), será de 0,4. ϵ apresenta um valor fixo no decorrer da simulação e o valor de α terá um decréscimo de 0,001 a cada atualização em seu valor de Q_{sa} . Dessa forma, cada par (ação, estado) para cada medicamento, terá um valor de α próprio, possibilitando independência entre decisões. O parâmetro de convergência foi o aprendizado completo, ou seja, quando todos os valores de α de todos os pares (ação, estado) e de todos os medicamentos tenham valor zero.

Para a validação e comparação do presente estudo, foram estabelecidos quatro cenários, conforme a Figura 37.

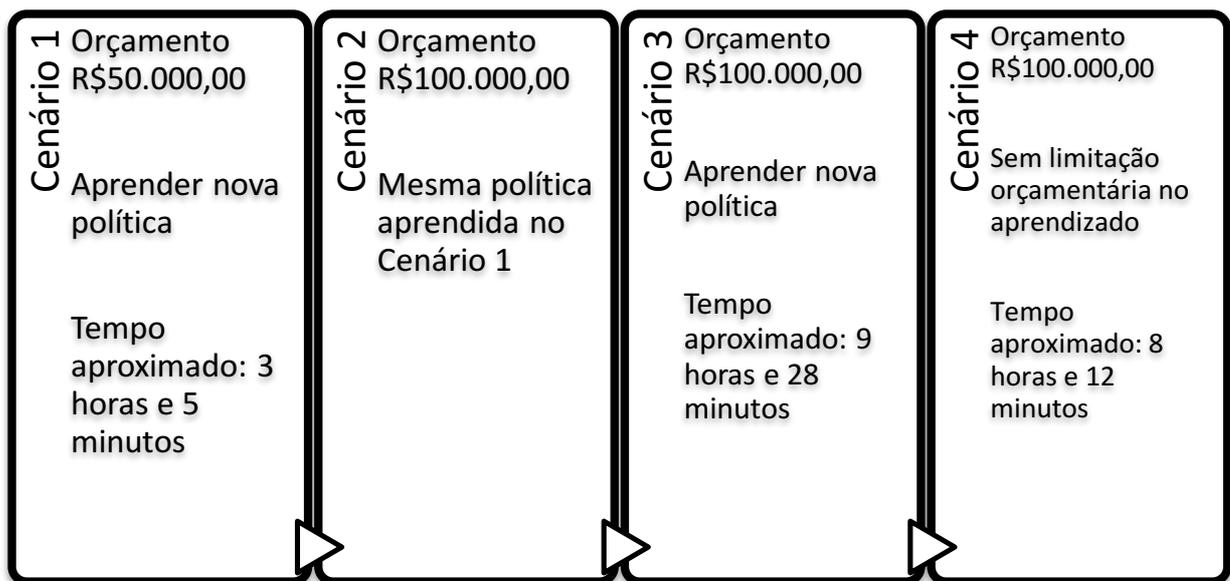


Figura 37 – Cenários

Fonte: Autoria própria

Cada cenário tem uma ligação com o anterior, iniciando pelo primeiro. Nele foi utilizado a média aproximada do consumo real durante o período entre maio de 2016 e abril de 2017, de R\$50.000,00. Os três restantes tiveram como parâmetro o orçamento de R\$100.000,00, o dobro do primeiro. No segundo cenário a política foi a mesma aprendida no primeiro, enquanto que no terceiro, gerou-se uma nova política. Por fim, no quarto cenário não houve a limitação orçamentária na geração da política, apenas a limitação da quantidade de compras máxima por medicamento, identificadas na Tabela 8.

5.2.1. Cenário 1

Para o cenário 1, foi estipulado um orçamento mensal de R\$50.000,00, oriundo da aproximação da média de compras real no período entre maio de 2016 e abril de 2017. O valor do orçamento não é obtido a partir do valor real da farmácia hospitalar, pois além dele não possuir um valor fixo mensal, ele é utilizado para todos os medicamentos, com a ordem de aproximadamente 120.

A simulação do cenário 1 ocorreu em um tempo aproximado de 3 horas e 5 minutos para poder convergir todos os aprendizados dos pares (estado, ação). A Tabela 9 apresenta a política de aquisição do Medicamento1 e deve auxiliar no entendimento da codificação dos estados, é apresentada a seguir.

Tabela 9 – Codificação dos estados do Medicamento1

Estado	Valor inicial	Valor final
0	0	499
1	500	999
2	1.000	1.499
3	1.500	1.999
4	2.000	2.499
5	2.500	∞

Fonte: Autoria própria

A quantidade em estoque do Medicamento1 identificará em qual estado ele se encontrará no momento da decisão. Por exemplo, caso haja 1.300 medicamentos em estoques, ao observar a Tabela 9, o estado será 2. O último estado tem valor inicial 2.500 e valor final infinito. Em outras palavras, qualquer valor acima de 2.500 em estoque representa o estado 5. A política de aquisição periódica do Medicamento1 está presente na Tabela 10.

Tabela 10 – Política de aquisição periódica do Medicamento1

	Estado						
	0	1	2	3	4	5	
Quantidade a ser comprada	12.800	6.000	4.400	7.100	6.100	0	Quantidade a ser comprada

Fonte: Autoria própria

A Tabela 10 só apresenta uma linha de quantidade, pois como o Medicamento1 é aquele com maior prioridade relativa, sempre será possível, financeiramente falando, adquirir a quantidade inicial de medicamentos recomendado pela política de aquisição periódica. Para a utilização dessa política, é necessário observar em qual estado o estoque do medicamento se encontra e realizar a compra conforme recomendado. Por exemplo, no caso de 1.300 medicamentos em estoque, estando ele no estado 2, recomenda-se realizar a aquisição de 4.400 medicamentos. Para o Medicamento2, com 3 estados, a codificação é apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 – Codificação dos estados do Medicamento2

Estado	Valor inicial	Valor final
0	0	199
1	200	399
2	400	599
3	600	∞

Fonte: Autoria própria

A política de aquisição periódica do Medicamento2 é apresentada na Tabela 11. Alguns valores foram suprimidos, pois como os valores ordenados não seguem uma sequência lógica crescente, alguns ficam impossíveis de serem alcançados. Por exemplo, em um caso hipotético, o estoque de um medicamento está no estado 2 e conforme a heurística maior importância possui disponível R\$5.000,00 para adquirir novos medicamentos. Pela suposta política de aquisição, a primeira tentativa sugeriu que ele comprasse a quantidade de medicamento no montante de R\$5.500,00, impossível de atender. As próximas alternativas, ou opções a jusante desse estado, precisam oferecer valores menores, para ter potencial de escolha. Para uma melhor organização, as políticas de aquisição dos próximos medicamentos estarão no APÊNDICE B.

Tabela 12 – Política de aquisição periódica do Medicamento2

		Estados					
		0	1	2	3		
Quantidade		2400	1200	1600	0	Quantidade	
		600	1000	1400			
		400	800	1000			
		200	400	800			
		0	200	600			
			0	400			
				200			
				0			

Fonte: Autoria própria

Serão apresentados os resultados que teriam sido obtidos caso a política de aquisição periódica de medicamentos, construída a partir do cenário 1, tivesse sido utilizada para os dados de demanda real entre maio de 2016 e abril de 2017. A partir da lista de importância relativa dos medicamentos, será apresentado inicialmente o Medicamento1, no gráfico da Figura 38.

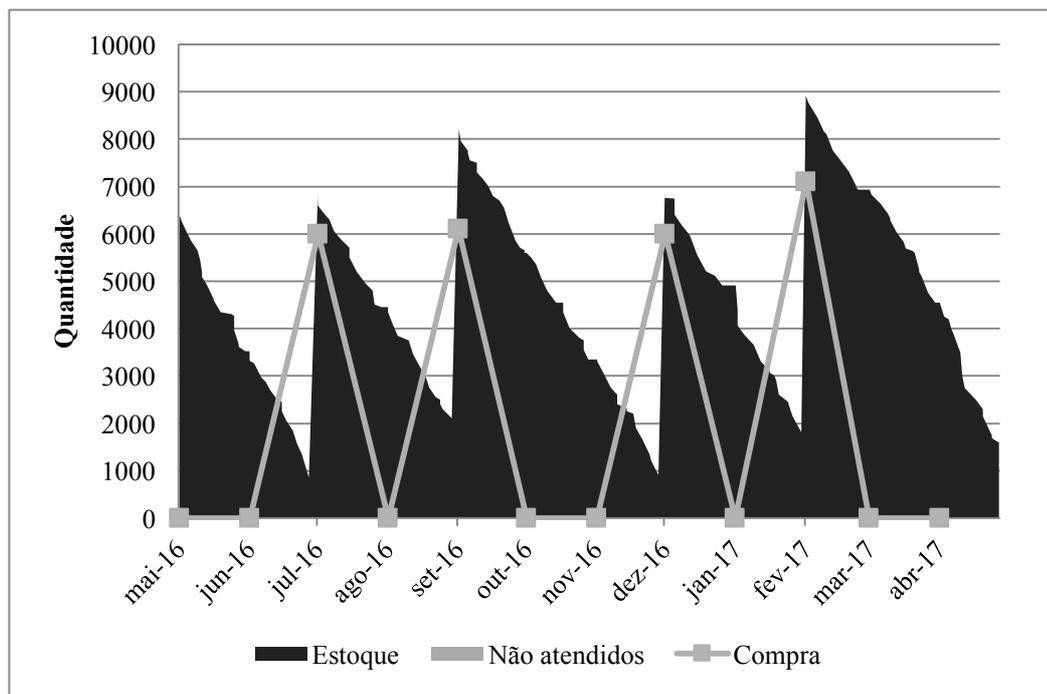


Figura 38 – Comportamento do Medicamento1 para o cenário 1

Fonte: Autoria própria

A política de aquisição periódica de cenário 1 para o Medicamento1, aprendeu, de forma autônoma, algumas características. Dentre elas, o lote de compra médio varia entre 6.000 e 7.000 unidades. Mas essa política não impõe que essa quantidade seja sempre adquirida todo mês, como outras ferramentas analíticas de gestão de estoques fariam. Ao invés disso, a política aqui apresentada é adaptável aos acontecimentos reais. Por exemplo, a compra em setembro de 2016 gerou um estoque disponível alto. Esse dado, combinado com as demandas dos próximos dois meses, outubro e novembro, fazem com que a política recomende nenhuma compra nesses meses, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 38.

O Medicamento2 tem o comportamento retratado no gráfico da Figura 39. Devido à limitação do orçamento, de R\$50.000,00, não foi possível a realização de compra de 2.400 unidades de medicamento em julho de 2016, só sendo possível comprar a 2ª opção, 600 unidades, por causa da falta de R\$3.673,00 no orçamento mensal.

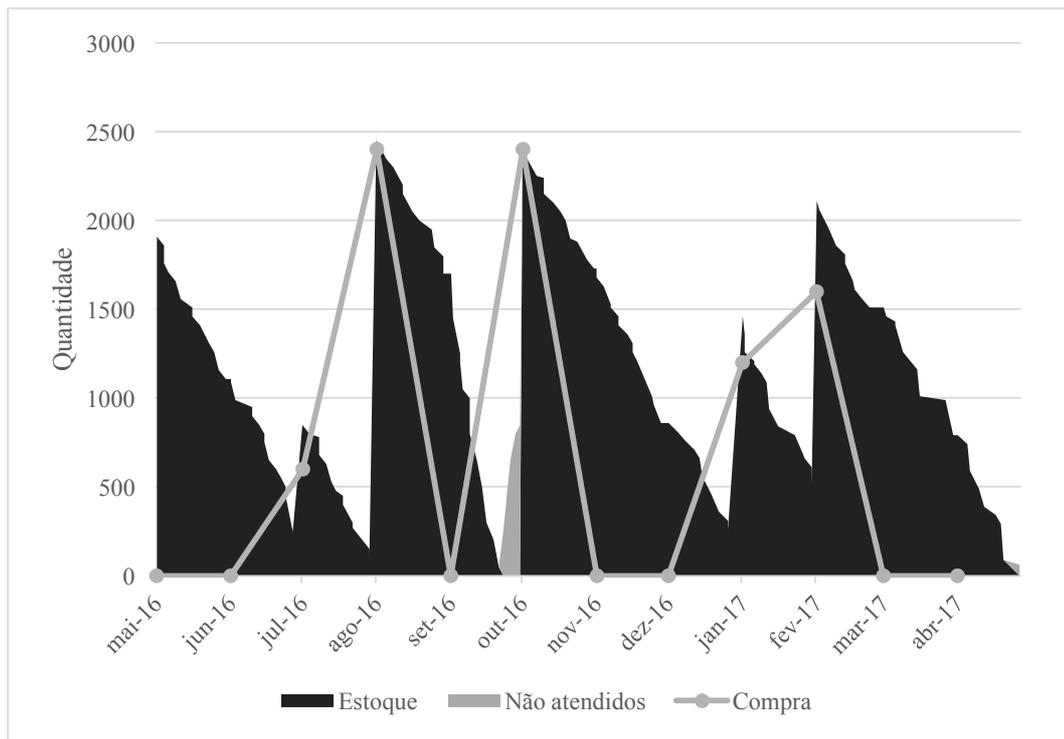


Figura 39 – Comportamento do Medicamento2 para o cenário 1

Fonte: Autoria própria

Em relação ao número de medicamentos não atendidos, o cenário 1 apresentou 3.510 unidades que não puderam ser entregues, enquanto a situação real não entregou 950 unidades do medicamento. Ambos os cenários apresentaram valor nulo para expiração.

O Medicamento3 tem o comportamento retratado no gráfico da Figura 40. Como aconteceu com o Medicamento2, houve um mês que não foi possível efetuar a aquisição de unidades do Medicamento3. No mês de agosto de 2016 havia R\$2.000,00 disponível, porém, seria necessário R\$11.977,00. Seguindo a ordem das sugestões de valores, foi escolhida a 12ª opção, 80 unidades.

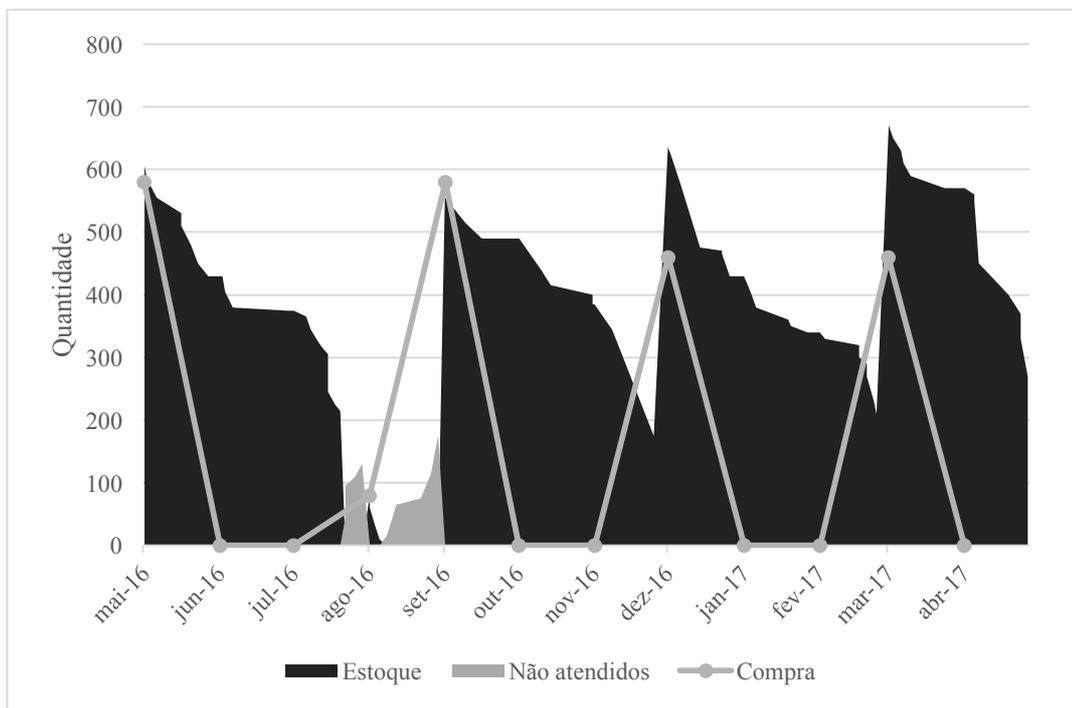


Figura 40 – Comportamento do Medicamento3 para o cenário 1

Fonte: Autoria própria

Em relação ao número de medicamentos não atendidos, o cenário 1 apresentou 950 unidades que não puderam ser entregues, enquanto a situação real não apresentou não entregas do medicamento. Ambos os cenários apresentaram valor nulo para expiração. O próximo medicamento é o Medicamento4, com o comportamento retratado no gráfico da Figura 41.

O nível de estoque no início do período compreendido entre maio de 2016 e abril de 2017, com um total de 1.812 unidades, fez com que a primeira aquisição só fosse efetuada seis meses após o começo desse período, em novembro de 2015, de 1.000 unidades a um custo de R\$2.910,00. A política recomendou a aquisição em dois meses, essa de novembro de 2015 e uma em março de 2017, de 525 unidades a um custo de R\$1.527,75.

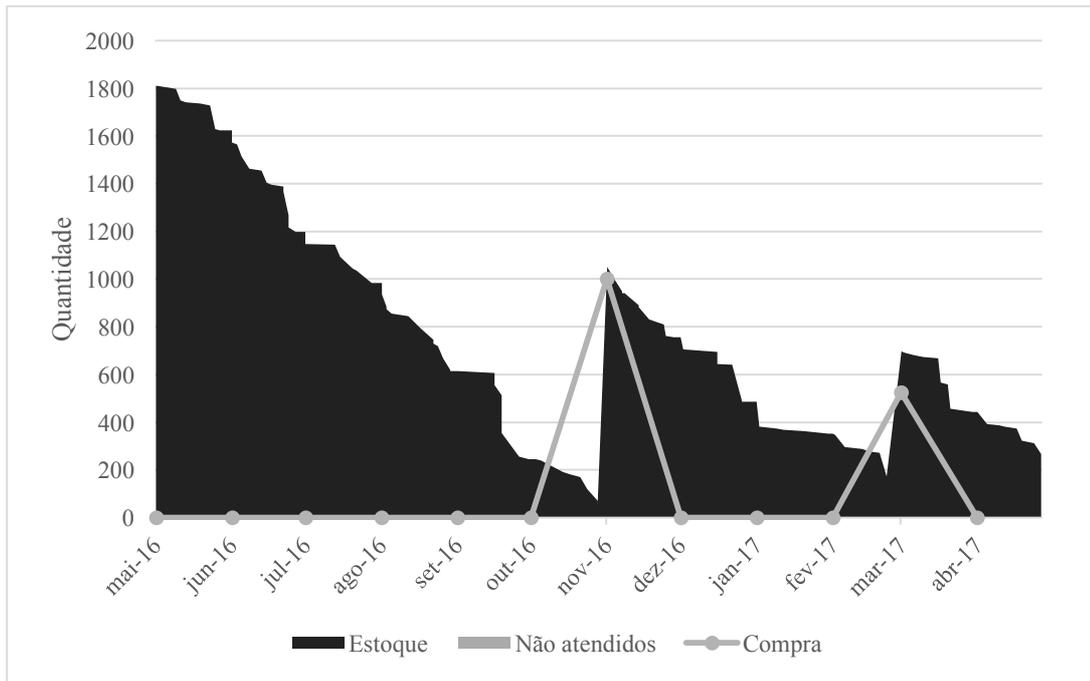


Figura 41 – Comportamento do Medicamento4 para o cenário 1

Fonte: Autoria própria

Dentro do cenário 1, o Medicamento5 é o último, dos sete analisados, que não puderam efetuar a compra de unidades pela limitação orçamentária. No mês de outubro de 2016 havia R\$2.000,00 disponíveis, porém, seriam necessários R\$8.898,40. Seguindo a ordem das sugestões de valores, foi escolhida a 9ª opção: nenhuma unidade. O medicamento tem o seu comportamento retratado no gráfico da Figura 42.

