



**ESCOLA DE COMANDO E ESTADO MAIOR DO EXÉRCITO  
ESCOLA MARECHAL CASTELLO BRANCO**

Maj Com RONALDO ANDRÉ FURTADO

**Modelagem Baseada em Agente como ferramenta para  
diagnóstico de Segurança de Aeroportos: Estudo de  
caso de um ataque com o agente biológico Antraz no  
Aeroporto Internacional do Galeão**



**Rio de Janeiro  
2014**



Maj Com RONALDO ANDRÉ FURTADO

**Modelagem Baseada em Agente como ferramenta para diagnóstico de Segurança de Aeroportos: Estudo de caso de um ataque com o agente biológico Antraz no Aeroporto Internacional do Galeão**

Dissertação apresentada à Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Militares.

Orientador: Professor Doutor Érico Esteves Duarte

Rio de Janeiro

2014

F 992m FURTADO, Ronaldo André

Modelagem Baseada em Agente como ferramenta para diagnóstico de Segurança de Aeroportos: Estudo de caso de um ataque com o agente biológico Antraz no Aeroporto Internacional do Galeão. / Ronaldo André Furtado. 2014.

94 f.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro, 2014.

Bibliografia: f. 91-94

1. Segurança de Aeroportos. 2. Agentes biológicos usados como arma. 3. Antraz. 4. Modelagem Baseada em Agente. I. Título.

CDD 363.1

Maj Com RONALDO ANDRÉ FURTADO

MODELAGEM BASEADA EM AGENTE COMO FERRAMENTA PARA DIAGNÓSTICO DE SEGURANÇA DE AEROPORTOS: ESTUDO DE CASO DE UM ATAQUE COM O AGENTE BIOLÓGICO ANTRAZ NO AEROPORTO INTERNACIONAL DO GALEÃO

Dissertação apresentada à Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, como, requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Militares.

Aprovada em 13 de outubro de 2014.

**BANCA EXAMINADORA**



ERICO ESTEVES DUARTE – Prof Dr – Presidente  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul



FÁBIO YOSHIMITSU OKUYAMA – Prof Dr – Membro  
Instituto Federal de Educação do Rio Grande do Sul



PAULO CÉSAR PELLANDA – Cel (Dr) – Membro  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Militares  
Escola de Comando e Estado-Maior do Exército

Ciente



RONALDO ANDRÉ FURTADO – Maj Com – Postulante  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Militares

À minha esposa Diana e ao meu filho João Gabriel, por tudo que representam para mim.

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Érico Esteves Duarte, não somente pela orientação segura e precisa, como também pela compreensão, amizade, confiança e auxílio prestado, além de inúmeras horas de orientação pelo *Skype*, acreditando na minha capacidade de desenvolver este projeto. Pelo grande apoio meu muito obrigado.

Ao Professor Doutor Fábio Yoshimitsu Okuyama, pelo apoio prestado na calibração das variáveis da modelagem do cenário do estudo de caso, pelo profissionalismo, dedicação e paciência, tornando mais fácil o cumprimento dessa missão. Muito Obrigado.

Ao TC Eduardo Xavier Ferreira Glaser Migon pela confiança depositada e como Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Militares, por ter viabilizado minha viagem a Portugal – Lisboa para apresentação de artigo acadêmico no II Congresso Internacional do *Observare*. Muito obrigado.

À minha esposa Diana, cônjuge, companheira, confidente e amiga, que com seu amor, compreensão e abnegação foi sempre meu apoio e porto seguro. Sem você, não teria sido possível a realização desse grande projeto.

Aos irmãos de Armas que participaram da longa jornada do programa *Stricto Sensu* da ECEME de 2013-2014. Fé na missão!

Finalmente, ao Pai Celestial, a seu Filho Jesus Cristo, pelo o apoio espiritual.

“Vale lembrar que não há nada mais difícil de executar e perigoso de manejar (e de êxito mais duvidoso) do que a instituição de uma nova ordem de coisas. Quem toma tal iniciativa suscita a inimizade de todos os que são beneficiados pela ordem antiga, e é defendido tibiamente por todos os que seriam beneficiados pela nova ordem – falta de calor que se explica em parte pelo medo dos adversários, que têm as leis do seu lado, e em parte pela incredulidade dos homens. Estes, com efeito, não acreditam nas coisas novas até que as experimentam; portanto, os adversários, todas as vezes que podem atacá-las, o fazem com empenho, e os que as defendem defendem-nas tepidamente, de modo que a seu lado se tem pouca segurança.” (MAQUIAVEL)

## RESUMO

Os aeroportos têm sido colocados em risco por diversos tipos de ameaças, sendo que uma das mais preocupantes da sociedade, atualmente, é a ameaça biológica. A importância do aeroporto ser um alvo estratégico e seus problemas de segurança são discutidos, com base na identificação das novas ameaças do pós 11/09. O crescimento da importância de uma revista de passageiros e bagagem de forma adequada pela segurança do aeroporto, materializados por procedimentos e novas tecnologias são destacados na dissertação .

O botulismo, a peste, a ricina, a varíola e a tularemia que são os principais agentes biológicos que podem ser usados como armas para o bioterrorismo e suas principais características são ressaltadas na dissertação. O agente etiológico Antraz recebe destaque especial e tem suas características analisadas e aprofundadas, pois ele é o agente biológico utilizado no estudo de caso do ataque no Aeroporto Internacional do Galeão, verificando assim a viabilidade da utilização da Modelagem Baseada em Agente para Estudos de Defesa.

As diversas características da Modelagem Baseada em Agentes são estudadas, define-se o que são agentes, seu histórico, possibilidades e limitações, e ainda são descritas as principais ferramentas utilizadas. A modelagem de análise de risco de ataques biológicos será estudada como um instrumento a ser utilizado no estudo de caso do ataque com antraz. Além disso, a descrição do objeto da modelagem e o modelo computacional desenvolvido no programa *Star Logo TNG* do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) é detalhado e explicado. Por fim, o resultado obtido da simulação é confrontado com o objeto da modelagem estudado na bibliografia.

Palavras-chave: Segurança de aeroporto, modelagem baseada em agente, antraz, bioterrorismo

## **ABSTRACT**

Airports have been compromised by various types of threats, and one of the most worrying of society is currently the biological threat. The importance of the airport as a strategic target and its security problems are discussed, based on the identification of new threats of the post 11/09. The growing importance of a journal of passengers and baggage appropriately through airport security, materialized by new technologies and procedures are outlined in the dissertation.

Botulism, plague, ricin, smallpox and tularemia are the main biological agents that can be used as a weapon for bioterrorism and its main features are highlighted in the dissertation. The etiologic agent of anthrax receives special attention and their characteristics are analyzed and deepened, as it is the biological agent used in the case study of the attack at Galeão International Airport, thus verifying the feasibility of the use of Agent-Based Modeling for Defense Studies.

The various features of Modeling Based on agents are studied, we define what agents are, its history, possibilities and limitations, and still the main tools used are described. The modeling for risk analysis of biological attacks will be studied as an instrument to be used in the case study of the anthrax attack. Furthermore, the object description of the modeling and computational model developed in Star Logo TNG the Massachusetts Institute of Technology (MIT) program is detailed and explained. Finally, the result of the simulation is confronted with the object of modeling studied in the literature.

**Keywords:** Airport security, agent-based modeling, anthrax, bioterrorism.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Aeronave na Rampa .....                             | 26 |
| Figura 2 - Biometria .....                                     | 34 |
| Figura 3 - Scanners de Líquidos Engarrafados .....             | 34 |
| Figura 4 - Detectores de Vestígios de Explosivos .....         | 35 |
| Figura 5 - <i>Scanner</i> de Corpo Inteiro .....               | 36 |
| Figura 6 - <i>Clostridium Botulinum</i> .....                  | 45 |
| Figura 7 - <i>Yersinia Pestis</i> .....                        | 46 |
| Figura 8 - Ricina .....  | 47 |
| Figura 9 - Varíola Major.....                                  | 47 |
| Figura 10 - <i>Francisella Tularensis</i> .....                | 48 |
| Figura 11 - Antraz Pulmonar Aumento do Mediastino.....         | 54 |
| Figura 12 - <i>Bacillus Anthracis</i> .....                    | 55 |
| Figura 13 - Algoritmo da MBA no Modelo SIR.....                | 65 |
| Figura 14 - Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim ..... | 70 |
| Figura 15 - Aeroportos no Brasil.....                          | 70 |
| Figura 16 - Aeroportos na Cidade do Rio de Janeiro .....       | 71 |
| Figura 17 - Check in no Terminal 02 .....                      | 76 |
| Figura 18 - Piso de Embarque do Terminal 02.....               | 76 |
| Figura 19 - Modelagem do Cenário.....                          | 80 |
| Figura 20 - Close da Visão do Passageiro .....                 | 81 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Agentes Biológicos usados como Arma .....                    | 48 |
| Tabela 2 - Características do Antraz .....                              | 55 |
| Tabela 3 - Tráfego de Passageiros nos Aeroportos Brasileiros .....      | 72 |
| Tabela 4 - Projeção do Tráfego de Passageiros no Galeão.....            | 73 |
| Tabela 5 - Passageiros/ Minuto Diurno Realizando <i>Check-in</i> .....  | 81 |
| Tabela 6 - Passageiros/ Minuto Noturno Realizando <i>Check-in</i> ..... | 82 |
| Tabela 7 - Consolidação dos Resultados da Simulação Diurna.....         | 84 |
| Tabela 8 - Consolidação dos Resultados da Simulação Noturna.....        | 85 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 - Variação Mensal de Passageiros no Galeão .....               | 73 |
| Gráfico 2 - Variação Diária de Passageiros no Galeão .....               | 74 |
| Gráfico 3 - Voos Internacionais no Galeão .....                          | 74 |
| Gráfico 4 - Origem dos Turistas Internacionais que chegam no Brasil..... | 75 |
| Gráfico 5 - Variação Diária de Passageiros no Galeão .....               | 78 |
| Gráfico 6 - Síntese da Simulação Diurna .....                            | 84 |
| Gráfico 7 - Síntese da Simulação Noturna .....                           | 85 |

## LISTA DE FLUXOGRAMAS

|  |    |
|--|----|
| Fluxograma 1 - Metodologia MBA .....                 | 17 |
| Fluxograma 2 - Modelo SIR.....                       | 62 |
| Fluxograma 3 - Fluxograma da MBA no Modelo SIR ..... | 64 |
| Fluxograma 4 - Modelagem Biowar.....                 | 68 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|           |  |
|-----------|--|
| ABIN      | Agência Brasileira de Inteligência                                       |
| CAA       | Autoridade de Aviação Civil  |
| CDC       | <i>Centers for Disease Control and Prevention</i>                        |
| DNA       | Ácido Desoxirribonucleico  |
| EUA       | Estados Unidos da América  |
| FAA       | <i>Federal Aviation Administration</i>                                   |
| FIFA      | Federação Internacional de Futebol e Atletismo                           |
| IATA      | Internacional Air Transport Association                                  |
| IBGE      | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                          |
| ICAO      | <i>Internacional Civil Aviation Organization</i>                         |
| IED       | Dispositivos Explosivos Improvisados                                     |
| IPEA      | Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada                                 |
| MBA       | Modelagem Baseada em Agente  |
| MCT       | Ministério da Ciência e Tecnologia                                       |
| MED       | Modelagem de Evento Discreto   |
| MIT       | <i>Massachusetts Institute of Technology</i>                             |
| OMS       | Organização Mundial de Saúde   |
| ONU       | Organização das Nações Unidas  |
| Repast    | <i>Recursive Porous Agent Simulation Toolkit</i>                         |
| RNA       | Ácido Ribonucleico   |
| Pronabens | Programa Nacional de Integração Estado-Empresa na Área de Bens Sensíveis |
| PROTEGER  | Sistema Integrado de Proteção de Estruturas Estratégicas Terrestres      |
| SISBIN    | Sistema Brasileiro de Inteligência                                       |
| QBNR      | Químico, Biológico, nuclear e Radiológico                                |
| TSA       | <i>Transportation Security Administration</i>                            |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>14</b> |
| 1.1 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                          | 18        |
| 1.2 JUSTIFICATIVAS.....   | 18        |
| 1.3 HIPÓTESE .....  | 19        |
| 1.4 METODOLOGIA E EMBASAMENTO TEÓRICO .....                               | 20        |
| <b>2. SEGURANÇA DE AEROPORTO</b> .....                                    | <b>21</b> |
| 2.1 POR QUE O AEROPORTO É UM ALVO ESTRATÉGICO.....                        | 21        |
| 2.2 PROBLEMAS DE SEGURANÇA DO AEROPORTO .....                             | 23        |
| <b>2.2.1 O exemplar sistema de segurança de aeroporto em Israel</b> ..... | <b>27</b> |
| 2.2 SEGURANÇA PRIVADA NO AEROPORTO .....                                  | 29        |
| 2.3 REVISTA DE PASSAGEIROS E BAGAGEM.....                                 | 31        |
| 2.4 ANÁLISE DE RISCO DA SEGURANÇA AEROPORTUÁRIA NO BRASIL .....           | 37        |
| <b>3. AGENTES BIOLÓGICOS USADOS COMO ARMA</b> .....                       | <b>40</b> |
| 3.1 CLASSIFICAÇÕES DOS AGENTES BIOLÓGICOS .....                           | 42        |
| <b>3.1.1 Agentes etiológicos Categoria A</b> .....                        | <b>43</b> |
| <b>3.1.2 Agentes etiológicos Categoria B</b> .....                        | <b>43</b> |
| <b>3.1.3 Agentes etiológicos Categoria C</b> .....                        | <b>44</b> |
| 3.2 PRINCIPAIS AGENTES BIOLÓGICOS USADOS COMO ARMA.....                   | 45        |
| <b>3.2.1 Botulismo</b> .....  | <b>45</b> |
| <b>3.2.2 Peste</b> .....  | <b>45</b> |
| <b>3.2.3 Ricina</b> .....   | <b>46</b> |
| <b>3.2.4 Varíola</b> .....  | <b>47</b> |
| <b>3.2.5 Tularemia</b> .....  | <b>48</b> |
| 3.3 O ANTRAZ COMO ARMA BIOLÓGICA.....                                     | 49        |
| <b>3.3.1 Epidemiologia</b> .....  | <b>51</b> |
| <b>3.3.2 Etiologia</b> .....  | <b>52</b> |
| <b>3.3.3 Período de Incubação</b> .....                                   | <b>52</b> |
| <b>3.3.4 Transmissão</b> .....  | <b>52</b> |
| <b>3.3.5 Contágio</b> .....   | <b>53</b> |
| <b>3.3.6 Clínica</b> .....  | <b>53</b> |
| <b>3.2.7 Tratamento</b> .....   | <b>55</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>4. MODELAGEM DE SISTEMAS .....</b>   | <b>56</b> |
| 4.1 MODELAGEM DE EVENTOS DISCRETOS .....  | 56        |
| 4.2 MODELAGEM BASEADA EM AGENTE .....   | 57        |
| <b>4.2.1 Origem de definições da MBA .....</b>  | <b>57</b> |
| <b>4.2.2 Possibilidades e limitações da MBA .....</b>   | <b>59</b> |
| <b>4.2.3 Ferramentas para MBA.....</b>  | <b>60</b> |
| 4.3 MODELAGEM EPIDEMIOLÓGICA DE ATAQUES BIOLÓGICOS .....  | 61        |
| <b>4.3.1 Modelando a resposta a ataques biológicos.....</b>   | <b>61</b> |
| <b>4.3.2 Biowar: uma ferramenta na modelagem de ataques bioterroristas ....</b>   | <b>66</b> |
| <b>5. ESTUDO DE CASO: MBA DE UM ATAQUE COM O AGENTE BIOLÓGICO ANTRAZ NO AEROPORTO INTERNACIONAL DO RIO DE JANEIRO .....</b> | <b>69</b> |
| 5.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DA MODELAGEM .....  | 69        |
| 5.2 DESCRIÇÃO DA CONSTRUÇÃO DO MODELO.....  | 77        |
| 5.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES .....  | 83        |
| 5.4 COMPARAÇÃO DO RESULTADO DA SIMULAÇÃO COM O OBJETO DA MODELAGEM.....   | 86        |
| <b>6. CONCLUSÃO .....</b>   | <b>88</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>91</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Os ataques de 11 de setembro de 2001 nos Estados Unidos da América (EUA), onde quatro companhias aéreas americanas tiveram seus aviões sequestrados por homens-bomba, que trataram as aeronaves civis como mísseis tripulados, resultaram em um saldo de quase 3000 mortes. Realizado pela rede terrorista Al Qaeda, esses ataques foram perpetrados com sucesso usando nada mais sofisticado do que facas e estiletes. Assim, muitos analistas acusaram as falhas na segurança dos aeroportos como uma das condicionantes do êxito dos ataques, pois não coibiram o embarque dos terroristas. Logo, pode ser injusto afirmar que os seguranças que trabalhavam nos aeroportos de partida dos voos sequestrados tinham falhado (GREENFIELD, 2006). De qualquer maneira, o 11/09 tornou os aeroportos lugares altamente simbólicos e politicamente muito significativos por serem vulneráveis a ataques e de difícil controle por serem visitados por milhões de pessoas todos os dias. Uma vez que o aeroporto é um estádio simbólico tanto para protestos nacionais quanto internacionais, os perpetradores criaram uma série aparentemente interminável de maneiras de atacá-lo (JOHN, 1991).