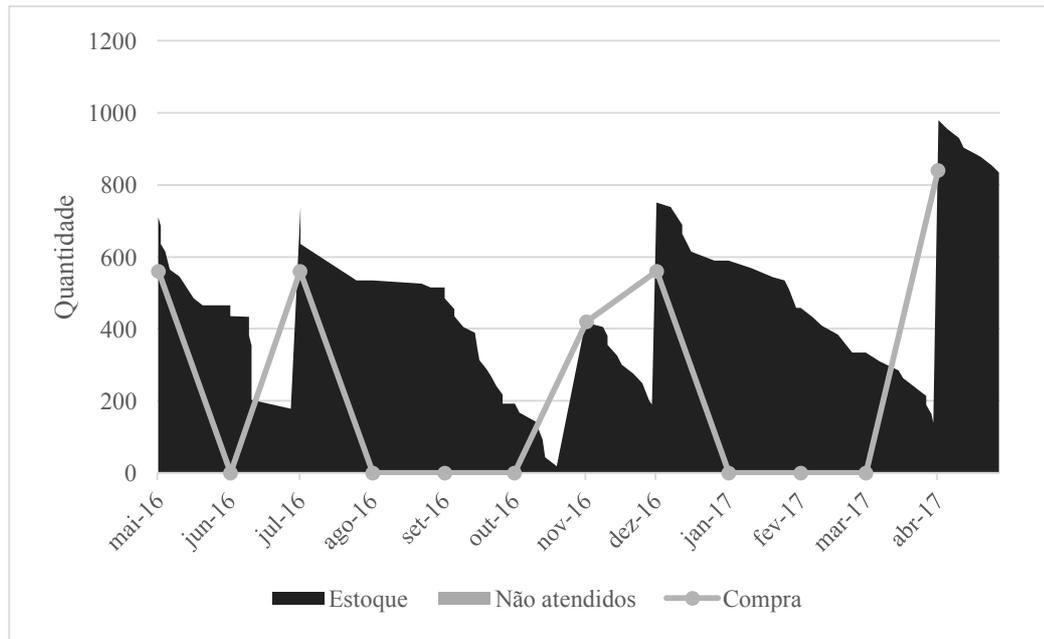


Figura 42 – Comportamento do Medicamento5 para o cenário 1

Fonte: Autoria própria

O nível de estoque no início do período compreendido entre maio de 2016 e abril de 2017, com um total de 38 unidades, fez com que a única aquisição do Medicamento6 fosse efetuada seis meses após o começo desse período, em novembro de 2016, de 53 unidades a um custo de R\$26,50, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 43.

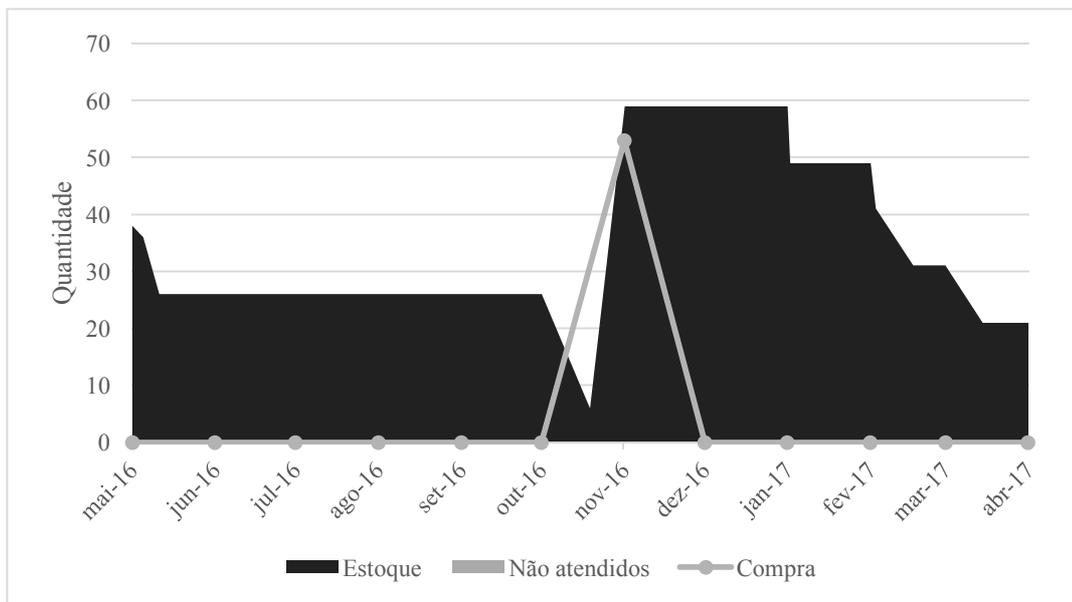


Figura 43 – Comportamento do Medicamento6 para o cenário 1

Fonte: Autoria própria

Em relação ao não-atendimento, o cenário 1 apresentou os mesmos resultados da situação real, ambos não apresentam valores acima de zero. Por outro lado, esse cenário

conseguiu tornar nulo o valor de expiração para o período compreendido entre maio de 2016 e abril de 2017, enquanto que, na situação real, esse valor foi de 60 unidades.

Para o Medicamento7 a política de aquisição periódica aprendida no cenário 1 propôs realizar uma única aquisição no início do período compreendido entre maio de 2016 e abril de 2017 de 21 unidades, em maio de 2016 a um custo de R\$306,60, retratado no gráfico da Figura 44.

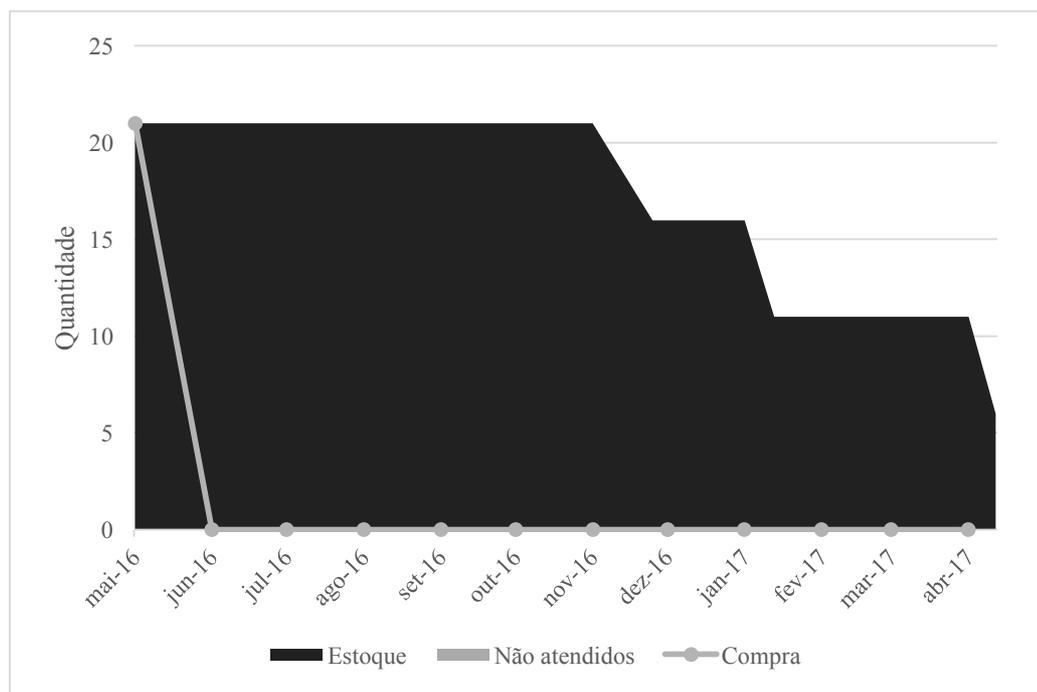


Figura 44 – Comportamento do Medicamento7 para o cenário 1

Fonte: Autoria própria

O cenário 1 apresentou resultados zero nas dimensões número de unidades não entregues e expiração. A situação real teve 15 unidades não atendidas e nenhuma unidade expirada. Ele teria um custo total de R\$283.527,45. A seguir serão apresentados os resultados do cenário 2.

5.2.2. Cenário 2

O cenário 2 está alicerçado sob o seguinte questionamento: “O que mudaria nos resultados do cenário anterior, caso o limite de orçamento mensal aumentasse de R\$50.000,00 para R\$100.000,00, sem alterar as políticas de aquisição aprendidas naquele cenário? ”. Uma das indagações é saber se as primeiras opções de compras, nas políticas de aquisições, serão atendidas. Ou seja, se as melhores opções em cada momento de compra serão escolhidas. É possível concluir que é factível que o orçamento mensal, ou teto possível de gastos, seja

estipulado para tal valor, pois na situação real há meses em que ele é ultrapassado, chegando ao valor de R\$338.270,00, em janeiro de 2017.

Esse cenário utiliza as políticas da aplicação do método proposto nos mesmos parâmetros do cenário 1. Em termos concretos, três dos sete medicamentos selecionados teriam seus valores impactados por essa mudança de orçamento. São eles: Medicamento2, Medicamento3 e Medicamento5. Seguindo a sequência da prioridade relativa, o primeiro a ser analisado será o Medicamento2, inicialmente pelo gráfico da Figura 45.

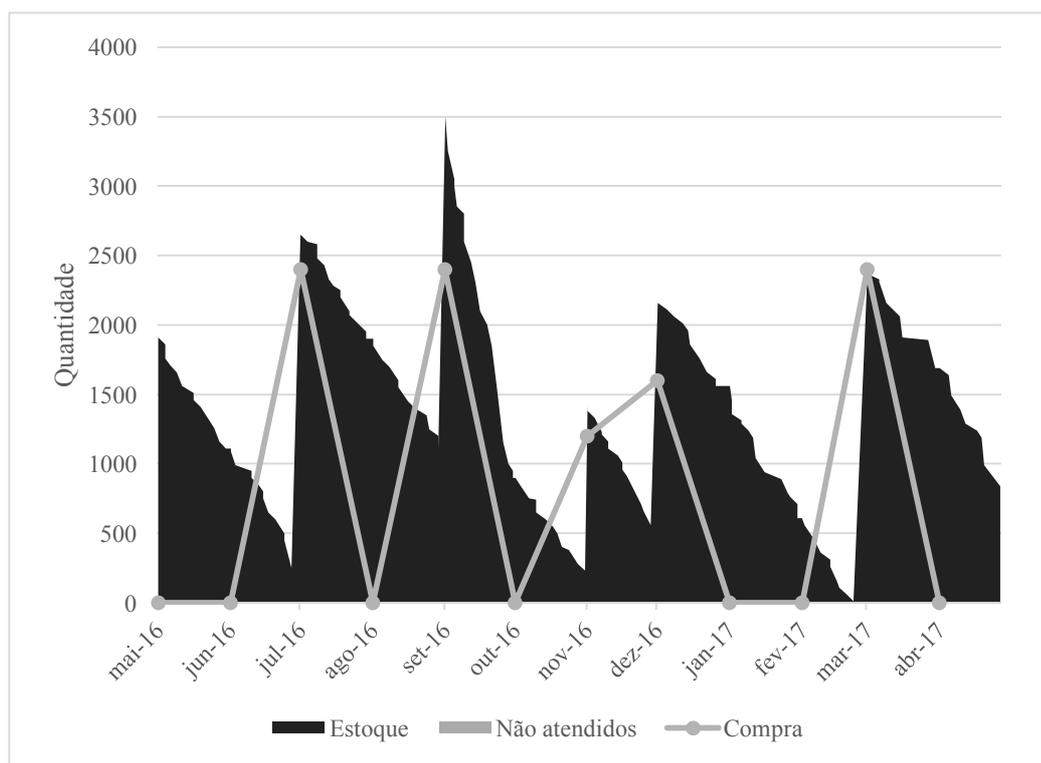


Figura 45 – Comportamento do Medicamento2 para o cenário 2

Fonte: Autoria própria

O aumento do limite de orçamento mensal, em relação ao cenário 1, provocaria algumas mudanças nas aquisições mensais desse medicamento. Mesmo que o orçamento do cenário 1 só tenha limitado a compra em um único mês, julho de 2016, alterá-la geraria consequências em cadeia nos meses à jusante, devido aos níveis do estoque. Essas modificações estão resumidas na Tabela 13.

Essas alterações provocariam um gasto total nesse medicamento de R\$200.000,00, o que aumentaria, em relação ao cenário 1, de R\$152.000,00, mas uma diminuição, em relação a situação real, de R\$114.150,00. O valor de não atendimentos para a demanda, enquanto que na situação real esse valor foi de 950 unidades e no cenário 1 esse valor seria de 3.510 unidades, e de precibilidade.

Tabela 13 – Alterações das aquisições do Medicamento2 no cenário 2 em relação ao cenário 1

Mês / Ano	Quantidade do cenário 1	Quantidade do cenário 2	Valor da aquisição (R\$)
Julho de 2016	600	2.400	48.000,00
Agosto de 2016	2.400	0	-
Setembro de 2016	0	2.400	48.000,00
Outubro de 2016	2.400	0	-
Novembro de 2016	0	1.200	24.000,00
Dezembro de 2016	0	1.400	32.000,00
Janeiro de 2017	1.200	0	-
Fevereiro de 2017	1.600	0	-
Março de 2017	0	2.400	48.000,00

Fonte: Autoria própria

O Medicamento3 tem o comportamento retratado no gráfico da Figura 46.

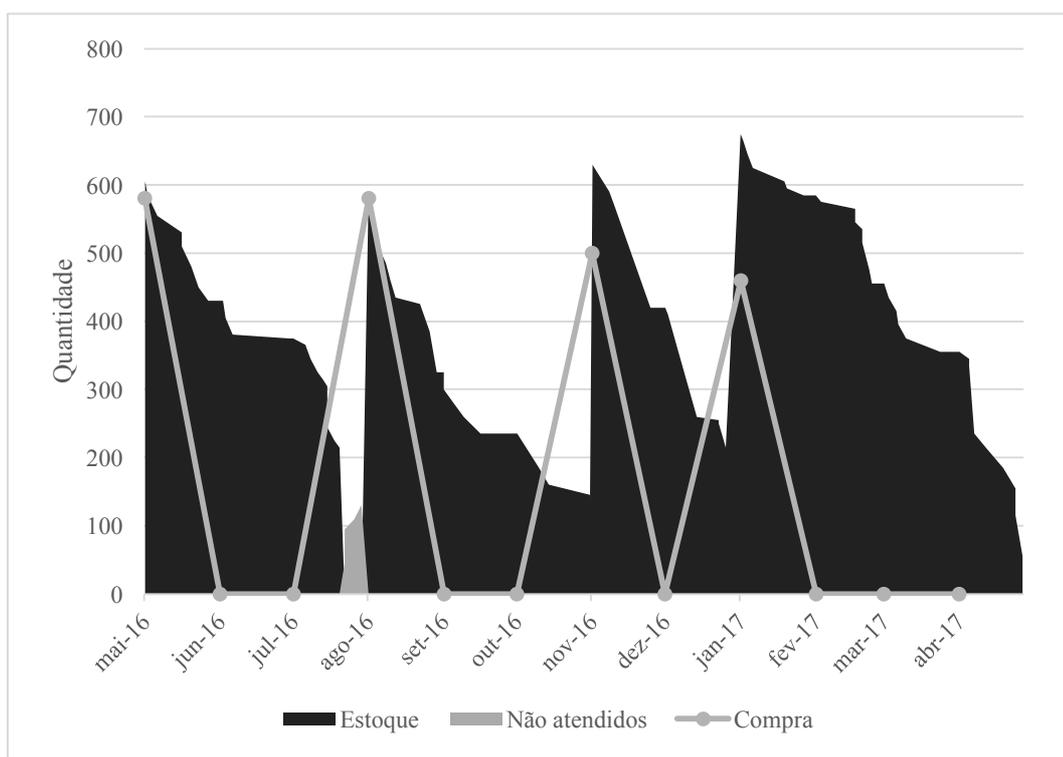


Figura 46 – Comportamento do Medicamento3 para o cenário 2

Fonte: Autoria própria

Semelhante ao que aconteceria com o Medicamento2, a limitação do orçamento só impediria a aquisição de unidades do medicamento em um mês, agosto de 2016. A mudança acarretaria consequências em meses posteriores. Essas modificações estão resumidas na Tabela 14.

Tabela 14 – Alterações das aquisições do Medicamento3 no cenário 2 em relação ao cenário 1

Mês / Ano	Quantidade do cenário 1	Quantidade do cenário 2	Valor da aquisição (R\$)
Agosto de 2016	80	580	11.977,00
Setembro de 2016	580	0	-
Novembro de 2016	0	500	10.325,00
Dezembro de 2016	460	0	-
Janeiro de 2017	0	460	9.499,00
Março de 2017	460	0	-

Fonte: Autoria própria

O gasto total nesse medicamento para o cenário 2 seria de R\$43.778,00, o que provocaria um aumento, em relação ao cenário 1 de R\$31.801,00, mas uma diminuição, em relação a situação real, de R\$159.524,00.

O ganho mais significativo que teria sido obtido é referido à dimensão não atendimento, pois provocaria uma diminuição em relação ao que aconteceria no cenário 1, com 950 demandas não atendidas.

Por fim, semelhante ao que aconteceria com os dois medicamentos anteriores nesse cenário, a limitação do orçamento só impediria a aquisição de unidades do medicamento em um mês, outubro de 2016, conforme gráfico da Figura 46. A mudança acarretaria consequências em mais três meses posteriores. Essas modificações estão resumidas na Tabela 15.