Os aeroportos têm sido colocados em risco por diversos tipos de ameaças, sendo que uma das mais preocupantes da sociedade atualmente é a ameaça biológica, pois é viável e crítica. As preocupações sobre doenças infecciosas e epidemias vieram à tona, com o surto da gripe aviária<sup>1</sup> que mostrou a fragilidade da segurança aeroportuária e fez crescer a importância do controle de acesso e das medidas de biossegurança nos aeroportos (BUZAN, 2012). O pânico generalizado, somado a um grande número de vítimas causam grande impacto sobre a mídia, além da grande concentração de pessoas no aeroporto, tornando factível esse tipo de ação. Essa preocupação é redobrada com a realização de megaeventos, pois

“Desde 11/9, pelos medos de "segurança" ao redor megaeventos esportivos, os planejamentos têm sido cada vez mais sofisticados com tais eventos sendo percebido como potenciais alvos para terroristas. A concentração de uma grande multidão em grandes espaços abertos que são facilmente acessíveis, além disso, o sucesso de ataques terroristas está garantido, pois existe uma grande cobertura da mídia.” (COAFFEE, 2011)

Os megaeventos em geral são episódios de curta duração, podendo ser esportivo como (os Jogos Olímpicos e a Copa do Mundo da Federação Internacional

---

<sup>1</sup> Gripe aviária é o nome dado à doença causada por uma variedade do vírus Influenza (H5N1) que é hospedado por aves, mas que pode infectar diversos mamíferos.

de Futebol e Atletismo - FIFA) e não esportivos (como uma exposição internacional ou uma visita de Chefes de Estado). Muitas vezes, os megaeventos podem ser vistos como atos excepcionais e, em alguns aspectos, até efêmeros. Envolvem um nível de organização inigualável fora do tempo de guerra e planejamento que requer alterações significativas para o governo da cidade-sede ou país (FUSSEY, 2012).

A necessidade de responder as ameaças do terrorismo fez com que o custo de operações de segurança nas cidades-sede em torno dos Jogos Olímpicos e Copa do Mundo tenha aumentado dramaticamente. Principalmente pelas pressões globais relativas às exigências dos comitês internacionais como o Comitê Olímpico Internacional e FIFA exercem especial influência sobre medidas de segurança nacionais. Os recursos incluem tanto as áreas de Defesa e de Segurança Pública como a da vigilância eletrônica do setor urbano. Após os ataques nos Jogos Olímpicos Munique<sup>2</sup> em 1972 e Atlanta<sup>3</sup> em 1996 e, particularmente, desde o 11/09, o terrorismo internacional tem dominado a atenção dos planejadores de segurança durante os megaeventos. A segurança dos aeroportos foi expandida, os procedimentos de controle de acesso foram aprimorados, e algumas outras rotinas foram modificadas. Ficou muito mais fácil alocar recursos financeiros e humanos para a segurança aeroportuária atualmente.

No entanto, não se deve limitar a questão a ataques terroristas. Pois, aeroportos são centros logísticos, muitas vezes conectados a redes ferroviárias, rodoviárias e portuárias. Enquanto, em outras vezes, próximos a áreas industriais ou altamente povoadas; por isso alvos de 'contra-valor' para ataques de interdição ou neutralização. Aeroportos também podem ser relevantes como nexos para controle e barganha política ou consecução de outros objetivos estratégicos de uma campanha terrestre.<sup>4</sup> De uma maneira ou de outra, eles são alvos de alto valor estratégico e baixa prontidão tática para qual seja o ator – estatal ou não – que deseje perpetrar danos – morais ou físicos – a um outros país.

---

<sup>2</sup> Os cinco terroristas do grupo Setembro Negro invadiram a vila olímpica, mataram dois membros da equipe de Israel e fizeram outros nove de reféns. O que se seguiu, com a paralisação temporária dos Jogos e a morte de todos os reféns israelitas, ficou conhecido como o Massacre de Munique.

<sup>3</sup> Um atentado terrorista ocorreu durante os Jogos Olímpicos de Atlanta com a explosão de uma bomba no *Centennial Olympic Park* a poucos metros da Vila Olímpica, que resultou na morte de duas pessoas e ferimentos em outras 111.

<sup>4</sup> Vide Doutrina militar terrestre Manual EB20-MF-10.102 < <http://www.cdoutex.eb.mil.br/index.php/produtos-doutrinarios/novos-manuais> >

A segurança de aeroporto dentro de custos viáveis tem sido possível através da previsão de ameaças por meio de análises prospectivas baseadas no conhecimento estatístico da base de dados existente, assim são realizadas correlações hipotéticas, com o objetivo de levantar as tendências futuras. Dessa maneira, podem-se atender as vulnerabilidades do aeroporto às ameaças em fase de planejamento de construção, expansão ou modernização. A segurança do aeroporto é realizada longe do olhar do grande público. O perímetro de segurança, o controle de acesso e as instalações de proteção são em grande parte invisíveis para a população. Todos são vitais para um programa de segurança do aeroporto e pode ter um impacto direto sobre a vida de todos os passageiros aéreos (WALLIS, 2003).

Assim sendo, a necessidade de segurança do aeroporto é uma preocupação para todos os governos em todo o mundo, e em especial para o Brasil. O país sediou um e sediará outro evento internacional com imensa repercussão na mídia, a Copa do Mundo de Futebol em 2014 e as Olimpíadas em 2016, podendo ainda ser alvo de um ataque com o emprego de agente biológico. Apesar da relevância do tema, há uma limitada literatura acadêmica sobre a segurança de aeroporto; no Brasil particularmente são raros os autores que se dedicam a estudar o assunto.

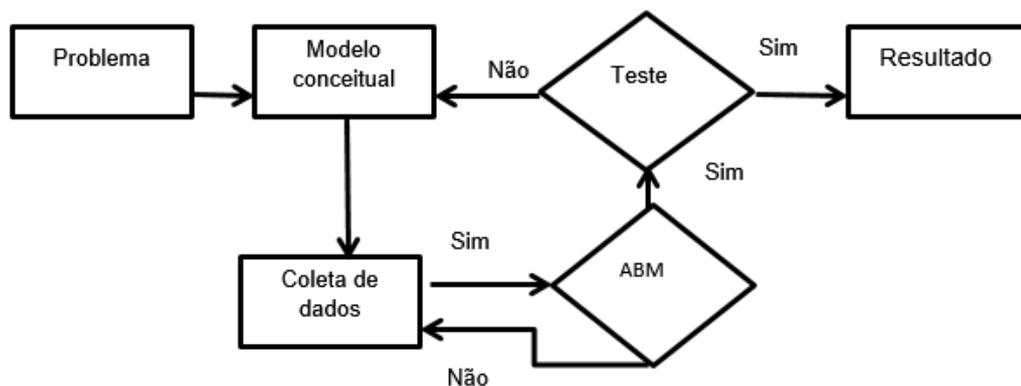
O estudo desta dissertação está focado em contribuir para consolidação de uma agenda de pesquisa sobre o tema, tendo como foco seus efeitos práticos. Dessa maneira, não se busca apenas revisar a literatura sobre desempenho da segurança do aeroporto, instalações, recursos humanos e tecnologias empregadas; porém, busca-se oferecer subsídios metodológicos para avaliação dessas soluções a potenciais ameaças em concordância ainda com a realidade brasileira.

Entende-se que a Modelagem Baseada em Agentes (MBA) pode ser um referencial metodológico importante para tal avanço, e sua verificação para estudos de segurança de aeroportos no Brasil como sendo o objetivo de contribuição dessa dissertação. A MBA tem sido utilizada, com êxito, na engenharia de produção como ferramenta para locação de recursos humanos, em educação formulando a interação dos alunos no ambiente escolar, na medicina no estudo de epidemiologia, entre outras.

“Pouca atenção tem sido dada pela literatura a novos métodos de pesquisa e tratamento dos dados. Devido ao dinamismo e complexidade existentes na realidade, resultado de interações entre os componentes da mesma, há que se considerar o contexto relacional dos atores, sua história e a emergência de fenômenos, muitas vezes imprevisíveis e incontrolláveis. Diante disso, questiona-se a eficácia dos métodos atuais de condução de pesquisa e análise de dados e seus pressupostos, muitos deles herdados da economia e que limitam sobremaneira as possibilidades de entendimento da realidade. O uso de MBA como opção aos tradicionais métodos de análise de dados oferece novas perspectivas de se fazer pesquisa em ciências sociais.” (ZIMBRES, 2006)

Pode-se dizer, de maneira sintética, que este estudo usará a metodologia de MBA conforme o fluxograma 1:

Fluxograma 1 - Metodologia MBA



Fonte: Elaboração própria

Na MBA, existem três grandes vantagens se comparada a outros tipos de modelagem, em primeiro lugar o comportamento de cada entidade é individualizado, podendo ser acionado pelos eventos, o que possibilita modelar grupos heterogêneos e suas respectivas interações, nas quais cada agente pode ter incentivos e motivações particulares. Em segundo lugar, a interação pode ocorrer entre entidades e/ou recursos, sendo assim, a troca de informações pode alterar o comportamento dos elementos e influenciar as ações tomadas no sistema simulado. Por fim, um dos fatos mais relevantes é que a transição de estados possibilita modelagem de cenários totalmente flexíveis que podem ser reconfigurados durante a modelagem (SAKURADA e MIYAKE, 2009).

## 1.1 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo geral deste trabalho é verificar a utilidade da MBA para o diagnóstico da segurança dos aeroportos, principalmente no que tange a agentes biológicos. Este se desdobra em cinco objetivos específicos:

- A) Revisar a literatura especializada em segurança de aeroporto;
- B) Apresentar a MBA como uma ferramenta consolidada para análise de problemas complexos, diagnósticos de operações e organizações que lidem com esses problemas;
- C) Desenvolver uma formulação adaptada de MBA para modelagem de ameaças à segurança de aeroportos;
- D) Qualificar agentes biológicos como uma ameaça potencial para segurança de aeroportos;
- E) Testar e exemplificar a MBA em um estudo de caso.

## 1.2 JUSTIFICATIVAS

As justificativas para a condução de estudo são de duas dimensões: social e acadêmica.

Por um lado, o tema de segurança de aeroporto apresenta ao menos três características básicas que justificam o seu estudo no que tange a sua **contribuição social**. Primeiramente, há o aspecto estratégico, do crescimento do setor aéreo. A *International Air Transport Association (IATA)* aponta que a indústria aérea brasileira continuará crescendo e, ainda este ano, o país alcançará os 90 milhões de passageiros, 32% acima dos níveis do ano de 2013. Pelas previsões, o Brasil deverá possuir o quarto maior mercado de passageiros domésticos já este ano, atrás apenas de EUA, China e Japão. O Brasil registra a maior expansão do setor aéreo no mundo, superando China, Índia, EUA e Europa, de aproximadamente 20% ao ano. Em segundo lugar, este tema envolve negociações de grande volume de recursos financeiros, a concessão do Aeroporto Internacional do Galeão para iniciativa privada gerou um saldo para o governo federal de 19 bilhões de reais. Por último, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) realizou uma pesquisa acerca da percepção da sociedade brasileira sobre o presente e o futuro da Defesa Nacional. A pesquisa foi realizada em 3775 domicílios, em 212 municípios e abrangendo todas as unidades da federação. A pesquisa revela que os entrevistados têm uma percepção própria

daquilo que possa ser uma ameaça para elas, para sua família, para sua cidade e para seu país, ou seja, cada pessoa possui certos medos. Dessa forma, foi perguntado de quais as ameaças o brasileiro tinha medo. Por sua vez, terrorismo e epidemias foram indicados como eventos relevantes por cerca de 30% dos entrevistados respectivamente (IPEA, 2012). Por isso, propõem-se um estudo de caso que aborde o uso do agente biológico Antraz no Aeroporto Internacional do Galeão, perpetrado por um ‘lobo solitário’<sup>5</sup> ou grupo terrorista ou agente estatal, justificado assim a segurança de aeroporto como relevante.

Por outro lado, o tema de segurança de aeroporto apresenta ao menos três características básicas que justificam o seu estudo no que tange a sua **contribuição acadêmica**. Em primeiro lugar grande parte da escassa literatura é pragmática, os relatos são baseados no cotidiano dentro de cada aeroporto ao redor do mundo, sem interface entre eles na elaboração de modelos mais abrangentes que apoiem a continuidade de seu estudo. Em segundo lugar, observa-se que cada aeroporto tem uma rotina particular quanto às medidas adotadas na segurança, ou seja, o que um aeroporto faz o outro não replica, ou mesmo verifica se compatível ou viável com seu caso. Por último, apesar da relevância do tema no Brasil, não há uma agenda de pesquisa focada em estudos sobre o tema de segurança de aeroportos, muito menos na contribuição de ferramentas analíticas e outros tipos de insumos para as autoridades responsáveis na condução de tal tarefa em termos práticos. Por isso, a verificação da MBA parece ser uma forma consistente, apesar de original, de introduzir essa temática no Brasil, vinculando-a a esforços de autores estrangeiros.

### 1.3 HIPÓTESE

**O estudo tem um caráter metodológico, assim, sua contribuição reside na proposição da MBA como uma ferramenta para o estudo de segurança de aeroporto. Dessa maneira, tem-se como hipótese que:**

*A MBA complementa a metodologia brasileira de avaliação de riscos de aeroportos, com implicações positivas na implementação de protocolos mais robustos de segurança.*

---

<sup>5</sup> Lobo solitário indivíduo que age isoladamente.

#### 1.4 METODOLOGIA E EMBASAMENTO TEÓRICO

A evolução do estudo se dá através de três revisões teóricas paralelas e complementares, que tratam de: **a)** trabalhos internacionais sobre segurança de aeroporto, em geral focados ou derivados da experiência norte-americana e europeia; **b)** trabalhos que abordem os agentes biológicos usados como arma, principalmente o Antraz; **c)** trabalhos que tratam e advogam pela aplicação da MBA para estudos de caso.

## 2. SEGURANÇA DE AEROPORTO

O capítulo discutirá por que o aeroporto é um alvo estratégico e quais são os problemas de segurança dos aeroportos atualmente, em especial mostrará um caso bem sucedido mundialmente que é o sistema de segurança de aeroporto em Israel. Uma das discursões abordadas será se é viável a utilização de segurança privada nos aeroportos, para isso realizará dois exemplos de como são os processos de recrutamento de recursos humanos nos aeroportos na Malásia e no Canadá. Com a identificação de novas ameaças após o 11/09, cresceu a importância de uma revista de passageiros e bagagem de forma adequada pela segurança do aeroporto. O capítulo discutirá quais são esses procedimentos e mostrará também as novas tecnologias que são o estado da arte no setor.

### 2.1 POR QUE O AEROPORTO É UM ALVO ESTRATÉGICO

O aeroporto possui uma grande relevância estratégica, devido ao transporte de carga e pessoas e, por ser muitas vezes, são ligados por outros modais, aumentando ainda mais sua importância. Por conta disso, historicamente desde a Segunda Guerra Mundial, os aeroportos sempre foram alvos prioritários na abertura de guerras e durante elas. Embora, nos dias de hoje, exista uma separação funcional-operacional entre pistas de pouso militares e civis. Aos das primeiras sempre existem bases aéreas justapostas, que em tempos de guerra ficam subordinadas a uma autoridade militar e fazem parte de qualquer Plano Operacional.

Na realidade da guerra aérea, o ataque a pistas de pousos e aeroportos são a principal garantia pelo comando aéreo de um lado sobre o outro. No entanto, além do alto custo e risco de ataques convencionais necessários para neutralização operacional de um aeroporto, este efeito final pode não ser o desejado, pois sua conversão como eixo de entrada de uma força invasora pode ser relevante. Por fim, a tomada aero terrestre ou apenas terrestre de aeroportos também são operações muito arriscadas ou passíveis de ocorrerem ao fim de uma campanha, respectivamente. Por isso, o ataque a um complexo aeroportuário com um agente biológico, como o antraz, pode ser uma operação de abertura de uma guerra mais ampla, neutralizando seu uso militar, pelo menos, por um período razoável de tempo, até que a área seja totalmente descontaminada.

Além desse emprego contra forças combatentes, ataques contra aeroportos podem ter um valor estratégico contra valor, ou seja, contra população e recursos económicos de um país. Por um lado, eles são um valor simbólico aos que procuram, além de garantir a total atenção da mídia internacional para o evento, atingir materialmente um determinado país-alvo. Principalmente ataques com agentes biológicos podem criar pânico generalizado na população, levando o governo local a temer a um provável novo ataque. Os passageiros internacionais reavaliariam seus planos de viagem, logo tem em mente que em todo o mundo, embarcam e desembarcam nos aeroportos cerca de dois bilhões de passageiros por ano, e eles podem ser uma das vítimas. Apesar de já serem quase trinta bilhões de embarques e desembarques em aeroportos desde 9/11, aproximadamente uma em cada cento e trinta milhões de pessoas morreram em ações criminosas em aviões ou aeroportos. Dessa maneira, as chances de morte são pequenas, embora qualquer atentado seja uma grande tragédia.

Os ataques em aeroportos não são um fenômeno novo, uma bomba explodiu na área de bagagens do aeroporto de LaGuardia, em Nova York - EUA, matando quatorze pessoas e ferindo setenta, em 1975. Outra bomba matou cinco e feriu cinquenta e seis no balcão de check-in no aeroporto de Orly, em Paris, em 1983. Os terroristas atacaram os passageiros nos aeroportos de Roma e Viena, na Áustria, matando treze pessoas e ferindo cento e treze, em 1985. Os agentes aduaneiros na fronteira EUA-Canadá prenderam um indivíduo suspeito, em 1999. Eles descobriram uma grande bomba no porta-malas de seu carro, o que ele pretendia detonar no Aeroporto Internacional de Los Angeles.

Surge então uma pergunta interessante, será que precisamos de ainda mais segurança neste alvo estratégico? Os balcões de check in, salas de embarque e outras áreas de fácil acesso do aeroporto estão em segurança? A resposta é que esses locais públicos são caros para se proteger e não pode ser feito quase nada para que não sejam atacados. Os ataques aos complexos aeroportuários, nestas últimas décadas, levaram a medidas de segurança extraordinárias que tem obtido algum sucesso, agindo como um dificultador dessas novas ameaças. Além disso, melhorou significativamente a inteligência que ajuda a manter os perpetradores afastados dos aeroportos.

Por outro lado, mesmo que um atentado fosse dissuadido por medidas de segurança no aeroporto, estas talvez não fossem mitigar a intenção dos atores

estatais e não estatais de realizá-lo. O perpetrador poderia simplesmente ir a alguns quilômetros mais longe para detonar o seu dispositivo em uma estação de trem, shopping center, edifício, restaurante, próximo a uma base militar ou qualquer outro local movimentado.