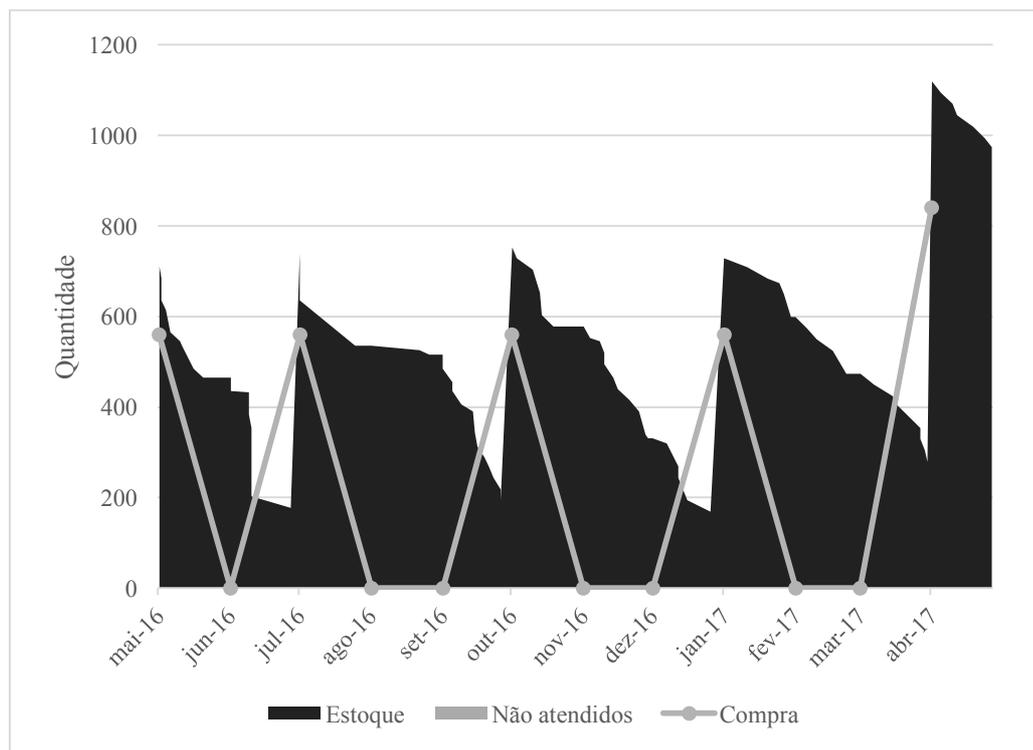


Figura 47 – Comportamento do Medicamento5 para o cenário 2

Fonte: Autoria própria

Tabela 15 – Alterações das aquisições do Medicamento5 no cenário 2 em relação ao cenário 1

Mês / Ano	Quantidade do cenário 1	Quantidade do cenário 2	Valor da aquisição (R\$)
Outubro de 2016	0	560	8.898,40
Novembro de 2016	840	0	-
Janeiro de 2017	0	560	8.898,40
Abril de 2017	460	0	-

Fonte: Autoria própria

O gasto total em aquisições para o para o cenário 2 seria de R\$321.217,55, o que provocaria um aumento, em relação ao cenário 1 de R\$37.690,10, mas uma diminuição, em relação a situação real, de R\$283.955,45. No presente cenário tanto os valores de não atendimento quanto de expiração tiveram seus valores igual a zero.

5.2.3. Cenário 3

O cenário 3 analisou os resultados das utilizações das políticas de aquisição de medicamentos quando o aprendizado considera o orçamento mensal de R\$100.000,00, levando em consideração os mesmos parâmetros do cenário 1. Justifica-se essa mudança para avaliar se o estabelecimento do orçamento no aprendizado tem algum impacto nos resultados.

A simulação ocorreu em um tempo aproximado de 9 horas e 28 minutos e as políticas de aquisição de medicamentos estão presentes no APÊNDICE C. Todas as compras que seriam realizadas conseguiriam ser feitas atendendo a primeira sugestão da política de aquisição.

A política de aquisição periódica aprendida no cenário 3 para o Medicamento1 geraria um ciclo bimestral que varia entre uma compra de 4.800 unidades em um mês e nenhuma compra em outro mês, a partir do mês de julho de 2016. Esse desempenho fez com que, semelhante ao que ocorreria no cenário 1, o medicamento apresentaria um comportamento de gráfico serra, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 48, em que o nível do estoque a cada dois meses chegaria a valores entre 800 e 900 unidades.

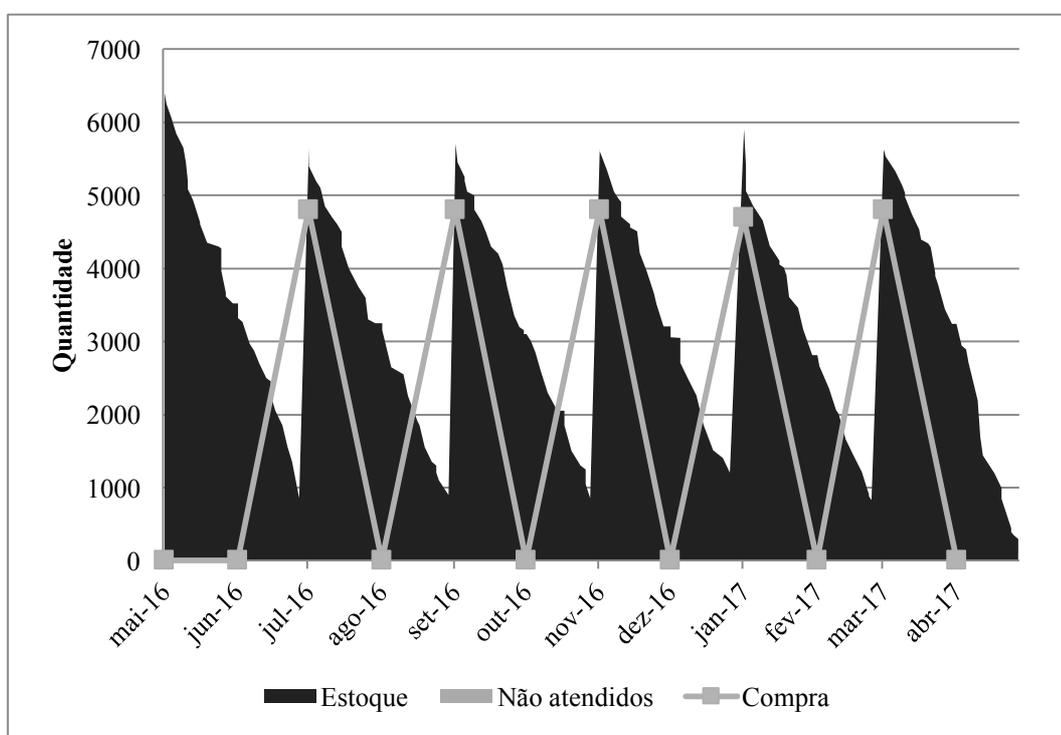


Figura 48 – Comportamento do Medicamento1 para o cenário 3

Fonte: Autoria própria

As aquisições desse medicamento para esse período, entre maio de 2016 e abril de 2017, ficariam no valor de R\$22.227,00, abaixo do primeiro e, conseqüentemente, do segundo cenário, que seriam de R\$23.436,00. O Medicamento2 tem o comportamento retratado no gráfico da Figura 49.

As aquisições mensais de medicamentos seriam alternadas entre meses que ocorreriam compras e meses que não ocorreriam, tendo como exceção os meses de setembro e outubro de 2016, o primeiro sendo o mês com a maior demanda para o medicamento para o período de maio de 2016 e abril de 2017. Nesses dois meses, haveria a aquisição de 1.800

unidades do medicamento. E, mesmo assim, não evitou que houvesse o maior valor de demanda não atendida, em setembro de 2016, com 2950 unidades não atendidas.

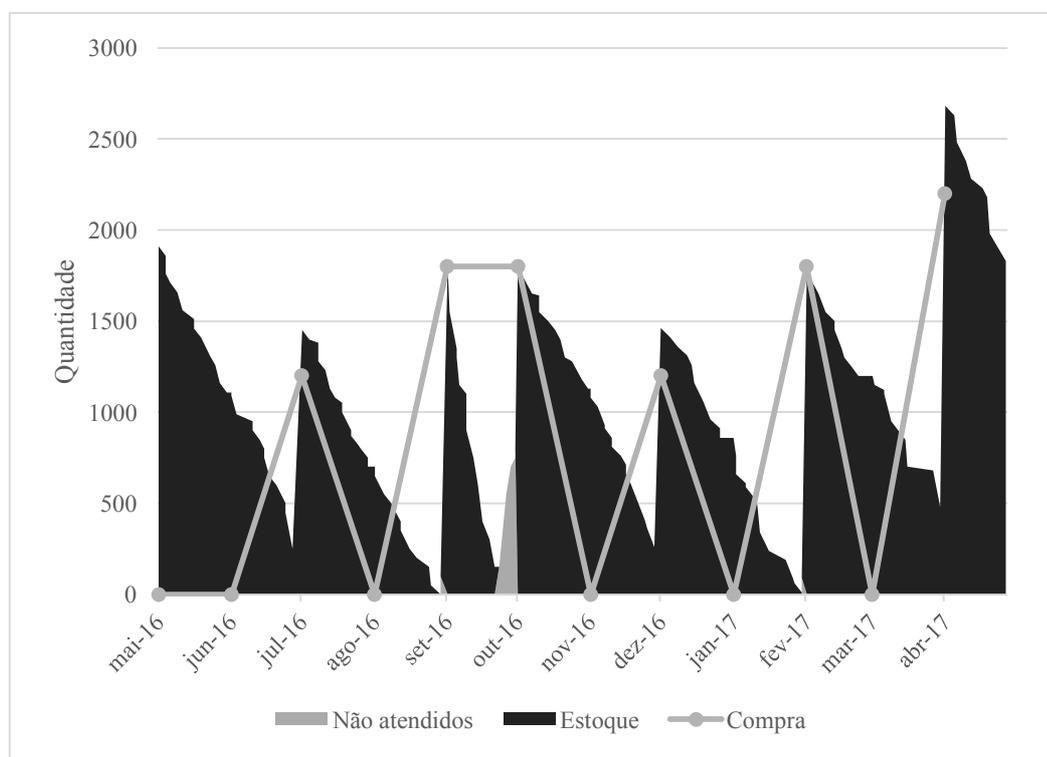


Figura 49 – Comportamento do Medicamento2 para o cenário 3

Fonte: Autoria própria

O medicamento apresentaria um aumento de 2.190 unidades não atendidas em relação à situação real, o que representa aproximadamente um valor de 230,53% devido, principalmente, ao comportamento no mês de setembro de 2016.

O Medicamento3 apresentaria um comportamento sem um padrão bem definido. Alternando ciclos bimestrais, de um mês adquirindo seguido de um mês sem adquirir, como ocorreu em agosto e setembro de 2016 e março e abril de 2017, e ciclos trimestrais, com um mês com aquisição seguido de dois meses sem, como os meses de maio, junho e julho de 2016 e dezembro de 2016, janeiro e fevereiro de 2017, podendo ser observado no gráfico da Figura 50. Como não houve compra no mês de julho de 2016, esse com maior demanda no período de maio de 2016 e abril de 2017 para o medicamento, seria registrado o mês com maior índice de não atendimento à demanda, com 465 unidades não atendidas. Em relação ao número de unidades do medicamento não atendidos, o cenário 3 apresenta o mesmo valor que o cenário 2, 465 unidades, ocorrido no mês de julho de 2016.

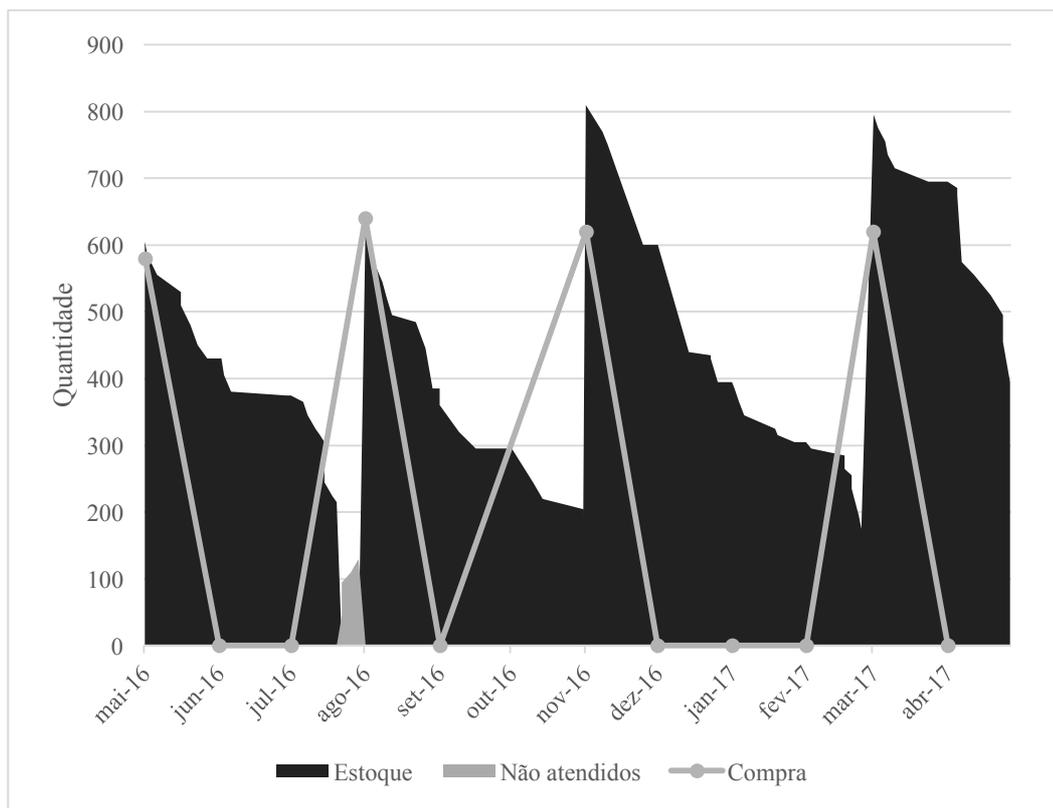


Figura 50 – Comportamento do Medicamento3 para o cenário 3

Fonte: Autoria própria

Semelhantemente ao que ocorreria no cenário 1, o nível de estoque no início do período compreendido entre maio de 2016 e abril de 2017, com um total de 1.812 unidades, faria com que a primeira aquisição do Medicamento4 só tivesse sido efetuada seis meses após o início desse período, em novembro de 2015, de 700 unidades a um custo de R\$2.037,00, conforme o gráfico da Figura 51. A outra aquisição que seria feita nesse período ocorreria no mês de janeiro de 2017, de 675 unidades a um custo de R\$1.964,25.

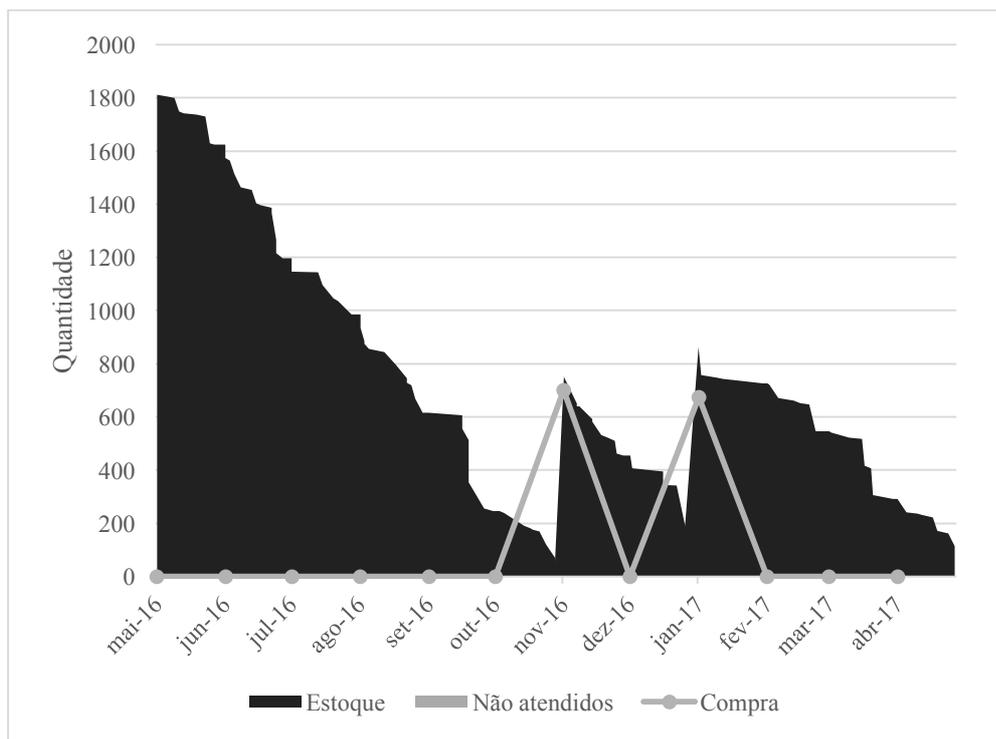


Figura 51 – Comportamento do Medicamento4 para o cenário 3

Fonte: Autoria própria

As aquisições do Medicamento5 no cenário 3 aconteceriam em quatro meses distintos, conforme o gráfico da Figura 52. A primeira ocorreria logo no começo do período de maio de 2016 e abril de 2017, com a compra de 700 unidades, a um custo de R\$11.123,00, seguido de dois meses sem aquisições. A segunda compra aconteceria no mês de agosto de 2016, repetindo a compra de 700 unidades e seguindo três meses sem aquisições. No mês de dezembro de 2016 aconteceria a terceira aquisição, com a compra de 480 unidades, a um custo de R\$7.627,00. A última compra aconteceria no mês de março de 2017, após dois meses sem atividades de aquisição. Essa quarta compra seria na mesma dimensão das duas primeiras, ou seja, de 700 unidades. O cenário não apresentaria valores de não atendimento, igualmente à situação real e aos cenários 1 e 2.

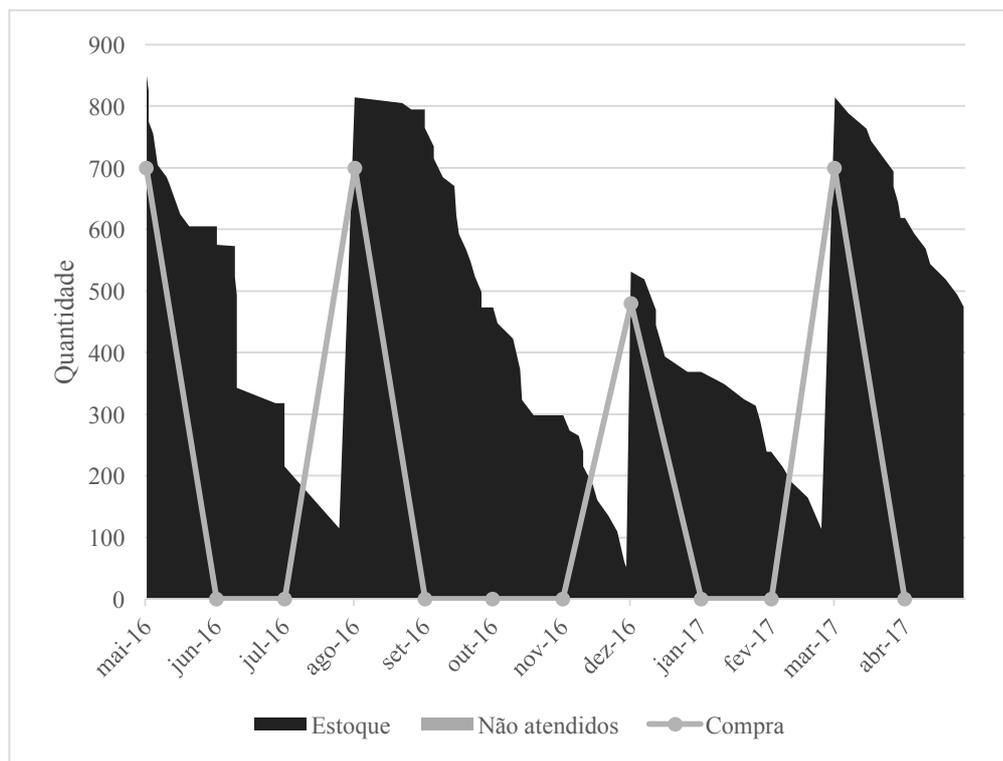


Figura 52 – Comportamento do Medicamento5 para o cenário 3

Fonte: Autoria própria

No cenário 3, haveria uma única aquisição, no mês de novembro de 2016, para o Medicamento6, de 53 unidades a um custo de R\$26,50, o mesmo valor para os dois primeiros cenários, conforme o gráfico da Figura 53. O cenário não apresentaria valores de não atendimento, igualmente à situação real e aos cenários 1 e 2.

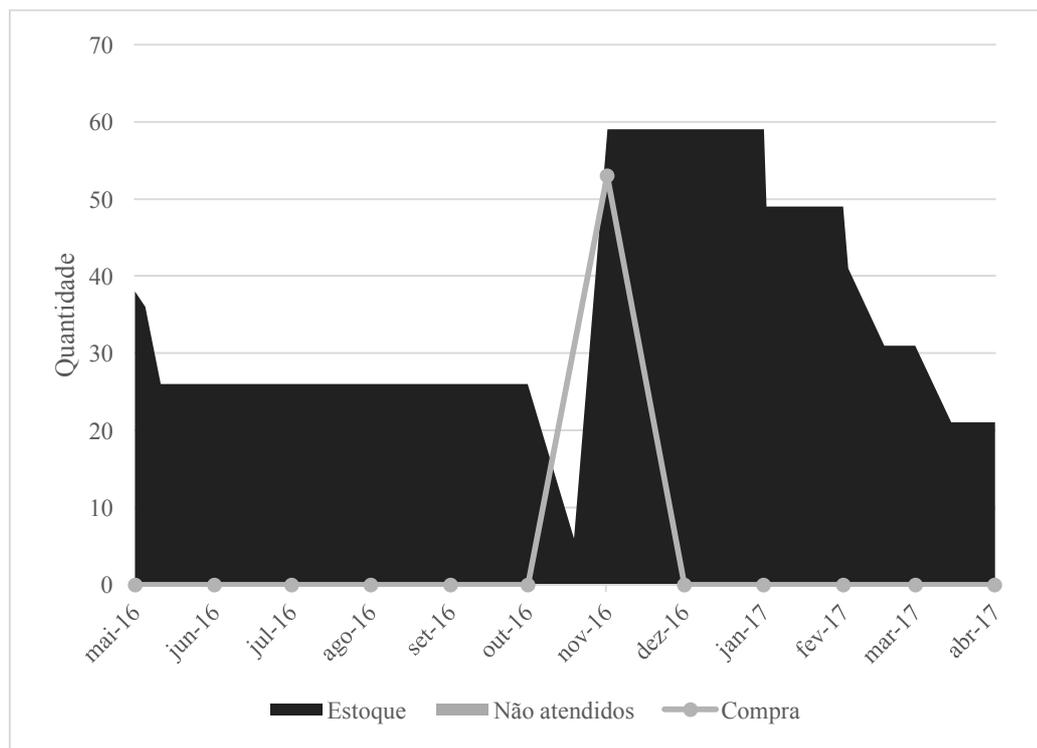


Figura 53 – Comportamento do Medicamento6 para o cenário 3

Fonte: Autoria própria

Semelhante ao que aconteceu no cenário 1, para o Medicamento7 a política de aquisição periódica aprendida no cenário 3 propôs realizar uma única aquisição no início do período, compreendido entre maio de 2016 e abril de 2017, contudo, de 16 unidades, em maio de 2016 a um custo de R\$233,60, retratado no gráfico da Figura 54. O cenário 3 apresentou os resultados nulos nas dimensões número de unidades não entregues e expiração. A situação real teve 15 unidades não atendidas e nenhuma unidade expirada.

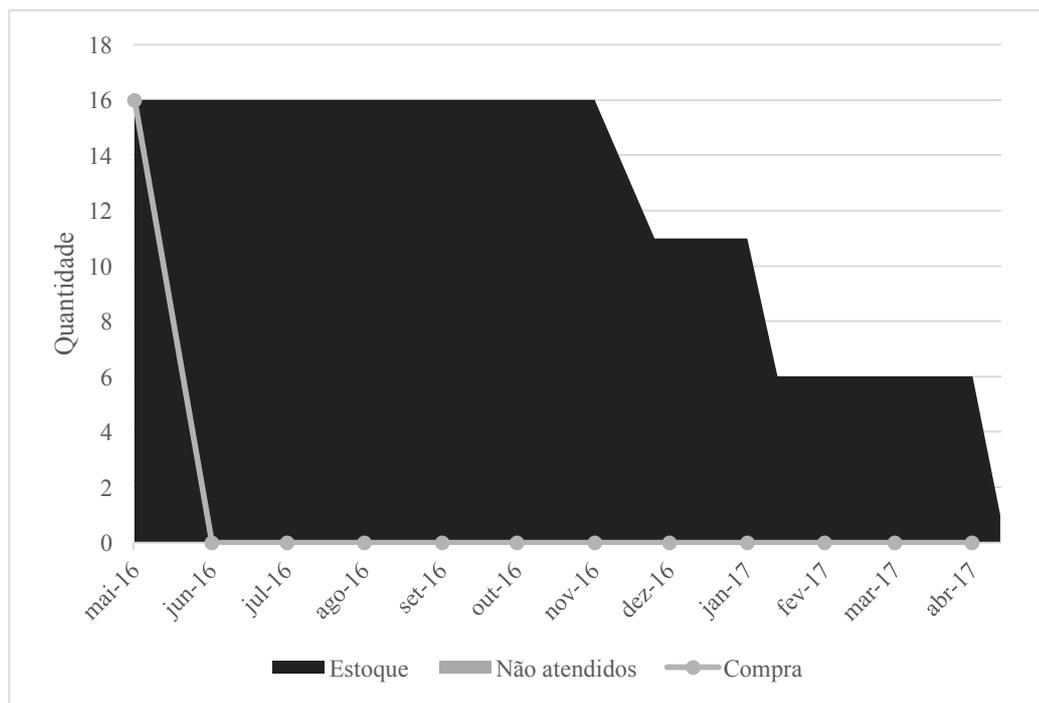


Figura 54 – Comportamento do Medicamento7 para o cenário 3

Fonte: Autoria própria

O dispêndio total nesse cenário com compras seria de R\$318.283,55. Que representaria um aumento de R\$34.756,10 em relação ao cenário 1 e uma diminuição de R\$2.934,00 em relação ao cenário 2. Em comparação a situação real, o cenário conseguiria representar uma diminuição de R\$286.889,45.

5.2.4. Cenário 4

O cenário 4 analisou os resultados das políticas de aquisição de medicamentos quando não foi considerado o limite orçamentário no aprendizado. Ou seja, a heurística de maior importância só foi considerada na aplicação direta. As restrições foram as quantidades máximas que poderiam ter sido compradas para cada produto, conforme a Tabela 8. Foram utilizados os mesmos parâmetros apresentados no tópico 5.2, com exceção dos pesos falta de medicamento e expiração do Medicamento7, que passaram de 0,2 e 0,8 para 0,15 e 0,85, pois a política iria sugerir a compra de 0 unidades para esse medicamento, independente do estado.

A simulação ocorreu em um tempo aproximado de 8 horas e 12 minutos e as políticas de aquisição de medicamentos estão presentes no APÊNDICE D. Será apresentado inicialmente o Medicamento1, no gráfico da Figura 55.

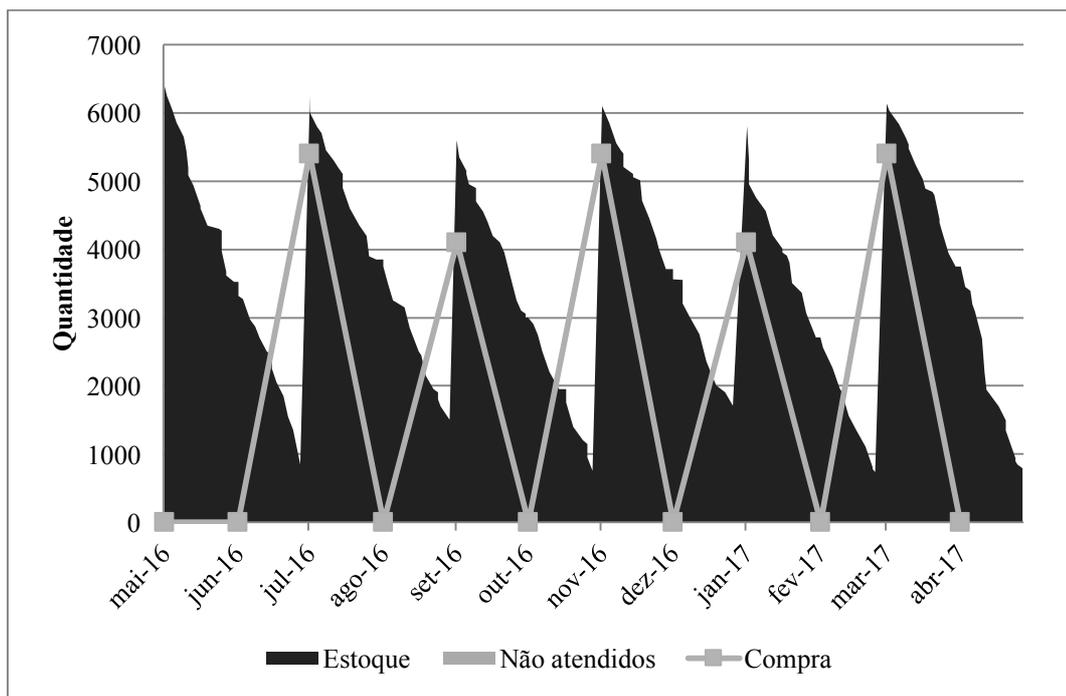


Figura 55 – Comportamento do Medicamento 1 para o cenário 4

Fonte: Autoria própria

A política de aquisição periódica aprendida no cenário 4 para o Medicamento 1 geraria um ciclo bimestral que varia entre uma compra de 5.400 unidades ou 4.100 unidades, alternando em um mês e nenhuma compra em outro mês, a partir do segundo mês do período analisado, o mês de junho de 2016, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 55. Esse desempenho fez com que, semelhante ao que ocorreria nos cenários 1 (igualmente no 2) e 3, o medicamento apresentaria um comportamento de gráfico serra, em que o nível do estoque a cada dois meses chegaria a valores entre 800 e 1.200 unidades.

As aquisições desse medicamento para esse período entre maio de 2016 e abril de 2017 ficariam no valor de R\$22.692,00, abaixo do primeiro e, conseqüentemente do segundo cenário, que seriam de R\$23.436,00 e acima do terceiro cenário, que seria de R\$22.227,00. A política de aquisição periódica aprendida para esse medicamento nesse cenário não geraria desperdício. Essa diminuição da quantidade do medicamento em estoque representaria uma economia de R\$8.312,00, aproximadamente 26,81%.

O comportamento das aquisições do Medicamento 2 para o cenário 4 seguiria um ritmo bimestral, retratado no gráfico da Figura 56, assim como o Medicamento 1, de alternância entre haver ou não compra de novas unidades. Porém, haveria uma seqüência de dois meses sem compra, maio e junho de 2016, uma seqüência de dois meses seguidos de compras, setembro e outubro de 2016, e uma seqüência de três meses sem compra, janeiro,

fevereiro e março de 2017. Esse comportamento evidencia a característica adaptativa da política aqui proposta.

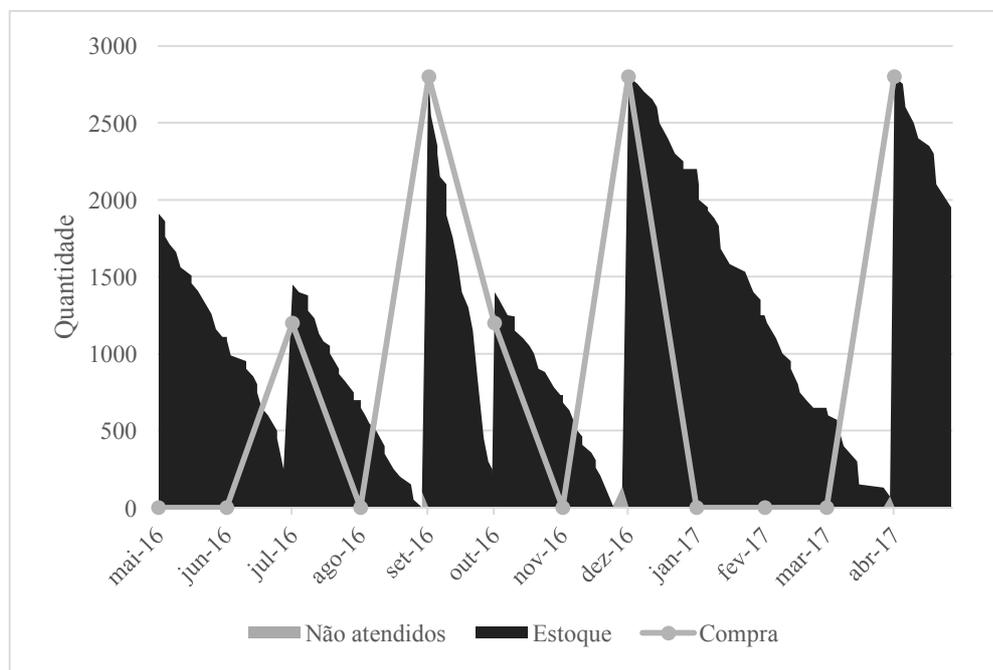


Figura 56 – Comportamento do Medicamento2 para o cenário 4

Fonte: Autoria própria

Na dimensão não atendimento à demanda, haveria três períodos que apresentariam valores diferentes de zero, e sempre no último, ou dois últimos, dia com demanda. A primeira no dia 29 de agosto de 2016, com 100 unidades não atendidas, a segunda ocorrência aconteceria nos dias 25 e 28 de novembro de 2016, somando 180 unidades, e o último ocorreria no dia 30 de março de 2017, com 70 unidades. Dessa forma, ocorreria uma diminuição, em relação a situação real, de 600 unidades que poderiam ter sido entregues. O próximo medicamento é o Medicamento3, com o comportamento retratado no gráfico da Figura 57.

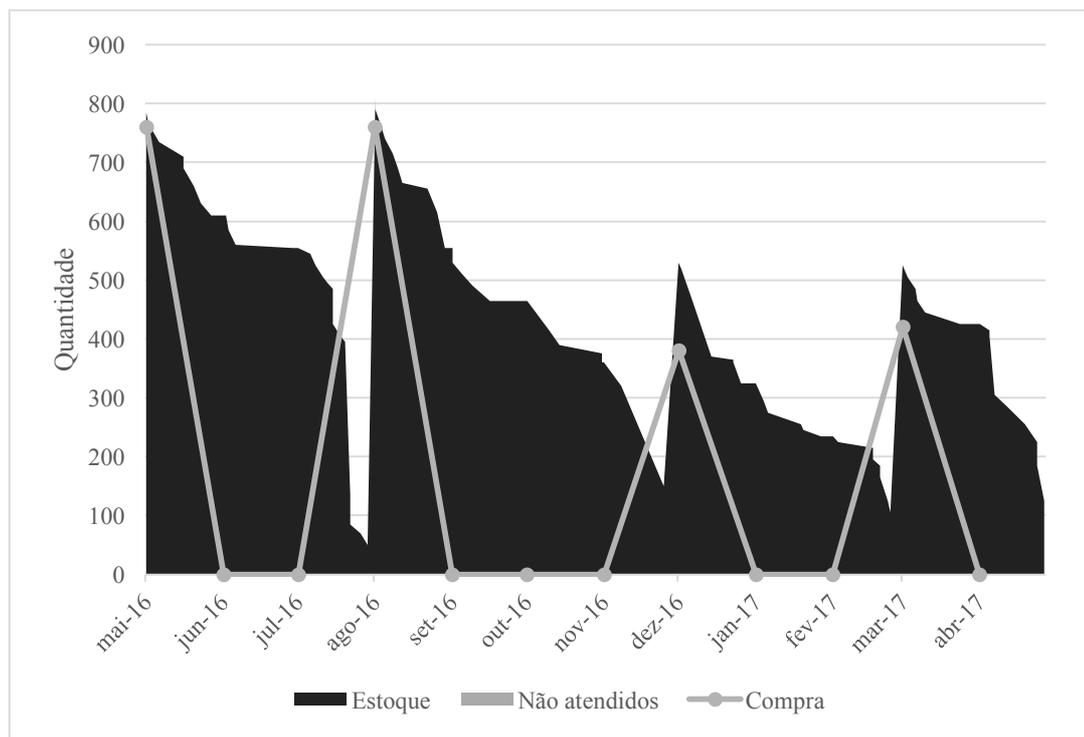


Figura 57 – Comportamento do Medicamento3 para o cenário 4

Fonte: Autoria própria

No cenário 4, haveria quatro aquisições para o Medicamento3, conforme o gráfico da Figura 57. A primeira logo no início do período, em maio de 2016, de 760 unidades, a um custo de R\$15.694,00. A segunda compra aconteceria no mês de agosto de 2016, com a mesma quantidade, 760 unidades. Em dezembro de 2016 aconteceria a terceira aquisição, de 380 unidades, a um custo de R\$7.847,00. Por fim, em março de 2017 aconteceria a última, de 420 unidades, a um custo de R\$8.673,00.

As aquisições desse medicamento no quarto cenário somariam um montante de R\$47.908,00, representando uma diferença de R\$155.394,00, em relação a situação real, em torno de 76,44%. Essa diminuição representa a maior que seria alcançada nesse cenário em relação a situação real, tanto em medida monetária quanto percentual. Esse valor também seria menor que o alcançado pelo cenário 3, mas maior que os que seriam alcançados nos cenários 1 e 2. Na dimensão medicamentos não atendidos, tanto o cenário 4 quanto a situação real não apresentariam não entregas do medicamento. Ambos os cenários apresentaram valor nulo para expiração.

O nível de estoque no início do período compreendido entre maio de 2016 e abril de 2017 do Medicamento4, com um total de 1.812 unidades, fez com que a primeira aquisição só fosse efetuada seis meses após o início desse período, em novembro de 2015, de 675 unidades a um custo de R\$1.964,25, conforme o gráfico da Figura 58. Posteriormente, a

política aprendida recomendaria que houvessem mais duas aquisições, a primeira no mês de janeiro de 2017, de 575 unidades a um custo de R\$1.673,25, e a segunda no mês de abril de 2017, da mesma quantidade e custo. O cenário 4 não apresentaria unidades demandadas do Medicamento4 não atendidas. Isso representaria os mesmos resultados da situação real.

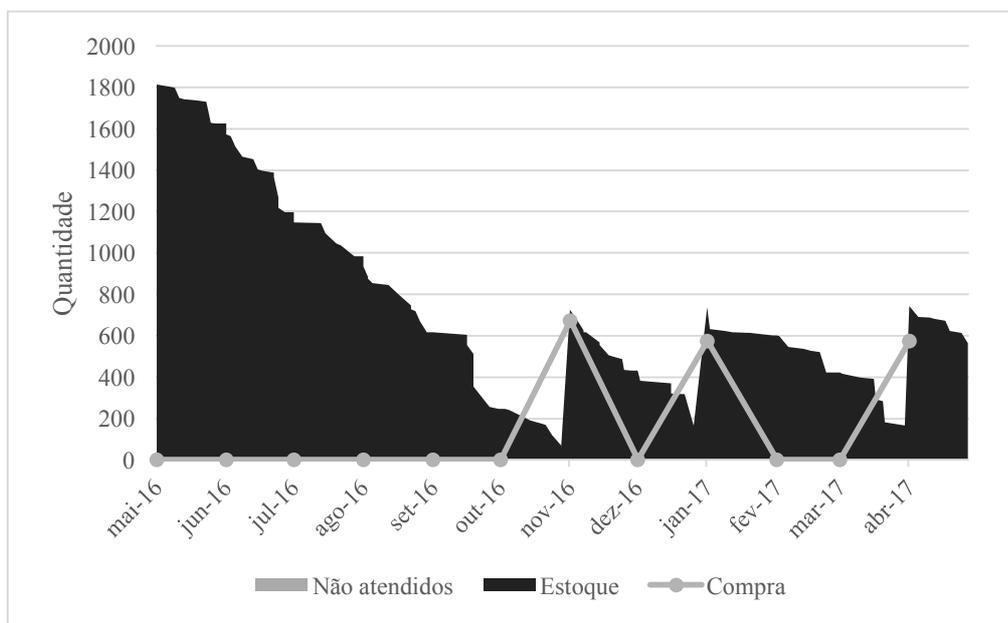


Figura 58 – Comportamento do Medicamento4 para o cenário 4

Fonte: Autoria própria

O comportamento do Medicamento5 no cenário 4 seguiria uma sequência uma compra em um mês, seguido por um mês sem compra, alterando com um mês de compra continuado por dois meses sem, conforme gráfico da Figura 59. Os meses de junho e dezembro de 2016 realizariam a aquisição da mesma quantidade, 500 unidades, a um custo de R\$7.945,00, seguidos por um mês sem aquisição. Nos meses de setembro de 2016 e janeiro de 2017, as aquisições, respectivamente de 500 unidades e 420 unidades, essa a um custo de R\$6.673,80, seriam seguidos por dois meses sem compras.