Segundo Clausewitz em *Da Guerra*, "O conhecimento deve tornar-se capacidade", contudo a análise de ameaças em alvos estratégicos, como os aeroportos, contra atentados com armas biológicas é repleta de dificuldades, pois embora o ataque seja de baixa probabilidade, o evento é de alta consequência, tornando assim um levantamento histórico pobre deste tipo de análise. Atualmente, a ameaça biológica não vem sendo tratada, pelos decisores, com a devida importância, apesar de seu emprego estratégico ao longo das últimas décadas.

## 2.2 PROBLEMAS DE SEGURANÇA DO AEROPORTO

Ao longo de grande parte do mundo, a segurança do aeroporto é baseada nas normas e práticas recomendadas pela *International Civil Aviation Organization (ICAO)*, organização que faz parte da Organização das Nações Unidas. Nestes mais de 50 anos de existência, tem sido o órgão legislativo em relação à aviação civil internacional. É uma organização política, como qualquer agência da Organização das Nações Unidas (ONU). Isto significa que os resultados de seus debates e da linguagem desenvolvida para o uso internacional são, inevitavelmente, comprometidos com certas agendas políticas. Os pequenos Estados-membros são muitas vezes relutantes em adotar o que eles vêem como medidas onerosas, pois eles não possuem recursos financeiros e/ou humanos qualificados para operar os equipamentos de segurança de aeroporto, quase sempre, de alta tecnologia (WALLIS, 2003).

Segundo Jonh (1991), existem alguns problemas básicos e relevantes quanto à melhoria da segurança do aeroporto, o que dificulta sobremaneira tornar sua segurança mais eficaz, em todo mundo:

Em primeiro lugar, um ataque realizado com sucesso revela a inadequação de um sistema de segurança aeroportuário que está desatualizado. As novas medidas adotadas que, por sua vez, permanecem inalteradas, até que sejam contornadas por um outro ataque ou ameaça.

O segundo problema na melhoria da segurança do aeroporto é que o incremento de procedimentos de segurança mais rigorosos se baseia na ameaça percebida dentro de cada país. Um país que acaba de passar por um ataque tende a invocar o aumento das medidas de segurança, ao passo que um país vizinho que tenha sido poupado das mesmas hostilidades pode não ver necessidade alguma de atualizar suas próprias medidas de segurança.

Um terceiro problema no desenvolvimento de segurança do aeroporto diz respeito aos meios internacionais da aplicação de punições. A IATA e a ICAO presidem essas sanções internacionais, contudo os países membros ignoraram suas disposições. O resultado é uma completa falta de fiscalização internacional concertada de medidas punitivas.

Um quarto problema que inibe o desenvolvimento da segurança do aeroporto tem sido a atitude das companhias aéreas. Para as companhias aéreas, o transporte de pessoas e carga visa fins lucrativos, além disso, há uma concorrência acirrada entre elas. Logo, sobram poucos recursos financeiros para investir em sistemas caros de segurança nos aeroportos.

O quinto problema é que todo o sistema de segurança de aeroportos é tão forte quanto o elo mais fraco dessa corrente. Por isso, é importante saber o que foi alcançado até agora no processo de construção de segurança do aeroporto, bem como a forma de lidar com a ameaça de segurança que se avizinha.

Segundo Wallis (2003), e concordando com as ideias de Jonh (1991), existem alguns problemas quanto à melhoria da segurança do aeroporto para torná-lo mais eficaz. Por isso, foi homologado o **Manual de Segurança de Aeroporto da ICAO**, também conhecido pelas companhias aéreas como os oito pontos. A IATA, por meio de inquérito, trabalhou junto com a administração da aviação civil e gestão de aeroportos, com o objetivo de erradicar qualquer falha de segurança de aeroporto que fosse identificada. Cabe salientar que o estudo foi feito sem nenhum custo para os governos, logo um grande benefício adicional. Os oito pontos são:

1. Uma área estéril<sup>6</sup> - área restrita - deverá ser estabelecida para o embarque de todos os voos nacionais e internacionais. Os passageiros e a sua respectiva bagagem de mão deverão ser fiscalizados antes de entrar

---

<sup>6</sup> As estações de triagem são colocadas em um estágio inicial de movimentos dos passageiros através de um aeroporto. Geralmente, as estações são imediatamente para além das mesas de *check-in*.

nesta área. Todas as outras pessoas e os objetos que entram na área deverão ser autorizados e ser submetidos a medidas de controle de segurança;

2. Os sistemas de comunicação diretos e discreto para ligar os pontos de controle de passageiros e outros pontos de acesso a um centro de controle do aeroporto devem ser capazes de responder rapidamente em casos de ameaças;

3. Os policiais armados e equipados, com equipamentos de comunicações móveis, realizam patrulhas dentro do aeroporto. Eles devem estar prontamente disponíveis para ajudar em casos de suspeita ou real interferência de operações da aviação civil e para um programa de gestão de crises de segurança do aeroporto;

4. As áreas de acesso restrito deverão ser adequadamente fechadas, claramente marcadas com sinais e controles de admissão, aplicando-se a todas as pessoas e veículos, estabelecidos para evitar a entrada não autorizada na área restrita;

5. A identificação visual das áreas restritas no aeroporto deve ser bem clara e somente as pessoas autorizadas podem acessá-las. Deve-se indentificar todas as pessoas, em pontos de controle, antes de entrar na área restrita;

6. As barreiras físicas devem ser instaladas para separem espaços públicos da bagagem, correios e carga. As instalações devem permitir que esses itens sejam radiografados ou sejam rastreados pela segurança quando necessário;

7. As áreas de estacionamento de aeronaves devem ser adequadamente controladas, protegidas e bem iluminadas; e

8. Todos os pontos de vista de observação pública com vista para o lado de dentro da área restrita devem ser adequadamente protegidos para garantir a segurança.

A rampa, que faz parte da pista, é o ponto mais fraco da segurança de qualquer aeroporto (Figura 1). É a área imediatamente adjacente ao edifício do terminal e onde a maioria das aeronaves é estacionada, enquanto no solo. Nos aeroportos que não têm pontes aéreas que ligam o terminal à aeronave, os passageiros têm que passar pela rampa ao sair ou entrar para um voo. Enquanto as aeronaves chegam ou estão se preparando para a partida, é na rampa que são desenvolvidas a maior parte das atividades aeroportuárias. Quanto maior o avião,

mais trabalhadores do aeroporto e veículos de serviços precisam de acesso à rampa. Logo, todas as atividades nesta área têm que ser rastreadas e supervisionadas pela segurança do aeroporto. A aeronave deve ser totalmente protegida contra a entrada de indivíduos não autorizados na rampa, pois comprometerá seriamente sua segurança. (WALLIS, 2003)

Figura 1 - Aeronave na rampa



Fonte: [www.mecanicodeaeronaves.com](http://www.mecanicodeaeronaves.com)

A *Federal Aviation Administration (FAA)* preocupada com a segurança dos aeroportos nos EUA expandiu a pesquisa e desenvolvimento em áreas de guerra biológica, desenvolvendo tecnologias que poderiam evitar o sucesso dessas armas no interior de aeroportos e na rampa de acesso de aviões. Os trabalhos da *FAA* na segurança de aeroporto englobam a triagem de bagagens, detecção de explosivos, a identificação biométrica de passageiros e o compartilhamento de informações de inteligência pelos órgãos federais nos EUA. (SOZI, 2011)

“Até este momento não houve qualquer levantamento de inteligência que indique que a varíola é uma arma provável, para ser usada em um ataque bioterrorista em aeroportos. Contudo o estoque de antibióticos, como a ciprofloxacina exige grande dose de atenção, principalmente, após 11/9, pois funciona bem contra o **Antraz, uma das armas mais prováveis de serem utilizadas**”. (RANUM, 2004). (Grifo nosso)

Por outro lado, cabe destacar que a segurança reforçada do aeroporto desenvolvida por recomendação dos governos elevou o custo do transporte aéreo e as companhias aéreas estão lutando para manter seus gastos em um valor mínimo, por meio do incremento de seu desempenho operacional. O manuseio da bagagem é um dos grandes desafios da atual medida de segurança. O objetivo é melhorar a qualidade da gestão da bagagem, a velocidade e a eficiência de transferência através de um concentrador de bagagem, ao mesmo tempo minimizando os custos

associados com o aumento de tráfego aeroportuário ocorrido nos últimos anos (SOZI, 2011).

### 2.1.1 O exemplar sistema de segurança de aeroporto em Israel

Os israelenses instituíram uma série de verificações de embarque para todos os passageiros nos aeroportos, por meio de revistadas físicas e psicológicas. Todos os passageiros são submetidos a uma extensa pesquisa social para assegurar que cada um é realmente quem ele ou ela diz ser. Para facilitar esta pesquisa social, é exigida a identificação completa dos passageiros durante o processo de emissão de bilhetes, para permitir que as autoridades de segurança possam compilar os dados pessoais do indivíduo (JONH, 1991).