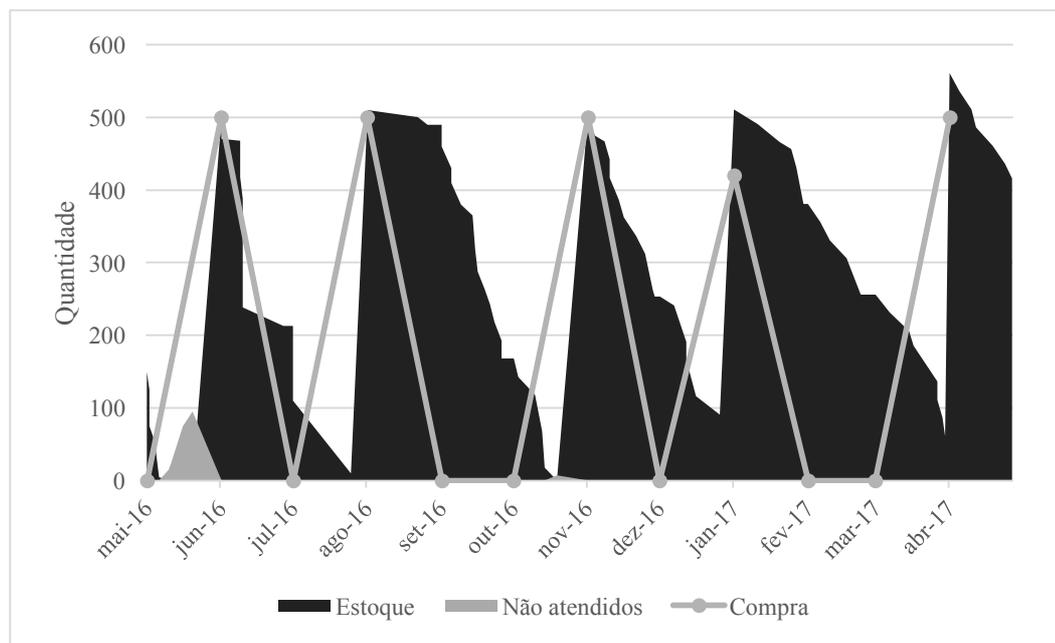


Figura 59 – Comportamento do Medicamento5 para o cenário 4

Fonte: Autoria própria

Haveria o não atendimento da demanda em 210 unidades para o Medicamento5. Desses, 210 ocorreriam em maio de 2016 e 7 em outubro de 2016. Isso representa uma diminuição de 2.432 unidades, ou em torno de 91,81%, para a situação real no mesmo medicamento. Essa foi a menor diminuição para esse medicamento que seria encontrada em todos os cenários.

Em se tratando do Medicamento6, no cenário 4 ele realizaria duas compras, conforme o gráfico da Figura 60. Uma aquisição em novembro de 2016, de 22 unidades, a um custo de R\$11,00, e outra em março de 2017, com a mesma quantidade. Em relação ao não-atendimento, o cenário 4 apresentaria os mesmos resultados dos outros cenários, com valor nulo para demanda não atendida.

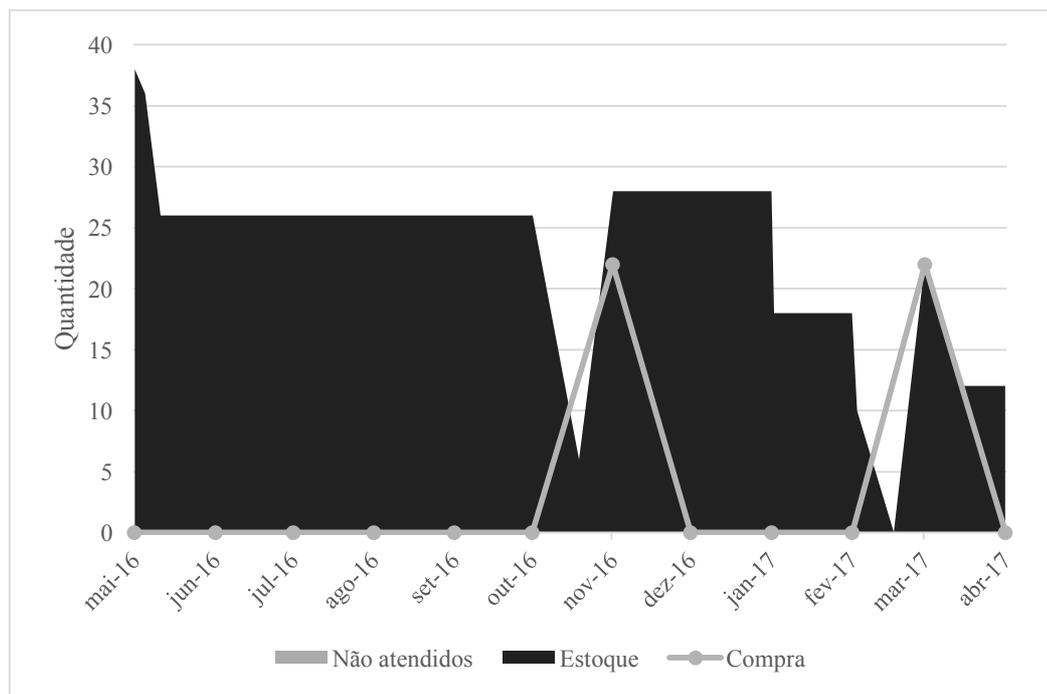


Figura 60 – Comportamento do Medicamento6 para o cenário 4

Fonte: Autoria própria

Haveria, nesse cenário para o Medicamento7, duas aquisições, conforme o gráfico da Figura 61. Uma no início, de 9 unidades a um custo de R\$131,40 e uma em fevereiro de 2017, com a mesma quantidade e custo. O custo total desse medicamento no quarto cenário seria de R\$262,80, maior dentre todos os outros cenários. Ele geraria 1 não atendimento, em janeiro de 2017, diminuindo em 14 da situação real.

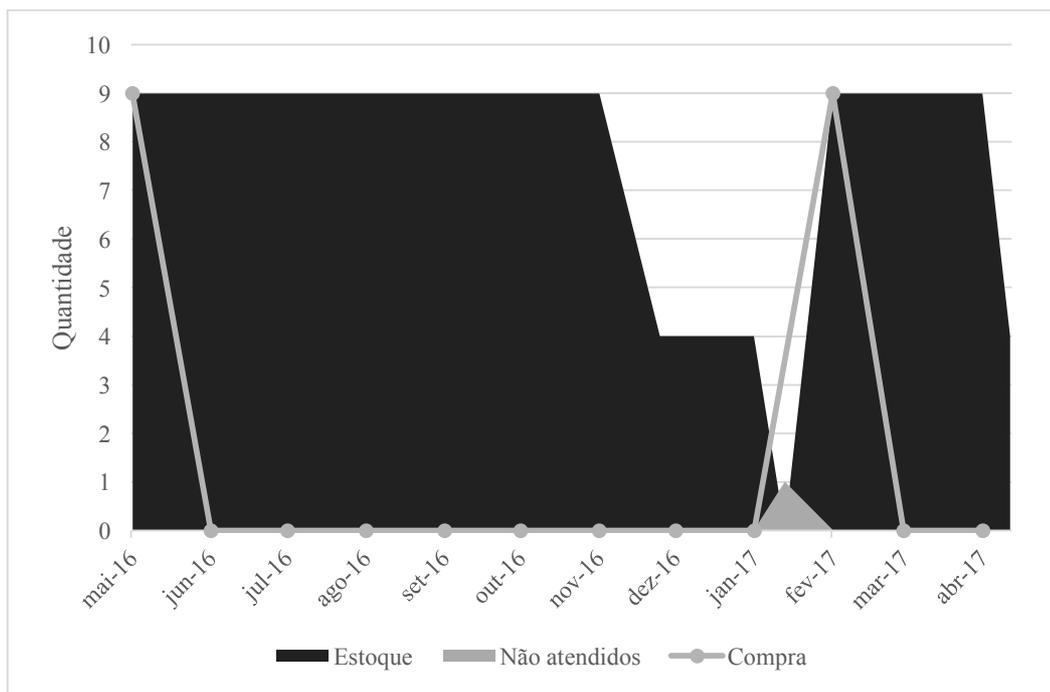


Figura 61 – Comportamento do Medicamento7 para o cenário 4

Fonte: Autoria própria

5.3. Análise geral

Nesse tópico, serão apresentados os dados dos quatro cenários em relação a situação real de forma agrupada. Dessa forma, serão analisados os potenciais ganhos e perdas de cada cenário em relação aos demais. Serão analisados os critérios gastos totais e demanda não atendida. A dimensão expiração não será abrangida aqui, pois todos os cenários apresentariam valor nulo, melhorando, assim, esse índice comparado com a situação real.

5.3.1. Custos

Uma primeira observação que pode ser feita é a de que todos os cenários apresentam uma melhoria significativa em relação a situação real. O gráfico da Figura 62 apresenta mais detalhes.

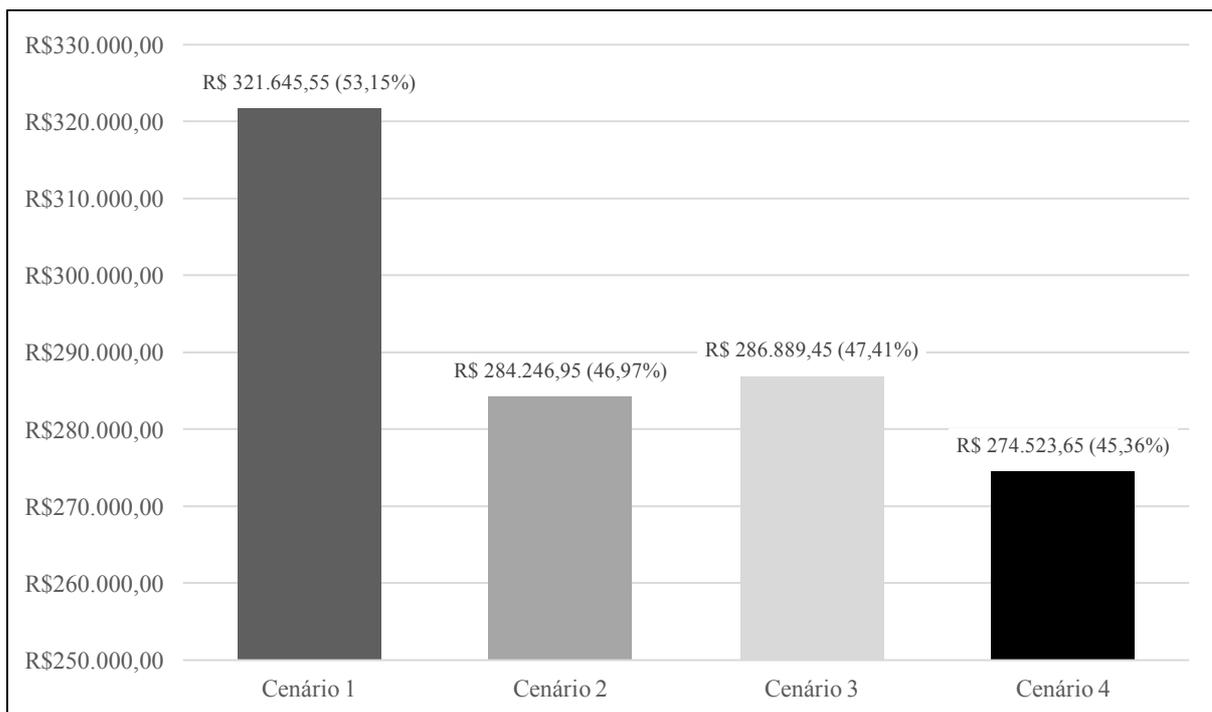


Figura 62 – Diferença dos gastos entre a situação real e os cenários

Fonte: Autoria própria

O gráfico da Figura 62 apresenta as potenciais diferenças financeiras do que seria gasto na situação real em cada um dos quatro cenários apresentados. O menor valor que seria economizado é de R\$274.523,65, aproximadamente 45,36%, no quarto cenário, e o maior seria de R\$321.645,55, aproximadamente 53,15%, no primeiro cenário. Convém ressaltar que esse montante que seria economizado no primeiro cenário, em relação a situação real, é maior até do que seria dispendido nesse mesmo primeiro cenário, R\$283.527,45, em termos totais. Uma diferença de R\$38.118,10. As diminuições que seriam alcançadas em cada cenário gerariam uma média de R\$291.826,40 que geraria uma economia de R\$24.318,87 mensais, no período entre maio de 2016 e abril de 2017.

5.3.2. Demanda não atendida

Diferentemente dos gastos, não houve uma harmonia entre aumento ou diminuição do número de unidades não atendidas nos cenários. Dessa forma, os cenários foram divididos em dois grupos. O primeiro, presente no gráfico da Figura 63, apresenta os cenários que gerariam um aumento do número de medicamentos não atendidos, em relação a situação real. Por outro lado, o gráfico da Figura 64 mostra o grupo dos cenários que provocariam uma diminuição desses valores.

As duas figuras estão alinhadas para que seja possível visualizar que, mesmo no grupo que haveria aumento, proporcionalmente ele é menor que os benefícios que poderiam gerar. Concomitantemente em que o cenário 1 geraria o maior número de medicamentos não atendidos, 846, aproximadamente 23,41%, ele geraria a maior economia. Ou seja, mesmo que a política desse cenário e o orçamento de R\$50.000,00 mensais fossem utilizados, seriam permitidas ações emergenciais para dirimir as consequências negativas.

O cenário 4 apresentaria um aumento relativamente pequeno, de 95 unidades, aproximadamente 2,63%. A maior diminuição aconteceria no cenário 2, de 3149 unidades, aproximadamente 87,13%, seguido do cenário 4, de 3046 unidades, aproximadamente 84,28%.

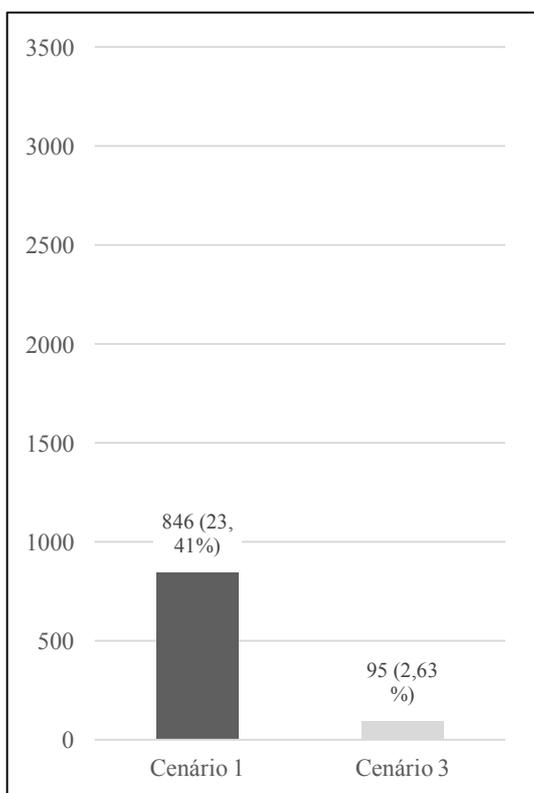


Figura 63 – Aumento da demanda não atendida entre a situação real e os cenários

Fonte: Autoria própria

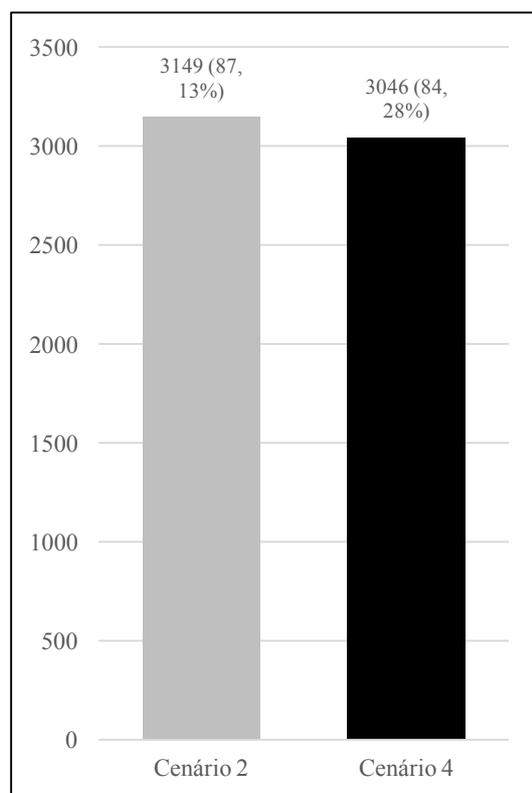


Figura 64 – Diminuição da demanda não atendida entre a situação real e os cenários

Fonte: Autoria própria

6. CONCLUSÃO

6.1. Verificação dos objetivos e resposta à questão de pesquisa

A construção de um método de geração de políticas de aquisição de medicamentos permitiu uma contribuição racional no gerenciamento do estoque de medicamentos em uma farmácia hospitalar, com a utilização de procedimento automático para gerar resultados satisfatórios nos quesitos montante de compras, demanda não atendida e perecibilidade, atendendo às flutuações que ocorrem na demanda e procurando ser adequado a um orçamento limitado.

O resultado dessa pesquisa, a política de aquisição de medicamentos, permite que o farmacêutico e sua equipe tenham subsídios para uma tomada de decisão racional e rápida, bastando para isso tão somente observar a quantidade individual de medicamentos em cada estoque e buscar a quantidade a ser comprada, presente nessa política em forma de tabela. A geração da política da presente tese não utilizou nenhuma outra ferramenta analítica específica para a gestão de estoque.

Os requisitos são conhecer o comportamento histórico do sistema, incluindo a demanda que já aconteceu, a quantidade que já foi comprada e como é feita a seleção e distribuição dos medicamentos. E, além disso, dimensionar como os parâmetros, como o tamanho do lote, as importâncias relativas, os pesos das dimensões falta e expiração dos medicamentos, os valores máximos de compra de cada medicamento, as amplitudes em cada estado e o número máximo de estado para cada medicamento.