Os passageiros são normalmente convidados a chegar **pelo menos duas horas e meia antes da hora de voo** para que haja tempo suficiente para os procedimentos de segurança de bagagem e questionamentos. Os passageiros são perguntados se eles fizeram a sua própria embalagem, se tem dispositivos eletrônicos, se alguém teve acesso a sua bagagem depois que ela estava pronta e os telefones de seus amigos e familiares. O outro elemento no sistema de segurança de Israel é o uso de uma extensa tecnologia no aeroporto, apesar de que adotar as medidas de segurança de Israel nas verificações de passageiros e bagagem de forma meticulosa poderia ser muito demorado baseado no grande volume de passageiros que precisam ser examinados (JONH, 1991, grifo nosso).

Segundo Taylor (2013) e Jonh (1991) apontam sobre os constrangimentos do rigor dos procedimentos, por exemplo o rigor das perguntas aos visitantes árabes e não judeus israelenses que são forçados a se envolver em longos períodos de perguntas, e são obrigados ainda a permitir que a segurança do aeroporto faça uma busca minuciosa de sua bagagem. Entre os fatores que são levados em consideração quando se decide exigir que um determinado passageiro passe por medidas adicionais de segurança estão incluídos: a etnia do passageiro, religião, afiliação nacional, padrões de comportamento, informações sobre viagens e os dados levantados pela inteligência sobre o passageiro.

Em termos de aspecto de interação pessoal de medidas de segurança do aeroporto de Israel, a primeira camada de interação ocorre fora do aeroporto: os carros que se aproximam do aeroporto são parados e os guardas fazem as perguntas

aos passageiros. Em seguida, antes do *check-in* para um voo, os passageiros devem novamente responder uma série de perguntas e são obrigados a mostrar seus documentos de viagem. Ao longo de todo o processo de interação pessoal, a segurança do aeroporto está menos preocupada com as respostas reais dos passageiros e mais com sinais físicos como nervosismo e tom de voz (TAYLOR, 2013).

Os governos ocidentais e as suas indústrias de aviação tem o conhecimento e a tecnologia, mas não a vontade de fazer cumprir os procedimentos de segurança, como Israel o faz. A questão é se um sistema realmente eficaz pode ser desenvolvido, desde que não prejudique o bom funcionamento de todo aeroporto, garantindo assim o lucro das companhias aéreas. Enquanto isso, cada supervisor deve avaliar a ameaça de segurança para o seu próprio aeroporto e certificar-se de que um nível adequado de segurança é mantido dentro de sua própria jurisdição. (JONH, 1991)

Segundo Taylor (2013), e discordando de Jonh (1991), sobre a importância do uso de tecnologia, a confiança de Israel na interação com os passageiros, tanto por meio de perguntas pessoais e através de perfis étnicos, religiosos, e as viagens pode não ser a melhor abordagem para os aeroportos dos EUA devido as suas diferenças com um aeroporto de Israel.

O Brasil dificilmente conseguiria adotar o mesmo sistema de segurança aeroportuário israelense, particularmente no Aeroporto do Galeão. O motivo é devido às dimensões continentais brasileiras e ao maior número de voos diários, além da maior quantidade de passageiros embarcados. Enquanto Israel tem dez milhões de passageiros por ano, somente no aeroporto do Galeão embarcaram mais de dezessete milhões de passageiros em 2013. Dessa maneira, conclui-se que as soluções de Israel, apesar de eficientes, não se adequam ao Brasil pelo custo elevado e aumento de tempo gasto pelos passageiros nos procedimentos de embarque. A ampliação das rotinas, causaria um efeito negativo no funcionamento de aeroportos de grande porte, como é o caso do Galeão. A necessidade de segurança aeroportuária brasileira passa pela adoção de ferramentas de abordagem mais baratas e com maior potencial heurístico (acúmulo de conhecimento e procedimentos), como a modelagem de cenários baseados em agente propostos nesta dissertação.

## 2.2 SEGURANÇA PRIVADA NO AEROPORTO

Embora a quantidade de pesquisa feita sobre segurança privada continue a ser ofuscada pelo policiamento público ostensivo, ao longo dos últimos vinte anos, a segurança privada tem recebido alguma atenção na literatura acadêmica. Vários temas têm surgido, um deles foi o seu notável crescimento no provimento de segurança em aeroportos..

No caso dos EUA, por exemplo, uma consequência disso foi a diminuição do desempenho de segurança de aeroportos, que não era simplesmente atribuível a uma falta de percepção da ameaça que pairava sobre os alvos da aviação civil dos EUA, mas tinha mais a ver com uma simples economia de custos. Pois, a responsabilidade pela triagem de passageiros e bagagem de mão tinha sido delegada às companhias aéreas. No entanto, apesar delas terem que cumprir com as diretivas emanadas da FAA para realizar a fiscalização, tal questão nunca foi prioritária para elas. Para minimizar os custos, as operadoras contrataram agências para realizar a tarefa em seu nome. Para ganhar os contratos de triagem, estas agências entraram em uma situação de licitação onde o menor valor é o vencedor. Um resultado natural de tal oferta era um salário baixo para o pessoal de segurança do aeroporto. Frequentemente, seus emolumentos foram definidos no salário mínimo permitido pelo governo, este foi muitas vezes menor do que o pago a um assistente de um reustaurante de *fast food* no aeroporto. Inevitavelmente, a qualidade do recurso humano contratado com baixo salário e qualificação ficaram muito aquém do que era necessário para o trabalho (WALLIS, 2003).

Corroborando com o afirmado por Wallis (2003) sobre os baixos salários dos recursos humanos privados empregados em segurança do aeroporto, Sozi (2011) afirma que o governo federal norte-americano, após o 11/09, assumiu as responsabilidades sobre os insumos de produção. Os custos trabalhistas foram incrementados para melhor remunerar os funcionários da segurança de aeroporto sendo a maior remuneração de base salarial média anual cerca de 35.500 dólares em comparação com os 15.000 dólares pagos pela iniciativa privada.

A política de segurança do aeroporto da Malásia é muito estudada na literatura e serviu de exemplo para o Congresso Norte Americano legislar sobre segurança de aeroporto, especialmente pelas missões que tem sido dada para a FAA. A Malásia é uma federação de treze estados, sendo que dois dos estados são na ilha de Bornéu.

Os aeroportos continentais da Malásia e as ilhas estão sob a responsabilidade da Autoridade de Aviação Civil (CAA). O CAA criou uma equipe que ocupa desde os cargos mais baixos até a direção para cumprir a tarefa de segurança, isso tem proporcionado uma estrutura de carreira para as pessoas que entram no serviço de segurança de aeroporto. Quando foi criada pela primeira vez, os salários da força de segurança do aeroporto superou o de policiais em posições similares. Isso fez com que o recrutamento fosse fácil e até alguns policiais fossem transferidos para a força de segurança do aeroporto. As ligações com a Polícia Federal da Malásia manteve-se forte e o treinamento foi baseado em padrões de serviço da polícia, e muitos encargos da segurança de aeroporto foram supervisionadas por pessoal daquela força federal. O treinamento com enfoque em liderança para identificar possíveis candidatos à promoção era uma característica essencial de um programa de desenvolvimento educacional criado pelo CAA. O recrutamento foi realizado em três níveis, no inicial era exigido o ensino médio, o seguinte para ascender ao posto de sargento, o candidato tinha que passar por um vestibular, como se fosse o acesso a uma universidade. O terceiro nível de recrutamento foi de universitários, este último se juntou à força como inspetores, e sua formação exigia passar um ano na academia de polícia e mais um ano no trabalho antes de atingir promoção (WALLIS, 2003).

Nos EUA, vários cenários possíveis de segurança de aeroporto foram discutidos para que o governo federal viabilizasse uma aviação mais segurança. No entanto, os custos com pessoal poderiam ser muito elevados e ainda havia o medo que o governo norte-americano monopolizasse os serviços de segurança do aeroporto. Os baixos recursos governamentais podem reduzir a qualidade da segurança da aviação em comparação com o setor privado. Por outro lado, os prestadores privados também têm muita evasão de recursos humanos nesta área, porque eles têm uma história de contratar elementos de segurança não qualificados, com baixos salários como forma de minimizar seus custos (SOZI, 2011).

Segundo Parayitam (2004) e concordando com Sozi (2011), a despesa com pessoal de segurança do aeroporto vem aumentando, pois os cargos estão sendo adicionados aos rols de emprego federais. O Congresso dos EUA acredita que o pessoal de segurança do aeroporto vai ser mais bem treinado e supervisionado como uma força federal.

Por outro lado, estuda-se na literatura um caso negativo que é a prestação de serviços de segurança em aeroportos no Canadá. Naquele país, tem sido alta a taxa

de rotatividade da segurança privada, estimativas apontam mais de 100% ao ano. O motivo dessa rotatividade é porque o trabalho é desqualificado, tedioso e ingrato. A combinação desses fatores resulta em uma força de trabalho que é mal treinada, desqualificada e desmotivada. O Estado canadense se preocupa com a segurança privada em aeroporto apenas quanto ao recrutamento e no que diz respeito à idoneidade dos candidatos. Não há requisitos mínimos para a educação dos funcionários de segurança, e apenas duas províncias (Colúmbia Britânica e Terra Nova) requerem treinamento para contratação de segurança privada. Dada à natureza fragmentada da regulação estatal e da capacidade de fiscalização limitada das agências reguladoras estaduais, há pouco para garantir uma seleção e um treinamento do pessoal de segurança de aeroporto adequados (LIPPERT, 2003).

### 2.3 REVISTA DE PASSAGEIROS E BAGAGEM

Segundo Parayitam (2004), são vários os problemas que tornam a revista de bagagem e pessoal ineficientes em todo mundo. O autor enfatiza que poderiam ser estas as possíveis causas de falhas de segurança no aeroporto. As quatro causas possíveis para o passageiro embarcar no avião com uma arma são falhas em: técnicas de pesquisas eletrônicas, métodos de amostragem, visualização de bagagem e a pesquisa física.

1. Técnicas de pesquisa eletrônica: Um equipamento eletrônico mal projetado ou incapaz de detectar todo o tipo possível de armas. Para garantir a eficiência, o equipamento deve ser mantido e calibrado, em intervalos de tempo regulares. Este mesmo raciocínio aplica-se a toda a bagagem despachada, esta é a responsabilidade do Supervisor de Manutenção, que tem um controle direto sobre a causa. A ação a ser tomada é manter e calibrar o equipamento em intervalos de tempo regulares.

2. Métodos de amostragem: Uma causa de falhas de segurança são as técnicas de amostragem ineficazes. Muitas vezes, o pessoal de segurança submete os passageiros à revista de forma aleatória e isso pode resultar em permitir que os passageiros potencialmente perigosos não sejam revistados.

3. Visualização de bagagem: A visualização de bagagem de mão dos passageiros deve ser feita de forma criteriosa. O relaxamento ou falta de atenção por

parte dos agentes de segurança permitirá que objetos perigosos possam passar despercebidos.

4. Pesquisas físicas: A realização de pesquisas físicas nos indivíduos, quando necessário (como indicado pelo comportamento, informação prévia, alarme do metal de detector etc.), poderia ser uma causa potencial, porque há uma chance de que ela não esteja sendo feita corretamente. A verificação física inadequada pode permitir que um passageiro embarque a bordo do avião com uma arma.

A ICAO recomenda que os pontos de revista devam incluir uma unidade de raios-x, para bagagem de mão e um detector de metais (magnetômetro) para revista de passageiros. A agência da ONU preconiza que os equipamentos devam ser geridos por uma equipe composta de cinco operadores, **os membros da equipe devem fazer rodízio de suas funções a cada 20 minutos**. Isto é conseguido através da separação das cinco funções com um membro dirigindo o fluxo de bagagem de mão, enquanto o segundo funcionário permanece na unidade de exibição de vídeo, que mostra as imagens dos itens que estão sendo radiografados. O terceiro membro da equipe procura todos os itens selecionados durante o processo de raios-x para uma análise mais aprofundada. O quarto funcionário da segurança controla o movimento de passageiros através do magnetômetro, enquanto a quinta pessoa realiza a revista manualmente naqueles que acionarem o alarme do detector de metais. A quinta pessoa, às vezes, pode ser vista usando um detector de metais portátil. O objetivo do rodízio da equipe é mitigar o tédio e o cansaço mental associado a tarefas de repetitivas, em particular, para evitar que a pessoa que monitora a unidade de exibição de vídeo se torne ineficiente. Vinte minutos é o tempo máximo que uma pessoa pode ver as imagens na tela de uma máquina de raios-x de forma eficaz. O rodízio acrescenta uma variedade de tarefas aos membros da equipe e garante uma compreensão de todas as funções (WALLIS, 2003, grifo nosso).

Na Europa, a configuração da ICAO, com equipes de cinco operadores, está em uso generalizado. Nos EUA, foi raramente visto antes 11/09, sendo que, na maioria dos aeroportos domésticos, unidades de raios-x de duas pessoas era o padrão, e seu desempenho sempre deixou muito a desejar, assim como a qualidade de sua gestão.

A maioria dos sistemas de raios-x de bagagem em uso ao redor do mundo oferecem um pouco mais do que um placebo destinado a criar uma falsa sensação de segurança entre o público que viaja. O equipamento é geralmente inadequado para a tarefa. Assim também são os procedimentos geralmente associados a ele. (WALLIS, 2003)

Os viajantes podem facilitar a sua passagem pela segurança aeroporto e minimizar os atrasos nos postos de controle de segurança. Quando preparam a bagagem para uma viagem, eles devem limitar a sua bagagem de mão a uma única peça e não carregar quaisquer objetos cortantes que possam ser interpretados como perigosos. As tesouras, lixas de unha, agulhas de tricô, ferramentas, todas se enquadram nesta categoria. Assim, também não podem carregar recipientes de gases e líquidos inflamáveis (WALLIS, 2003).

Os eletrônicos tendem a levantar preocupações com segurança do aeroporto. Estes são conhecidos por serem potencialmente perigosos: rádios, gravadores, computadores portáteis e brinquedos acionados por bateria todos se enquadram nesta categoria. Os passageiros devem estar preparados para ter tais itens examinados, cuidadosamente, por agentes de segurança (WALLIS, 2003). Essa preocupação, reside no fato que os eletrônicos podem abrigar Dispositivos Explosivos Improvisados (IED).

Muitos magnetômetros são calibrados para identificar até mesmo as menores quantidades de metal. Normalmente, os detonadores eletrônicos têm elementos metálicos que irão acionar os alarmes. Por isso, a calibração é definida com níveis muito sensíveis, os passageiros podem frequentemente ser visto despojar-se dos cintos e sapatos como os elementos de metal acionados pelas campainhas de alerta. A calibração de acordo com um determinado ambiente é importante, algumas máquinas têm a capacidade de indicar onde o objeto de metal está localizado no corpo de uma pessoa. Hoje, porém, as cerâmicas que são frequentemente utilizadas na fabricação de detonadores não são identificadas, estes apresentam um novo desafio (WALLIS, 2003).

Adicionalmente, novas tecnologias têm sido desenvolvidas e testadas em suplementação à máquina de raios-x, implantada anos 1970 na área de segurança do aeroporto. Atualmente, os EUA baseiam quase inteiramente a segurança no aeroporto em meios eletrônicos de detecção de ameaças à segurança nacional. Quatro novas tecnologias, comuns em aeroportos dos EUA são: identificação biométrica, Scanners para líquidos engarrafados, detectores de vestígios de explosivos e scanners de corpo inteiro ou tecnologia *Advanced Imaging* (TAYLOR, 2013).

A identificação biométrica é uma forma de identificar os passageiros, verificando suas impressões digitais, ou a digitalização de suas íris, ou uma combinação dos dois (Figura 2). Apesar da leitura de impressões digitais ser bastante simples, exames de íris analisam os anéis, sulcos e sardas no anel colorido que circunda a pupila do olho, podendo ter mais de 200 pontos para comparação.

Figura 2 - Biometria



Fonte: <http://www.sistemasbiometricos.cl/web/tag/buen-uso-a-la-biometria/>

Os Scanners de Líquidos Engarrafados (Figura 3) podem ser usados para diferenciar entre explosivos líquidos e líquidos comuns. Eles são comumente utilizados quando a segurança do aeroporto observa na tela dos raios-x líquidos em envólucros. Estas máquinas trabalham lendo a composição molecular do líquido e que pode determinar, no prazo de quinze segundos, que líquidos são seguros ou perigosos.

Figura 3 - Scanners de Líquidos Engarrafados



Fonte: <http://pt.made-in-china.com/>

Os detectores de vestígios de explosivos (Figura 4) são dispositivos que permitem que agentes de segurança façam um esfregaço da bagagem ou das mãos de um passageiro e tenham essa amostra testada para resíduo explosivo. A segurança do aeroporto classifica os dispositivos explosivos improvisados como uma das maiores ameaça à segurança do aeroporto nos dias de hoje. Para executar um teste, os agentes de segurança do aeroporto esfregam um cotonete sobre a área e em seguida, colocam na máquina que analisa a amostra para pequenos traços de explosivos. Tudo isso pode ser feito em poucos segundos, e essa tecnologia é extremamente móvel.

Figura 4 - Detectores de vestígios de explosivos



Fonte: <http://interphysix.com/pt/radiacao/1364-egis-defender-desktop-efd-system-explosives-only-includes-start-up-kit-carrier-gas-air.html>

O Advanced Imaging Technology, também conhecido como o *scanner* de corpo inteiro (Figura 5) usa os vários comprimentos de onda eletromagnética para ver por baixo da roupa do passageiro, ou seja, a imagem que é produzida por agentes de segurança do aeroporto é o de seu corpo nu e qualquer metal, drogas ou explosivos que ele possa ter consigo. Existem dois tipos de *scanners* de corpo inteiro: A máquina de ondas milimétricas e a máquina backscatter. A máquina de ondas milimétricas funciona enviando ondas de rádio sobre uma pessoa e produzindo uma imagem tridimensional através da medição da energia refletida de volta. Já a máquina Backscatter opera por raios-x de baixa intensidade para criar uma imagem bidimensional do corpo (TAYLOR, 2013).