O uso da ferramenta mostrou resultados expressivos, de acordo com sua aplicação em uma amostra de 7 medicamentos e em 4 cenários diferentes, que está resumido no tópico 5.3. Esses resultados mostraram que a utilização da política aprendida representaria uma melhora significativa nos índices gasto total dos medicamentos, não atendimento e perecibilidade. No primeiro e no último, haveria uma melhoria em todos os 4 cenários, enquanto que no segundo haveria melhoria em 2 dos 4. No entanto, nos cenários que não acontecessem essa melhoria, o impacto poderia ser minimizado pela atuação humana, o que já acontece concretamente no hospital em questão.

Dessa forma, os resultados evidenciam que os objetivos da presente tese foram alcançados, pois o método apresentado em 3.2 foram implementados e testados no tópico 5. A estrutura de tomada de decisão da quantidade de compra de medicamentos foi apresentada no

tópico 4.2.3, que conseguiu gerar as políticas de forma dinâmica e sem interferência humana em sua obtenção. No mesmo tópico foi apresentada a heurística de maior importância, que possibilitou definir uma estrutura que torne o valor do custo total das decisões de compra de medicamentos adequado a um orçamento pré-determinado.

Porém, pode-se concluir que esse objetivo foi alcançado através dessa heurística, mas não somente por ela. No decorrer da execução da pesquisa, surgiu a dúvida sobre a possibilidade do limite orçamentário ter influência direta na geração da política de aquisição de medicamentos. Dessa forma, dois cenários foram testados para fazer essa verificação, primeiro de forma indireta no cenário 2, utilizando as políticas aprendidas no cenário 1 e, posteriormente, de forma direta no cenário 4. Os resultados apresentados no tópico 5.3 mostram que a heurística foi eficaz em produzir resultados limitados pelo orçamento, contudo também mostrou que a sua utilização no processo de geração das políticas pode influenciar para modificar os índices.

6.2. Contribuições da tese

A simulação se mostrou como uma ferramenta poderosa com a utilização do procedimento de aprendizado por reforço, permitindo que um horizonte de decisões sucessivas, importantes para a criação da experiência do agente, seja feita de forma bastante rápida e útil, já que o comportamento analítico do sistema real não é conhecido *a priori*. A utilização da inteligência artificial com a ferramenta aprendizado por reforço apresentou-se eficaz na capacidade sintética do processo de compra de medicamento em uma farmácia hospitalar de um hospital público. A representação do agente farmacêutico auxiliou nesse processo, pois o uso da simulação baseada em agentes possui como características a modularização e o embarque de ferramentas adicionais, como a RL e a heurística de maior importância.

Foi possível perceber com esse estudo que cada uma das ferramentas tratadas conseguiu abranger uma parte essencial das análises, porém, combinadas permitiram uma visão global do processo decisório com bastante satisfação. Dado o impacto da utilização da política em farmácia hospitalar, recomenda-se também que essa política não seja permanente, indicando-se novas políticas conforme novos dados sejam obtidos como, por exemplo, anualmente, para fins de controle de sua eficácia.

Na elaboração do método proposto na presente tese aconteceram algumas dificuldades que merecem destaques. A maior delas foi a obtenção dos parâmetros que identificam univocamente os medicamentos no sistema, já que não é trivial traduzir

informações subjetivas de importância nos quesitos não atendimento e perecibilidade. Para se obter os valores apresentados anteriormente, foram necessárias a execução de um conjunto de instâncias de simulação que não foram documentadas nessa tese, mas que ultrapassaram em número e duração as que foram aqui expostas. Recomenda-se para trabalhos futuros o uso de alguma ferramenta de tradução dessa subjetividade em valores quantificáveis.

Outra dificuldade encontrada foi a tabulação dos dados brutos. Cabe ressaltar que a existência de um sistema de informação gerencial da farmácia hospitalar utilizada como piloto atenuou o trabalho que poderia ter sido feito, caso o mesmo não existisse. Provavelmente, nessa situação hipotética, os dados de demanda, compra, expiração, dentre outros, seriam obtidos de forma direta e manual, por meio de documentos como prontuários médicos, notas fiscais e registros gerenciais diversos.

A definição de uma política de aquisição de medicamentos periódica em uma farmácia hospitalar, que busque a diminuição conjunta do número de medicamentos não atendidos e expirados e que seja limitado a um orçamento foi realizada e testada, mostrando que uma política racional e automática tem potencial para produzir resultados satisfatórios que busquem melhorar alguns índices de saúde pública.

Por fim, o uso do método aqui apresentado possui vantagens em relação a alguns métodos mais tradicionais de gestão de estoque, pois ele consegue agregar algumas informações que não são naturalmente absorvidos pelos métodos tradicionais, como por exemplo a perecibilidade, a variabilidade e as informações subjetivas, sendo mais vantajosa a sua utilização quando o ambiente em que se realiza a sua aplicação apresente essas características em conjunto.

6.3. Sugestões para continuidade do trabalho

Para um entendimento mais abrangente acerca da política de aquisição periódica de itens em estoque, recomenda-se:

- A utilização de ferramentas de apoio a decisão que consiga racionalizar a obtenção de dados e informações subjetivas em expressões numéricas quantificáveis;
- Utilização de modelos de compra com desconto em grandes volumes e como isso afetaria o processo decisório;
- Analisar o impacto da substituição do *First-In, First-Out* (FIFO), ou primeiro que entra, primeiro que sai; pelo *First-Expire, First-Out* (FEFO), ou primeiro que vence,

primeiro que sai; na orientação de consumo dos medicamentos no estoque da farmácia hospitalar;

– Verificar como períodos de compras com intervalo diferentes de 30 dias, inclusive com esses valores variáveis, podem contribuir para uma decisão mais precisa.

APÊNDICE A. DEMANDA DIÁRIA DOS MEDICAMENTOS

Tabela 16 – Frequência relativa do Medicamento1

Demanda	Frequência Relativa
0	59,54%
1	0,16%
2	0,05%
4	0,05%
5	0,05%
8	0,05%
10	0,71%
15	0,11%
20	0,60%
40	0,11%
49	0,05%
50	7,05%
51	0,05%
60	0,11%
61	0,05%
68	0,05%
70	0,16%
75	0,05%
78	0,05%
80	0,11%
82	0,05%
95	0,11%
100	8,86%
103	0,05%
109	0,05%
110	0,11%
117	0,11%
118	0,05%
119	0,05%

120	0,16%
130	0,05%
135	0,05%
139	0,05%
140	0,05%
148	0,05%
150	5,30%
153	0,05%
155	0,05%
163	0,05%
170	0,11%
180	0,05%
182	0,05%
186	0,05%
196	0,05%
199	0,05%
200	6,72%
210	0,27%
214	0,05%
217	0,05%
220	0,05%
231	0,05%
249	0,05%
250	3,12%
270	0,11%
275	0,05%
300	2,46%
310	0,11%
320	0,11%
337	0,05%
350	0,44%
380	0,05%
400	0,60%

410	0,05%
437	0,05%
500	0,22%
550	0,05%
583	0,05%
700	0,05%
750	0,05%
900	0,05%
1500	0,05%

Fonte: Autoria própria

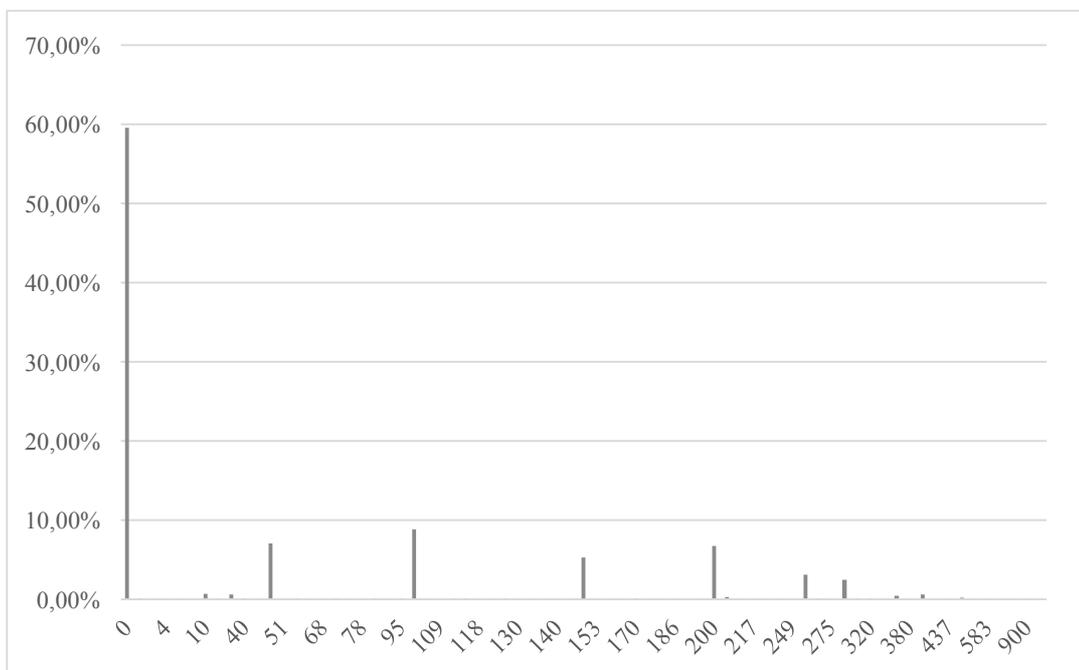


Figura 65 – Histograma da demanda diária do Medicamento1

Fonte: Autoria própria

Tabela 17 – Medicamento2

Demanda	Frequência Relativa
0	77,47%
3	0,05%
10	1,09%
15	0,16%
19	0,05%
20	1,80%
22	0,05%
25	0,71%

26	0,05%
30	0,82%
40	0,33%
45	0,05%
47	0,05%
50	11,92%
56	0,05%
59	0,05%
60	0,66%
65	0,05%
70	0,05%
74	0,05%
90	0,05%
98	0,05%
100	3,17%
102	0,05%
110	0,05%
115	0,05%
120	0,11%
130	0,05%
150	0,55%
200	0,11%
300	0,11%
700	0,05%

Fonte: Autoria própria

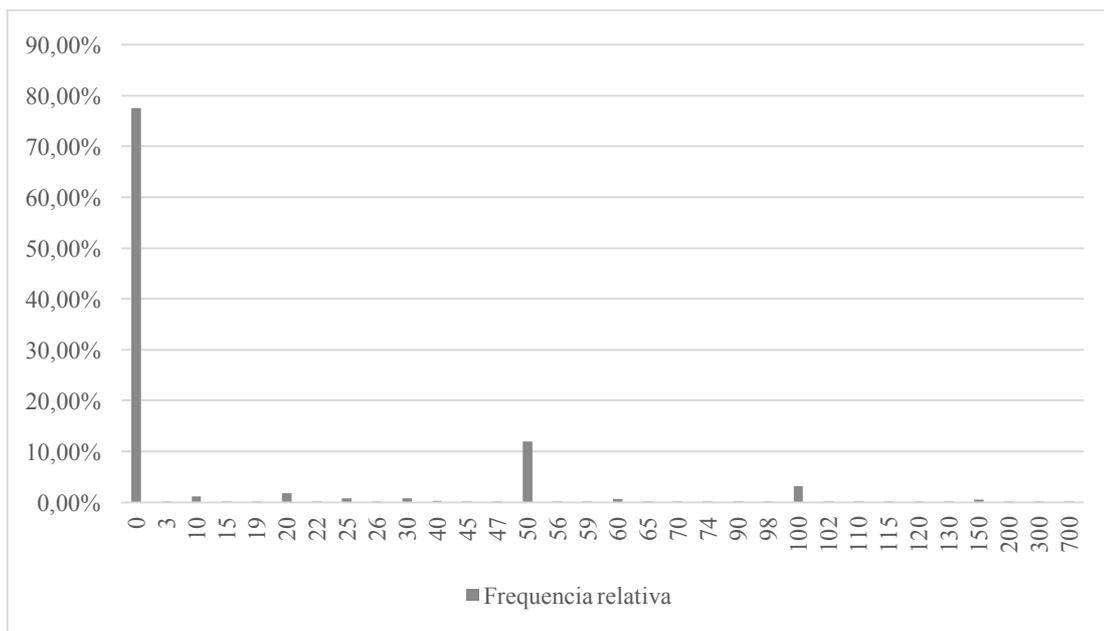


Figura 66 – Medicamento2

Fonte: Autoria própria

Tabela 18 – Medicamento3

Demanda	Frequência relativa
0	82,72%
1	0,05%
4	0,05%
5	0,22%
6	0,16%
7	0,05%
10	3,12%
12	0,05%
14	0,05%
15	0,27%
18	0,11%
20	6,78%
25	2,02%
29	0,11%
30	2,46%
34	0,05%
35	0,05%

40	0,49%
43	0,05%
50	0,33%
60	0,16%
65	0,05%
70	0,05%
90	0,05%
100	0,11%
160	0,05%
200	0,22%
240	0,05%

Fonte: Autoria própria

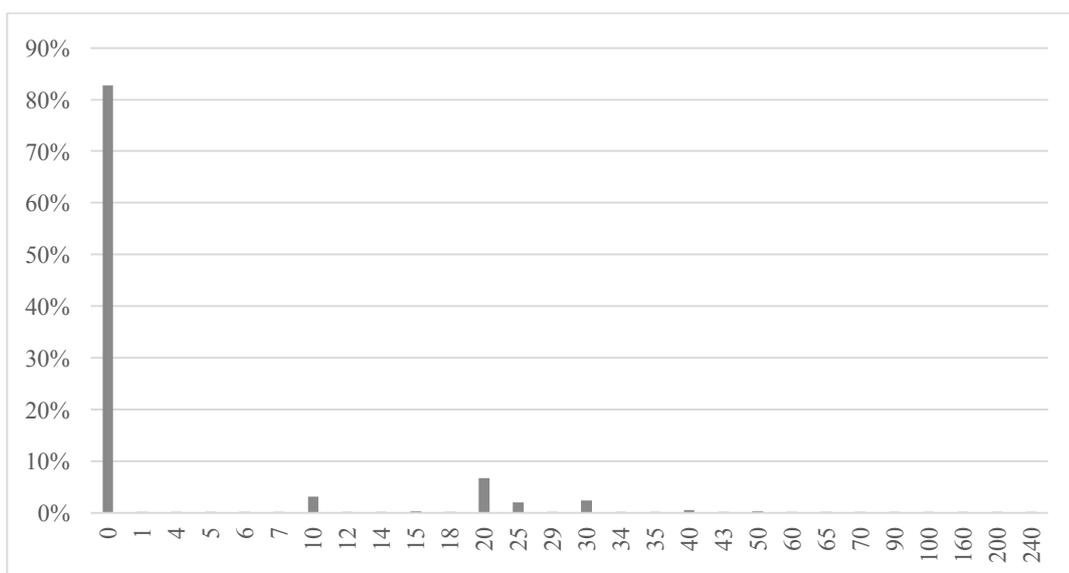


Figura 67 – Medicamento3

Fonte: Autoria própria

Tabela 19 – Medicamento4

Demanda	Frequência relativa
0	83,00%
1	0,05%
2	0,22%
3	0,27%
4	0,38%
5	0,66%

6	0,05%
7	0,05%
8	0,05%
9	0,05%
10	0,44%
11	0,05%
14	0,05%
15	0,11%
17	0,05%
18	0,05%
19	0,05%
20	0,87%
21	0,05%
25	0,11%
30	1,37%
31	0,05%
32	0,05%
40	0,27%
44	0,11%
46	0,05%
47	0,05%
48	0,22%
50	7,27%
51	0,05%
52	0,05%
54	0,05%
55	0,05%
57	0,05%
60	0,05%
65	0,05%
70	0,11%
71	0,05%
79	0,05%

85	0,05%
90	0,11%
92	0,05%
95	0,11%
96	0,05%
100	2,30%
105	0,05%
110	0,05%
118	0,05%
127	0,05%
128	0,05%
166	0,05%
200	0,11%
250	0,05%
270	0,05%
274	0,05%

Fonte: Autoria própria

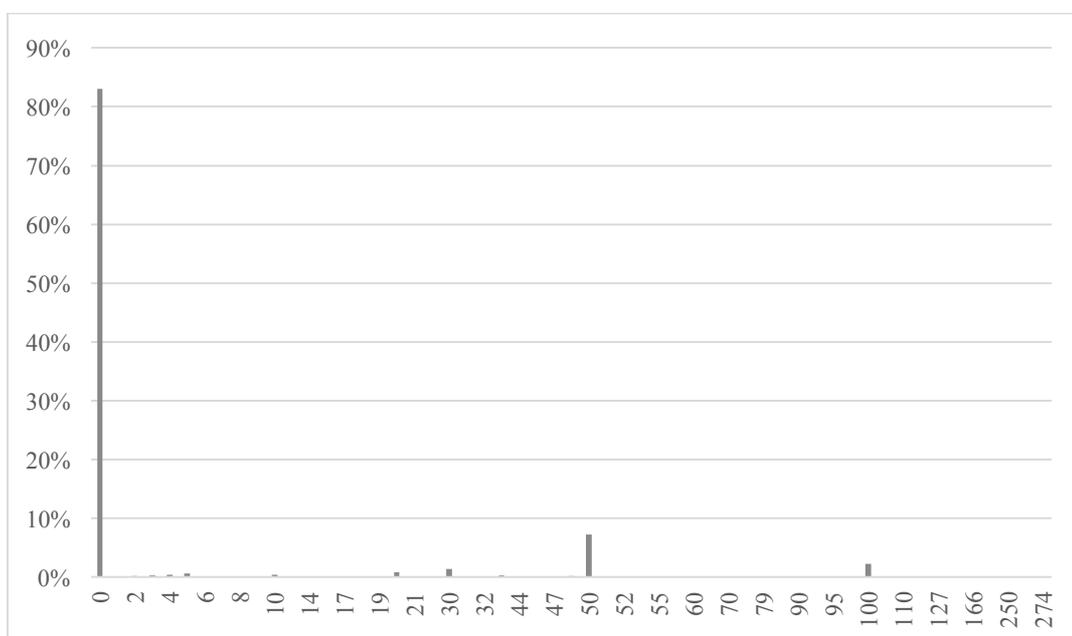


Figura 68 – Medicamento4

Fonte: Autoria própria

Tabela 20 – Medicamento6

Demanda	Frequência relativa
0	91,91%
5	0,05%
10	0,87%
15	0,11%
20	0,71%
21	0,05%
25	1,91%
30	3,61%
32	0,05%
40	0,27%
50	0,11%
51	0,05%
60	0,16%
80	0,05%
90	0,05%

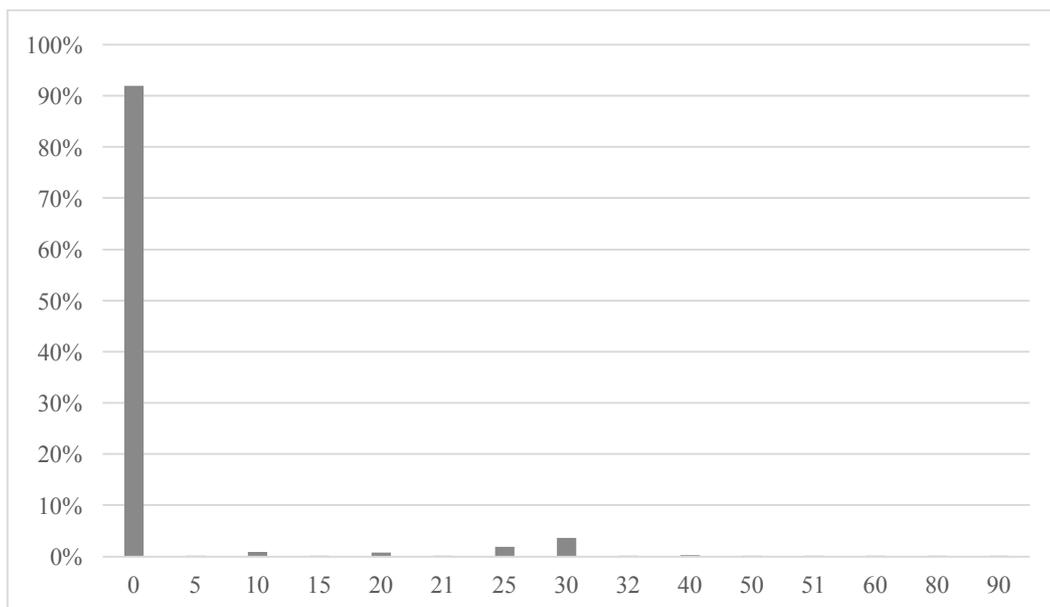


Figura 69 – Medicamento6

Fonte: Autoria própria

Tabela 21 – Medicamento7

Demanda	Frequência relativa
0	94,70%
1	0,49%
2	0,27%
3	0,60%
4	0,27%
5	2,57%
6	0,16%
7	0,05%
9	0,11%
10	0,22%
20	0,11%
35	0,05%
37	0,11%
39	0,05%
54	0,05%
65	0,05%
80	0,05%

114	0,05%
-----	-------

Fonte: Autoria própria

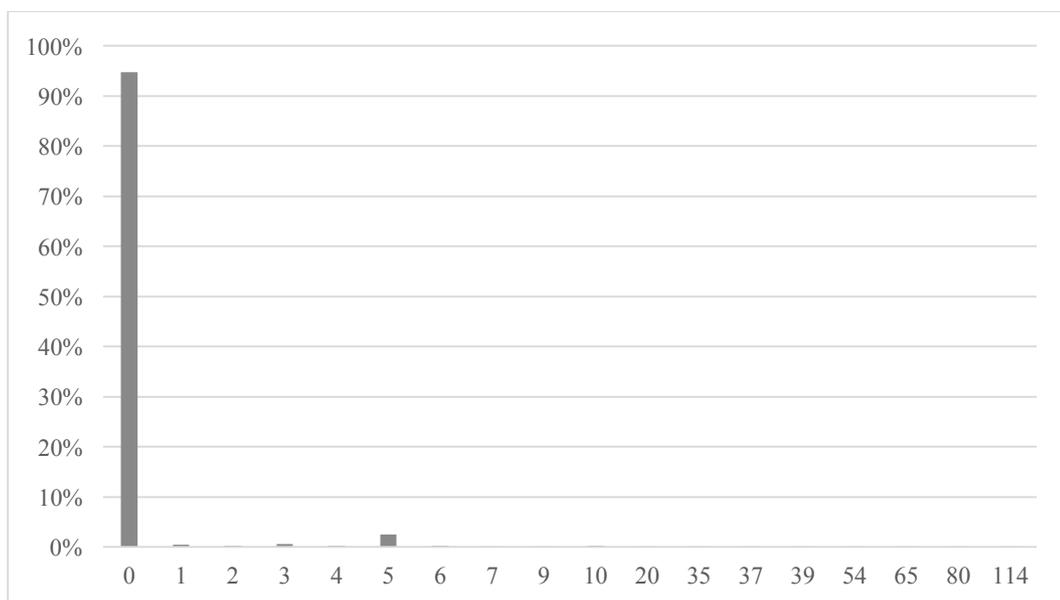


Figura 70 – Medicamento7

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE B. POLÍTICA DE AQUISIÇÃO PERIÓDICA DE MEDICAMENTOS DO CENÁRIO 1

Tabela 22 – Política de aquisição periódica do Medicamento2

		Estados					
		0	1	2	3		
Quantidade a ser comprada		2.400	1.200	1.600	0	Quantidade a ser comprada	
		600	1.000	1.400			
		400	800	1.000			
		200	400	800			
		0	200	600			
			0	400			
				200			
				0			

Fonte: Autoria própria

Tabela 23 – Política de aquisição periódica do Medicamento3 para o cenário 1

		Estados					
		0	1	2	3		
Quantidade a ser comprada		580	500	460	0	Quantidade a ser comprada	
		380	460	400			
		340	440	360			
		280	420	340			
		240	400	320			
		220	300	260			
		200	240	220			
		180	220	140			
		140	200	80			
		120	160	40			
		100	120	20			
		80	100	0			
		60	80				
		40	60				
		20	40				
		0	20				
			0				

Fonte: Autoria própria

Tabela 24 – Política de aquisição periódica do Medicamento4 para o cenário 1

	Estados			
	0	1	2	
Quantidade a ser comprada	1.000	525	0	Quantidade a ser comprada
	775	450		
	625	425		
	575	350		
	525	325		
	450	250		
	400	200		
	375	125		
	325	100		
	225	75		
	200	50		
	150	25		
	125	0		
	75			
	25			
0				

Tabela 25 – Política de aquisição periódica do Medicamento5 para o cenário 1

Fonte: Autoria própria

	Estados				
	0	1	2	3	
Quantidade a ser comprada	420	840	560	0	Quantidade a ser comprada
	380	420	540		
	360	400	500		
	340	360	380		
	320	300	360		
	160	260	300		
	120	220	280		
	100	200	240		
	80	160	0		

	60	140		
	20	80		
	0	40		
		0		

Tabela 26 – Política de aquisição periódica do Medicamento6 para o cenário 1

Fonte: Autoria própria

	Estados		
	0	1	
Quantidade a ser comprada	53	0	Quantidade a ser comprada
	33		
	24		
	23		
	19		
	0		

Tabela 27 – Política de aquisição periódica do Medicamento7 para o cenário 1

Fonte: Autoria própria

	Estados		
	0	1	
Quantidade a ser comprada	21	0	Quantidade a ser comprada
	18		
	17		
	16		
	13		
	12		
	10		
	6		
	0		

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE C. POLÍTICA DE AQUISIÇÃO PERIÓDICA DE MEDICAMENTOS DO CENÁRIO 3

Tabela 28 – Política de aquisição periódica do Medicamento1 para o cenário 3

	Estados						
	0	1	2	3	4	5	
Quantidade a ser comprada	6.200	4.800	4.700	6.100	4.700	0	Quantidade a ser comprada
	4.100	4.500	4.000	4.800	4.000		
	3.700	4.300	3.800	4.400	3.200		
	2.900	3.600	3.700	4.000	3.100		
	2.800	3.400	3.500	3.400	2.700		
	2.000	3.100	3.400	3.000	2.600		
	1.900	1.900	3.300	2.900	2.500		
	1.800	1.800	2.900	2.600	2.300		
	1.700	1.500	2.800	2.500	2.200		
	1.600	1.400	2.100	2.300	1.900		
	1.500	1.200	2.000	1.900	1.800		
	1.400	1.000	1.800	1.700	1.600		
	1.300	900	1.500	1.600	1.500		
	1.100	800	1.400	1.200	1.100		
	1.000	600	1.300	1.100	900		
	900	500	1.100	1.000	800		
	700	400	1.000	800	300		
	600	300	700	600	200		
	500	100	600	400	100		
	400	0	400	300	0		
300		300	100				
200		200	0				
100		100					
0		0					

Fonte: Autoria própria

Tabela 29 – Política de aquisição periódica do Medicamento2 para o cenário 3

	Estados				
	0	1	2	3	
Quantidade a ser comprada	1.800	1.200	2.200	0	Quantidade a ser comprada
	800	1.000	1.400		
	600	800	1.200		
	400	600	1.000		
	200	400	800		
	0	200	600		
		0	400		
			200		

Fonte: Autoria própria

Tabela 30 – Política de aquisição periódica do Medicamento3 para o cenário 3

	Estados				
	0	1	2	3	
Quantidade a ser comprada	640	480	620	0	Quantidade a ser comprada
	580	420	460		
	520	380	380		
	320	360	340		
	260	300	300		
	240	280	280		
	220	220	240		
	160	160	220		
	140	120	160		
	100	80	120		
	80	60	100		
	60	40	60		
	40	20	40		
	20	0	0		

Fonte: Autoria própria

Tabela 31 – Política de aquisição periódica do Medicamento4 para o cenário 3

	Estados			
	0	1	2	
Quantidade a ser comprada	700	675	0	Quantidade a ser comprada
	625	625		
	575	400		
	525	275		
	500	225		
	475	200		
	450	175		
	425	125		
	375	75		
	350	50		
	325	25		
	275	0		
	250			
	225			
	175			
	150			
	125			
	100			
	75			
	50			
	25			
0				

Fonte: Autoria própria

Tabela 32 – Política de aquisição periódica do Medicamento5 para o cenário 3

	Estados				
	0	1	2	3	
Quantidade a ser comprada	840	720	560	0	Quantidade a ser comprada
	460	640	440		
	380	420	380		
	360	320	320		
	340	280	240		
	320	260	200		
	160	240	180		
	140	220	160		
	120	200	0		
	100	180			
	80	160			
	60	140			
	40	60			
	0	40			
		20			
	0				

Fonte: Autoria própria

Tabela 33 – Política de aquisição periódica do Medicamento6 para o cenário 3

	Estados		
	0	1	
Quantidade a ser comprada	38	0	Quantidade a ser comprada
	33		
	32		
	18		
	0		

Fonte: Autoria própria

Tabela 34 – Política de aquisição periódica do Medicamento7 para o cenário 3

	Estados		
	0	1	
Quantidade a ser comprada	18	0	Quantidade a ser comprada
	12		
	10		
	7		
	6		
	0		

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE D. POLÍTICA DE AQUISIÇÃO PERIÓDICA DE MEDICAMENTOS DO CENÁRIO 4

Tabela 35 – Política de aquisição periódica do Medicamento1 para o cenário 4

		Estados						
		0	1	2	3	4	5	
Quantidade a ser comprada		7.800	5.400	5.300	4.100	4.700	0	Quantidade a ser comprada
		7.200	4.400	5.100	3.900	4.500		
		6.300	3.900	5.000	3.600	3.800		
		3.100	3.800	4.500	3.400	3.600		
		3.000	3.700	4.100	3.000	3.000		
		2.400	3.200	3.700	2.900	2.900		
		2.300	2.300	3.500	2.800	2.800		
		2.200	1.800	3.400	2.500	2.600		
		2.100	1.400	3.200	2.300	2.300		
		1.800	1.300	2.000	2.000	1.900		
		1.700	1.200	1.700	1.400	1.800		
		1.200	700	1.400	1.200	1.400		
		1.100	600	1.300	500	800		
		1.000	500	1.100	300	400		
		900	400	900	200	200		
		800	300	600	100	100		
		700	200	300	0	0		
		600	0	200				
		500		100				
		400		0				
	300							
	200							
	100							
	0							

Fonte: Autoria própria

Tabela 36 – Política de aquisição periódica do Medicamento2 para o cenário 4

	Estados				
	0	1	2	3	
Quantidade a ser comprada	2.800	1.200	2.000	0	Quantidade a ser comprada
	1.600	1.000	1.600		
	1.000	800	1.400		
	800	600	1.200		
	600	400	1.000		
	400	200	800		
	200	0	600		
	0		400		
			0		

Fonte: Autoria própria

Tabela 37 – Política de aquisição periódica do Medicamento3 para o cenário 4

	Estados				
	0	1	2	3	
Quantidade a ser comprada	760	420	380	0	Quantidade a ser comprada
	400	320	320		
	300	280	240		
	280	220	220		
	260	140	200		
	240	80	180		
	200	60	140		
	180	40	100		
	160	20	20		
	140	0	0		
	120				
	100				
	80				
	60				
	40				
20					

	0				
--	---	--	--	--	--

Fonte: Autoria própria

Tabela 38 – Política de aquisição periódica do Medicamento4 para o cenário 4

	Estados			
	0	1	2	
Quantidade a ser comprada	675	575	0	Quantidade a ser comprada
	600	425		
	500	350		
	450	325		
	425	275		
	400	250		
	350	225		
	325	125		
	275	75		
	250	50		
	225	25		
	200	0		
	175			
	150			
	125			
	100			
	75			
	50			
	25			
	0			

Fonte: Autoria própria

Tabela 39 – Política de aquisição periódica do Medicamento5 para o cenário 4

	Estados			
	0	1	2	
Quantidade a ser comprada	500	420	0	Quantidade a ser comprada
	460	380		
	320	260		
	240	240		
	220	220		
	200	180		
	160	160		
	140	140		
	120	120		
	100	100		
	80	80		
	60	40		
	40	20		
	20	0		
0				

Fonte: Autoria própria

Tabela 40 – Política de aquisição periódica do Medicamento6 para o cenário 4

	Estados		
	0	1	
Quantidade a ser comprada	22	0	Quantidade a ser comprada
	0		

Fonte: Autoria própria

Tabela 41 – Política de aquisição periódica do Medicamento7 para o cenário 4

	Estados		
	0	1	
Quantidade a ser comprada	9	0	Quantidade a ser comprada
	7		
	5		
	4		
	3		
	0		

Fonte: Autoria própria

REFERÊNCIAS

- [1] F. Hilier, G.J. Lieberman, *Introduction to Operational Research*, New York, 2015.
- [2] M. Pidd, *Computer Simulation in Management Science*, (2004) 332.
- [3] C. Macal, Everything You Need to Know about Agent-based Modelling and Simulation, *J. Simul.* 10 (2016) 144–156.
- [4] C.W. Weimer, J.O. Miller, R.R. Hill, Introduction to Agent Based Modeling, in: *Winter Simul. Conf.*, 2016: p. 65–79.
- [5] L.P. Kaelbling, M.L. Littman, A.W. Moore, Reinforcement learning: A survey, *J. Artif. Intell. Res.* 4 (1996) 237–285.
- [6] R.S. Sutton, A.G. Barto, Reinforcement Learning: An Introduction, *IEEE Trans. Neural Netw.* 9 (1998) 1054.
- [7] A. Mortazavi, A.A. Khamseh, P. Azimi, Designing of an intelligent self-adaptive model for supply chain ordering management system, *Eng. Appl. Artif. Intell.* 37 (2015) 207–220.
- [8] R. Rana, F.S. Oliveira, Real-time dynamic pricing in a non-stationary environment using model-free reinforcement learning, *Omega (United Kingdom)*. 47 (2014) 116–126.
- [9] I. Dogan, A.R. Güner, A reinforcement learning approach to competitive ordering and pricing problem, *Expert Syst.* 32 (2015) 39–48.
- [10] A.-M. Karimi-Majd, M. Mahootchi, A. Zakery, A reinforcement learning methodology for a human resource planning problem considering knowledge-based promotion, *Simul. Model. Pract. Theory.* (2015) 1–13.
- [11] E. Lee, M.S. Lavieri, M.L. Volk, Y. Xu, Applying reinforcement learning techniques to detect hepatocellular carcinoma under limited screening capacity, *Health Care Manag. Sci.* 18 (2015) 363–375.
- [12] T. Katanyukul, E.K.P. Chong, Intelligent Inventory Control via Ruminative Reinforcement Learning, *J. Appl. Math.* 2014 (2014).
- [13] C. Jiang, Z. Sheng, Case-based reinforcement learning for dynamic inventory control in a multi-agent supply-chain system, *Expert Syst. Appl.* 36 (2009) 6520–6526.
- [14] A. Yurtkuran, E. Emel, Simulation based decision-making for hospital pharmacy, in: *Proc. 2008 Winter Simul. Conf.*, 2008: p. 101–112.
- [15] S.A. Narayana, R. Kumar Pati, P. Vrat, Managerial research on the pharmaceutical supply chain - A critical review and some insights for future directions, *J. Purch. Supply Manag.* 20 (2014) 18–40.
- [16] B. Krishnaraj R, P.K. Meenakshi, A Study on ABC-XYZ Analysis in a Pharmacy Store, 4 (2016) 24–26.
- [17] C. Alencastro, Falhas na compra e no armazenamento levam a desperdício de R\$1 bilhão com medicamentos, *O GLOBO.* (2010).
- [18] CFM, Serviços farmacêuticos evitam desperdícios para os cofres dos Municípios e trazem benefícios à saúde das populações, (2010).
- [19] S. Nahmias, Perishable inventory theory: a review., *Oper. Res.* 30 (1982) 680–708.
- [20] I. Jurado, J.M. Maestre, P. Velarde, C. Ocampo-Martinez, I. Fernández, B.I. Tejera,

- J.R. del Prado, Stock management in hospital pharmacy using chance-constrained model predictive control, *Comput. Biol. Med.* 72 (2016) 248–255.
- [21] S. Saedi, O. Erhun Kundakcioglu, A.C. Henry, O.E. Kundakcioglu, A.C. Henry, Mitigating the impact of drug shortages for a healthcare facility: An inventory management approach, *Eur. J. Oper. Res.* 251 (2016) 107–123.
- [22] F. Franceschini, D. Maisano, L. Mastrogiacomo, Scientific journal publishers and omitted citations in bibliometric databases: Any relationship?, *J. Informetr.* 8 (2014) 751–765.
- [23] M. Shankar, M. Pahadia, D. Srivastava, T.S. Ashwin, G.R.M. Reddy, A Novel Method for Disease Recognition and Cure Time Prediction Based on Symptoms, *Proc. - 2015 2nd IEEE Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Eng. ICACCE 2015.* (2015) 679–682.
- [24] S.C. Brailsford, Hybrid Simulation in Healthcare: New Concepts and New Tools, in: *Proc. 2015 Winter Simul. Conf.*, 2015: p. 1689–1699.
- [25] M. Abdelghany, A.B. Eltawil, Individual versus Integrated Simulation Techniques in Healthcare Applications, *Ind. Eng. Eng. Manag. (IEEM)*, 2014 IEEE Int. Conf. (2014) 1214–1218.
- [26] A.R. Tavares, A.L.C. Bazzan, An agent-based approach for road pricing: system-level performance and implications for drivers, *J. Brazilian Comput. Soc.* 20 (2014) 15.
- [27] E. Jacobs, J. Broekens, C. Jonker, Joy, distress, hope, and fear in reinforcement learning, in: *13th Int. Conf. Auton. Agents Multiagent Syst. AAMAS 2014*, 2014: p. 1615–1616.
- [28] L. Skiba, A. Maaz, A. Moser, Agent-based price simulation of the day-ahead- spot-market and markets for control reserve power, in: *Int. Conf. Eur. Energy Mark. EEM*, 2016.
- [29] G. Li, J. Shi, Agent-based modeling for trading wind power with uncertainty in the day-ahead wholesale electricity markets of single-sided auctions, *Appl. Energy.* 99 (2012) 13–22.
- [30] N. Slack, S. Chambers, R. Johnston, *Operations Management*, 2010.
- [31] D. Waters, *Inventory Control and Management.*, 2003.
- [32] I. Elking, J.P. Paraskevas, C. Grimm, T. Corsi, A. Steven, Financial Dependence, Lean Inventory Strategy, and Firm Performance, *J. Supply Chain Manag.* 53 (2017) 22–38.
- [33] D.A. Moreira, *Administração da Produção e Operações*, Second, São Paulo, 2009.
- [34] D.W. Pentico, M.J. Drake, C. Toews, The deterministic EPQ with partial backordering: A new approach, *Omega.* 37 (2009) 624–636.
- [35] Brasil, M. da Saúde, *Guia Básico para a Farmácia Hospitalar*, (1994) 174.
- [36] C.F. Daganzo, *A theory of supply chains*, Springer Science & Business Media, 2012.
- [37] J. Volland, A. F??gener, J. Schoenfelder, J.O. Brunner, Material logistics in hospitals: A literature review, *Omega (United Kingdom).* 69 (2015) 82–101.
- [38] Y.-C. Yang, K.H. Cheng, C. Ding, S. Li, To join or not to join group purchasing organization: A vendor’s decision, *Eur. J. Oper. Res.* 258 (2017) 581–589.
- [39] K. Klein, Values-based food procurement in hospitals: the role of health care group purchasing organizations, *Agric. Human Values.* 32 (2015) 635–648.

- [40] J. Nollet, M. Beaulieu, N. Fabbe-Costes, The impact of performance measurement on purchasing group dynamics: The Canadian experience, *J. Purch. Supply Manag.* 23 (2016) 1–11.
- [41] M. Zhou, B. Dan, S. Ma, X. Zhang, Supply chain coordination with information sharing: The informational advantage of GPOs, *Eur. J. Oper. Res.* 256 (2017) 785–802.
- [42] M. Gebicki, E. Mooney, S.J. (Gary) Chen, L.M. Mazur, Evaluation of hospital medication inventory policies, *Health Care Manag. Sci.* 17 (2013) 1–15.
- [43] K.J. Wilson, R. Hodge, D. Bivens, Reducing Stockouts in a Cancer Center’s Ambulatory Care Clinics, *Eng. Manag. J.* 27 (2015) 99–108.
- [44] N. Attanayake, R.F. Kashef, T. Andrea, N. Carolina, A Simulation Model for A Continuous Review Inventory Policy for Healthcare Systems, in: *Can. Conf. Electr. Comput. Eng.*, 2014: p. 1–6.
- [45] C. Hindley, Blood transfusion in the context of maternity care, *Br. J. Midwifery.* 24 (2016) 838–844.
- [46] L. Nicholson, A.J. Vakharia, S.S. Erenguc, Outsourcing inventory management decisions in health care: models and application . *Eur J Oper Res Outsourcing inventory management decisions in healthcare : Models and application*, (2004).
- [47] C.R. Rosales, M. Magazine, U. Rao, The 2Bin system for controlling medical supplies at point-of-use, *Eur. J. Oper. Res.* 243 (2015) 271–280.
- [48] C.R. Rosales, M. Magazine, U. Rao, Point-of-Use Hybrid Inventory Policy for Hospitals, *Decis. Sci.* 45 (2014) 913–937.
- [49] L.J. Krajewski, L.P. Ritzman, M.K. Mallhotra, *Operations Management: Processes and Supply Chains*, 2013.
- [50] T. Ohno, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Product. Press. (1988) 152.
- [51] F.W. Harris, How many parts to make at once, *Int. J. Prod. Econ.* 155 (2014) 8–11.
- [52] P.I. Vidal-Carreras, J.P. Garcia-Sabater, J.J. Garcia-Sabater, A practical model for managing inventories with unknown costs and a budget constraint, *Int. J. Prod. Res.* 55 (2017) 118–129.
- [53] G. Dobson, E.J. Pinker, O. Yildiz, An EOQ model for perishable goods with age-dependent demand rate, *Eur. J. Oper. Res.* 257 (2017) 84–88.
- [54] O. Dey, A fuzzy random integrated inventory model with imperfect production under optimal vendor investment, *Oper. Res.* (2017).
- [55] W. Chen, J. Li, X. Jin, The replenishment policy of agri-products with stochastic demand in integrated agricultural supply chains, *Expert Syst. Appl.* 48 (2016) 55–66.
- [56] B. Pandya, H. Thakkar, A Review on Inventory Management Control Techniques : ABC-XYZ Analysis, 2 (2016) 82–86.
- [57] S. Singh, A.K. Gupta, L. -, M. Devnani, ABC and VED Analysis of the Pharmacy Store of a Tertiary Care, Academic Institute of the Northern India to Identify the Categories of Drugs Needing Strict Management Control, *J. Young Pharm.* 7 (2015) 76–80.
- [58] M.L. Puterman, *Markov decision processes: discrete stochastic dynamic programming*,

John Wiley & Sons, 2014.

- [59] A. Valluri, M.J. North, C.M. Macal, Reinforcement learning in supply chains., *Int. J. Neural Syst.* 19 (2009) 331–344.
- [60] Z. Sui, A. Gosavi, L. Lin, A Reinforcement Learning Approach for Inventory Replenishment in Vendor-Managed Inventory Systems With Consignment Inventory, *Eng. Manag. J.* 22 (2010) 44–53.
- [61] H.K. Kim, H. Yeo, Design for u-health care hybrid control systems, *Int. J. Softw. Eng. its Appl.* 8 (2014) 375–384.
- [62] S.J. Fakih, T.K. Das, LEAD: A methodology for learning efficient approaches to medical diagnosis, *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* 10 (2006) 220–228.
- [63] R.S.H.R. Istepanian, N.N.Y. Philip, M.G.M.M.G. Martini, S.S.S.S. Member, Medical QoS Provision Based on Reinforcement Wireless Systems, *Ultrasound.* 27 (2009) 566–574.
- [64] T.K. Das, A. a. Savachkin, Y. Zhu, A large-scale simulation model of pandemic influenza outbreaks for development of dynamic mitigation strategies, *IIE Trans.* 40 (2008) 893–905.
- [65] D. Kitakoshi, T. Okano, M. Suzuki, An empirical study on evaluating basic characteristics and adaptability to users of a preventive care system with learning communication robots, *Soft Comput.* (2015).
- [66] C.J.C.H. Watkins, *Learning from delayed rewards*, University of Cambridge England, 1989.
- [67] I.H. Kwon, C.O. Kim, J. Jun, J.H. Lee, Case-based myopic reinforcement learning for satisfying target service level in supply chain, *Expert Syst. Appl.* 35 (2008) 389–397.
- [68] W.D. Kelton, A.M. Law, *Simulation modeling and analysis*, McGraw Hill Boston, 2000.
- [69] J. Banks, B.L. Nelson, J.S. Carson, D.M. Nicol, J.S.C. II, B.L. Nelson, D.M. Nicol, *Discrete-Event System Simulation*, PrenticeHall Int. Ser. Ind. Syst. Eng. (2010) 640.
- [70] K.P. White Jr, R.G. Ingalls, The basics of simulation, in: *WSC 2016 Proc.*, 2016.
- [71] S. Birim, C. Sofyalioglu, Evaluating vendor managed inventory systems: how incentives can benefit supply chain partners, *J. Bus. Econ. Manag.* 18 (2017) 163–179.
- [72] L. Postacchini, F.E. Ciarapica, M. Bevilacqua, G. Mazzuto, C. Paciarotti, A way for reducing drug supply chain cost for a hospital district: A case study, *J. Ind. Eng. Manag.* 9 (2016) 207–230.
- [73] M. Armenzoni, R. Montanari, G. Vignali, E. Bottani, G. Ferretti, F. Solari, M. Rinaldi, An integrated approach for demand forecasting and inventory management optimisation of spare parts, 10 (2015) 223–240.
- [74] P. Garcia-herrerros, I.E. Grossmann, B. Sharda, A. Agarwal, J.M. Wassick, Empirical study of the behavior of capacitated production-inventory systems, in: *Winter Simul. Conf.*, 2014: p. 2251–2260.
- [75] F. Baesler, M. Nemeth, C. Martínez, A. Bastías, Analysis of inventory strategies for blood components in a regional blood center using process simulation, *Transfusion.* 54 (2014) 323–330.

- [76] B. Sharda, N. Akiya, Selecting make-to-stock and postponement policies for different products in a chemical plant: A case study using discrete event simulation, *Int. J. Prod. Econ.* 136 (2012) 161–171.
- [77] A. Samvedi, V. Jain, Studying the Impact of Various Inventory Policies on a Supply Chain With Intermittent Supply Disruptions, *Proc. 2011 Winter Simul. Conf.* (2011) 1636–1644.
- [78] I.I. Mitroff, F. Betz, L.R. Pondy, F. Sagasti, On Managing Science in the Systems Age: Two Schemas for the Study of Science as a Whole Systems Phenomenon, *Interfaces* (Providence). 4 (1974) 46–58.
- [79] A. Maria, Introduction to modelling and simulation, *Winter Simul. Conf.* (1997) 7–13.
- [80] J.A.B. Montevechi, F. Leal, A.F. De Pinho, R.F. da S. Costa, M.L.M. de Oliveira, A.L.F. da Silva, Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: An application in a Brazilian tech company, in: *Proc. - Winter Simul. Conf.*, 2010: p. 1624–1635.
- [81] S. Robinson, R. Brooks, K. Kotiadis, D.-J. van der Zee, *Conceptual Modeling for Discrete-Event Simulation*, 2011.
- [82] B.K. Choi, D. Kang, *Modeling and Simulation of Discrete-Event Systems*, 2013.
- [83] R.G. Sargent, An Introductory Tutorial on Verification and Validation of Simulation Models, *Proc. 2015 Winter Simul. Conf.* (2015) 1729–1740.
- [84] T.J. Schriber, D.T. Brunner, J.S. Smith, *Inside Discrete-Event Simulation Software: How it Works and Why it Matters*, (2015) 1–15.
- [85] A. Paula, A.P.G. Scheidegger, *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference* L. Yilmaz, W. K. V. Chan, I. Moon, T. M. K. Roeder, C. Macal, and M. D. Rossetti, eds., (2015).
- [86] M.C. Fu, R.H. Smith, *Simulation optimization*, (2001) 53–61.
- [87] D.C. Montgomery, *Design and analysis of experiments*, John Wiley & Sons, 2008.
- [88] I.D. Bishop, C. Stock, K.J. Williams, Using virtual environments and agent models in multi-criteria decision-making, *Land use policy.* 26 (2009) 87–94.
- [89] F. Klugl, A.L.C. Bazzan, *Agent-based Modeling and Simulation*, *Ai Mag.* 33(3) (2012) 29–40.
- [90] C. Macal, M. North, Tutorial on agent-based modelling and simulation, *J Simul.* 4 (2010) 151–162.
- [91] J.S.J.S. Russell, P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 2003.
- [92] E. Bonabeau, Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems., *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 99 Suppl 3 (2002) 7280–7287.
- [93] F. Wall, Agent-based modeling in managerial science: an illustrative survey and study, *Rev. Manag. Sci.* 10 (2016) 135–193.
- [94] S.J. Russell, P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 2010.
- [95] N. Furian, M. O’Sullivan, C. Walker, S. Vössner, D. Neubacher, A conceptual modeling framework for discrete event simulation using hierarchical control structures, *Simul. Model. Pract. Theory.* 56 (2015) 82–96.
- [96] Y. Shoham, R. Powers, T. Grenager, If multi-agent learning is the answer, what is the

- question?, *Artif. Intell.* 171 (2007) 365–377.
- [97] P.O. Siebers, C.M. Macal, J. Garnett, D. Buxton, M. Pidd, Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation!, *J. Simul.* 4 (2010) 204–210.
- [98] S. Brailsford, Discrete-event simulation is alive and kicking!, *Proc. Oper. Res. Soc. Simul. Work. 2012.* 8 (2012) 57–65.
- [99] M.A. Khamis, W. Gomaa, Adaptive multi-objective reinforcement learning with hybrid exploration for traffic signal control based on cooperative multi-agent framework, *Eng. Appl. Artif. Intell.* 29 (2014) 134–151.
- [100] P. Chanloha, J. Chinrungrueng, W. Usaha, C. Aswakul, Cell transmission model-based multiagent Q-learning for network-scale signal control with transit priority, *Comput. J.* 57 (2014) 451–468.
- [101] L.L.B. V Cruciol, A.C. de Arruda, L. Weigang, L. Li, A.M.F. Crespo, Reward functions for learning to control in air traffic flow management, *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 35 (2013) 141–155.
- [102] P.G. Ansoła, A.G. Higuera, F.J. Otamendi, J. De Morenas, Agent-Based Distributed Control for Improving Complex Resource Scheduling : Application to Airport Ground Handling Operations, 8 (2014) 1145–1157.
- [103] J. Zhang, F. Ren, M. Zhang, Knowledge-Based Systems Bayesian-based preference prediction in bilateral multi-issue negotiation between intelligent agents, *Knowledge-Based Syst.* 84 (2015) 108–120.
- [104] C. Stummer, E. Kiesling, M. Günther, R. Vetschera, Innovation diffusion of repeat purchase products in a competitive market: An agent-based simulation approach, *Eur. J. Oper. Res.* 245 (2015) 157–167.
- [105] B. Neville, M. Fasli, J. Pitt, Expert Systems with Applications Utilising social recommendation for decision-making in distributed multi-agent systems, *Expert Syst. Appl.* 42 (2015) 2884–2906.
- [106] A. Paothong, G.S. Ladde, Agent-based modeling simulation under local network externality, *J. Econ. Interact. Coord.* 9 (2013) 1–26.
- [107] K. Pashaei, F. Taghiyareh, K. Badie, A recursive genetic framework for evolutionary decision-making in problems with high dynamism, *Int. J. Syst. Sci.* (2014) 1–17.
- [108] S. Yingdong, Design of Distributed Support Decision-Making System Model Based on Multi-agent Technique for Sporting Event, (2014).
- [109] I. Noda, H. Matsubara, K. Hiraki, I. Frank, Soccer server: A tool for research on multiagent systems, *Appl. Artif. Intell.* 12 (1998) 233–250.
- [110] M.Y. Li, C.H. Sun, M.F. Lien, T.K. Chang, A design of spatial decision support system to enhance decision progress in agricultural actions, 2014 3rd Int. Conf. Agro-Geoinformatics, *Agro-Geoinformatics 2014.* (2014).
- [111] Z. Sun, D. Müller, A framework for modeling payments for ecosystem services with agent-based models, Bayesian belief networks and opinion dynamics models, *Environ. Model. Softw.* 45 (2013) 15–28.
- [112] M. Przybyła-Kasperek, A. Wakulicz-Deja, Application of reduction of the set of conditional attributes in the process of global decision-making, *Fundam. Informaticae.* 122 (2013) 327–355.

- [113] C. List, C. Elsholtz, T.D. Seeley, Independence and interdependence in collective decision making: an agent-based model of nest-site choice by honeybee swarms., *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 364 (2009) 755–762.
- [114] B.G. Silverman, N. Hanrahan, G. Bharathy, K. Gordon, D. Johnson, A systems approach to healthcare: Agent-based modeling, community mental health, and population well-being, *Artif. Intell. Med.* 63 (2015) 61–71.
- [115] P.L. Kolominsky-Rabas, A. Djanatljev, P. Wahlster, M. Gantner-Bär, B. Hofmann, R. German, M. Sedlmayr, E. Reinhardt, J. Schüttler, C. Kriza, C. Niederländer, H.U. Prokosch, R. Lenz, P. Baumgärtel, O. Schöffski, M. Emmert, F. Meier, A. Aisenbrey, W. Voigt, J. Höllthaler, A. Metzger, M. Miethe, Technology foresight for medical device development through hybrid simulation: The ProHTA Project, *Technol. Forecast. Soc. Change.* 97 (2014) 105–114.
- [116] C.W. De Silva, A Multi-agent Hybrid Cognitive Architecture with Self-awareness for Homecare Robot, (2014) 223–228.
- [117] H. Gao, H.J. Wu, H.Y. Zhao, A Study of Intelligent Decision Supporting System Based on Multi-Agent Exercise Prescription of Psychological Disorder, *Adv. Mater. Res.* 926–930 (2014) 1140–1143.
- [118] J.C. Nieves, H. Lindgren, U. Cortés, Agent-Based Reasoning in Medical Planning and Diagnosis Combining Multiple Strategies, *Int. J. Artif. Intell. Tools.* 23 (2014) 1440004.
- [119] N. Antzoulatos, E. Castro, D. Scrimieri, S. Ratchev, A multi-agent architecture for plug and produce on an industrial assembly platform, *Prod. Eng.* 8 (2014) 773–781.
- [120] R. Sprenger, L. Mönch, A decision support system for cooperative transportation planning: Design, implementation, and performance assessment, *Expert Syst. Appl.* 41 (2014) 5125–5138.
- [121] B. Akhgar, E. Salahi Parvin, M.H. Sherkat, Axiomatic agent based architecture for agile decision making in strategic information systems, *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.* (2012) 93–104.
- [122] J.E. Hernández, J. Mula, R. Poler, A.C. Lyons, Collaborative Planning in Multi-tier Supply Chains Supported by a Negotiation-Based Mechanism and Multi-agent System, *Gr. Decis. Negot.* 23 (2014) 235–269.
- [123] M. Sha, R. Srinivasan, Fleet sizing in chemical supply chains using agent-based simulation, *Comput. Chem. Eng.* 84 (2016) 180–198.
- [124] M. Riddle, C.M. Macal, G. Conzelmann, T.E. Combs, D. Bauer, F. Fields, Global critical materials markets: An agent-based modeling approach, *Resour. Policy.* 45 (2015) 307–321.
- [125] A. Negahban, A hybrid simulation framework for the newsvendor problem with advertising and viral marketing, 2013 Winter Simulations Conf. (2013) 1613–1624.
- [126] O. Kwon, G.P. Im, K.C. Lee, MACE-SCM: A multi-agent and case-based reasoning collaboration mechanism for supply chain management under supply and demand uncertainties, *Expert Syst. Appl.* 33 (2007) 690–705.
- [127] M. Wooldridge, N.R. Jennings, D. Kinny, The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design, *Auton. Agent. Multi. Agent. Syst.* 3 (2000) 285–312.
- [128] S.A. DeLoach, M.F. Wood, C.H. Sparkman, Multiagent Systems Engineering, *Int. J.*

Softw. Eng. Knowl. Eng. 11 (2001) 231–258.

- [129] V. Grimm, U. Berger, F. Bastiansen, S. Eliassen, V. Ginot, J. Giske, J. Goss-Custard, T. Grand, S.K. Heinz, G. Huse, A. Huth, J.U. Jepsen, C. Jørgensen, W.M. Mooij, B. Müller, G. Pe'er, C. Piou, S.F. Railsback, A.M. Robbins, M.M. Robbins, E. Rossmanith, N. Rüger, E. Strand, S. Souissi, R.A. Stillman, R. Vabø, U. Visser, D.L. DeAngelis, A standard protocol for describing individual-based and agent-based models, *Ecol. Modell.* 198 (2006) 115–126.
- [130] Navo, N. Mustafee, J. Powell, S.C. Brailsford, S. Diallo, J. Padilla, A. Tolk, Hybrid Simulation Studies and Hybrid Simulation Systems: Definitions, Challenges, and Benefits, in: *Proc. 2015 Winter Simul. Conf.*, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, 2015: p. 1678–1692.
- [131] I.J. Martinez-Moyano, C.M. Macal, A primer for Hybrid Modeling and Simulation, in: *Winter Simul. Conf.*, 2016: p. 133–147.
- [132] D. Fahlrand, Combined discrete event continuous systems simulation, *Simulation.* (1970) 61–72.
- [133] A. Djanatliev, R. German, Towards a guide to domain-specific hybrid simulation, in: *Proc. 2015 Winter Simul. Conf.*, 2015: p. 1609–1620.
- [134] P.A.C. Miguel, A. Fleury, C.H.P. Mello, D.N. Nakano, J.B. Turrioni, L.L. Ho, R. Morabito, R.A. Martins, V. Pureza, *Metodologia de pesquisa para engenharia de produção e gestão de operações*, 2010.
- [135] J.W.M. Bertrand, J.C. Fransoo, Operations management research methodologies using quantitative modeling, *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 22 (2002) 241–264.