Figura 5 - *Scanner* de corpo inteiro

Fonte:

<http://www.zimbio.com/pictures/pvdq7G93288/Napolitano+Inspects+New+Advanced+Imaging+Technology/baj20CP3G2L>

Outra novidade são as máquinas soprador que também estão em uso para desalojar as moléculas de resíduos recolhidas durante a fabricação de explosivos. O corpo humano também emite uma assinatura de calor e sensores poderiam segui-lo por meio da baixa pluma térmica saindo do corpo do passageiro movendo-se através do túnel. As bombas reais se forem escondidas no corpo, emitem suas próprias assinaturas de calor, e poderiam também ser detectadas. Antes que o protótipo fique pronto para testes, o *Transportation Security Laboratory* tem que aperfeiçoar todos os subsistemas, enquanto isso, o laboratório continua a testar as máquinas projetadas para verificar os sapatos para identificar explosivos sem ter que tirá-los (STEW, 2008).

Material explosivo plástico (Semtex e CN4) usado como carga em IED está se tornando mais detectável, e não por magnetômetros, mas por sistemas de detecção e análise de vapor. O *EGIS* é uma máquina de detecção de vestígios de explosivos que foi construído pela *Thermedics*. A máquina proporciona um processo de análise química de alta velocidade para determinar se os produtos químicos, incluindo explosivos, tinham contaminado o conteúdo da bagagem. Eles podem indicar se uma pessoa esteve em contato recentemente com esses materiais (WALLIS, 2003).

Taylor (2013) aponta que os Estados Unidos precisam se afastar de formas puramente mecânicas de detecção de ameaças para um sistema de interação pessoal. A interação pessoal manteve Israel livre de ataques terroristas desde os anos 1970, e é a interação pessoal que vai ajudar os agentes de segurança dos aeroportos da América detectar ameaças que as máquinas podem não detectar, como sinais físicos e as respostas de passageiros para interrogatório. Em Boston nos EUA, a

segurança do aeroporto está testando métodos de interação pessoal de Israel, além das entrevistas, os passageiros serão obrigados a passar por detectores de metais e scanners de corpo inteiro. Assim, como em Israel, enquanto os oficiais da *Transportation Security Administration (TSA)* estão fazendo perguntas gerais sobre planos de viagem dos passageiros, eles estão à procura de mais do que apenas respostas. Eles estão à procura de pistas físicas que levariam os agentes de segurança a acreditar que o passageiro está mentindo, com medo ou tem alguma intenção hostil.

Os críticos podem questionar a prática de Boston porque o principal aeroporto de Israel tem cerca de dez milhões de pessoas por ano, enquanto a maioria dos grandes aeroportos dos EUA tem cerca de oitenta milhões de pessoas por ano, o que pode inviabilizar esses procedimentos devido à grande quantidade de tempo despendida por passageiro.

#### 2.4 ANÁLISE DE RISCO DA SEGURANÇA AEROPORTUÁRIA NO BRASIL

A Agência Brasileira de Inteligência (ABIN) é o órgão central do Sistema Brasileiro de Inteligência (SISBIN). Tem entre suas atribuições a execução da Política Nacional de Inteligência e a integração dos trabalhos dos órgãos setoriais de inteligência do país. Dessa forma, a ABIN presta assessoramento à Presidência da República assegurando-lhe o conhecimento de fatos e situações relacionados ao bem-estar da sociedade e ao desenvolvimento e segurança do país.

A ABIN elenca alguns setores críticos que podem gerar risco à segurança dos aeroportos e com o apoio da comunidade de inteligência realiza o acompanhamento da conjuntura, pois tem interesse de prevenir e mitigar estas ameaças no Brasil. Utiliza, para isso, os dados gerados pelas diversas instituições participantes do SISBIN. Dessa maneira, há o incremento das ações de inteligência nesses setores críticos e no compartilhamento de dados obtidos. Os setores críticos de interesse para inteligência são: Aeródromos, Escolas de Aviação, Aviação Agrícola, Migração, Agentes Biológicos, Agentes Radiológicos, Produtos Químicos Controlados, Explosivos e detonadores, Portos e Fertilizantes.

O critério para acompanhamento de supostas ameaças humanas à segurança do aeroporto é escalonada por níveis de risco. Cabe destacar ainda que os critérios de avaliação são empíricos, ficando muito ligados à experiência pessoal, função,

tempo no cargo e treinamento do agente que executa a avaliação, sendo pouco ligado ao rigor científico ou a outros métodos qualitativos de avaliação.

No possível vínculo com a atividade de terrorismo, é verificado se o alvo possui vínculos, direta ou indiretamente, com organizações terroristas, extremistas ou insurgentes no território nacional ou no exterior. Quanto maior o vínculo percebido, maior será a valoração do critério.

No grau de radicalização, é avaliada a adesão do indivíduo ao discurso extremista. Verifica-se o quanto o indivíduo difunde e/ou consome material extremista na web ou pessoalmente entre amigos, mantém contato com outros sujeitos de índole duvidosa e radical, e ainda se faz discursos radicais por meio da mídia.

A motivação do indivíduo em materializar a ameaça é dividida em macro motivação que é analisada à luz da organização terrorista, extremista ou insurgente a que o radical esteja vinculado, além da justificativa que determinada organização possui para atuar no Brasil. A micro motivação é caracterizada pelo interesse individual na consecução de ato terrorista no território nacional, ou seja, a relação custo/benefício da realização deste tipo de atentado.

A capacidade operacional é o critério mais importante, pois o indivíduo pode possuir vínculo com o terrorismo, radicalização, motivação, mas se não tiver capacidade operacional não terá êxito no seu intento. Esse critério avalia se o indivíduo possui meios ou facilidades em realizar a ação criminosa, como exemplo: conhecimentos em pilotagem de aeronaves, acesso a casas de apoio em território nacional, propriedade de veículos, conhecimentos em manipulação de explosivos, armas, acesso a material biológico, relacionamento com outros contatos e posse de dinheiro.

O Programa Nacional de Integração Estado–Empresa na Área de Bens Sensíveis<sup>7</sup> (Pronabens), desenvolvido em conjunto pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e pela ABIN, foi implementado com o objetivo de ampliar a capilaridade junto a empresas que atuam nas áreas Química, Biológica, Nuclear e Radiológica (QBNR), e produtos de uso dual<sup>8</sup>. O MCTI aborda os aspectos referentes aos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil, a ABIN apresenta a participação da Inteligência de Estado nesse processo, enfocando os cuidados e

---

<sup>7</sup> Os bens sensíveis são classificados pela Lei nº 9.112, de 10 Out 1995, como sendo aqueles de uso na área nuclear, química, biológica e missilística, incluindo os bens de uso duplo previstos nas respectivas convenções, regimes ou tratados internacionais.

<sup>8</sup> Uso dual é a aplicação generalizada, desde que relevante para aplicação bélica.

alertas necessários para que as empresas não sejam utilizadas, por atores estatais e não-estatais, como fornecedoras de programas paralelos de armas.

O MCTI com assessoria da ABIN, consolida uma lista<sup>9</sup> de agentes biológicos cujas transferências são controladas. A biotecnologia usada para fins pacíficos pode ser um ponto polêmico, pois as novas tecnologias podem, ao mesmo tempo, melhorar o bem estar das pessoas e ser empregadas no desenvolvimento de armas. A preocupação das autoridades governamentais deve ser, pois, a criação de meios eficazes de controle da movimentação de insumos que poderiam servir à produção de armas biológicas (RBI, 2006).

---

<sup>9</sup> Ministério da Ciência e Tecnologia resolução nº 13, de 10 de março de 2010 - Lista de bens sensíveis.

### 3. AGENTES BIOLÓGICOS USADOS COMO ARMA

Este capítulo classificará os agentes biológicos que podem ser usados como armas para o bioterrorismo, descrevendo suas principais características. Serão abordados ainda as principais características do botulismo, da peste, da ricina, da varíola e da tularemia. O agente etiológico Antraz receberá destaque especial e terá suas características aprofundadas, pois ele será o agente utilizado no estudo de caso, verificando assim a viabilidade da modelagem baseada em agente.

Os agentes biológicos que podem ser usados como armas são de fácil modelagem e transporte e estão inseridos dentro do conceito de “Armas de Destruição em Massa”, expressão que foi empregada pela primeira vez no jornal londrino *The Times*, em 28 de dezembro de 1937, situação na qual abordava os efeitos resultantes dos bombardeios sobre a localidade de Guernica, durante a Guerra Civil Espanhola. Apesar de que a referência girava ao redor do emprego de armas convencionais, o foco era a indignação com a comprovada capacidade de inovação tecnológica, quando aplicada aos armamentos, de gerar um poder de destruição indiscriminada e em proporções sem antecedentes históricos. Sob a categoria das ADM, hoje, são comumente inseridas as armas químicas, nucleares e biológicas (NETO, 2011).

A epidemia produzida pelo bioterrorismo é de difícil identificação do agente, tem um período de incubação da doença variável, reduzindo sensivelmente a capacidade de resposta à emergência. Muitas vítimas manifestarão o sintoma da doença, o que pode sobrecarregar o sistema de saúde pública, sem que mesmo antes tenha sido descoberta a autoria da epidemia.

A biociência está evoluindo rapidamente. Outras tecnologias como a nanotecnologia e a tecnologia da informação estão diminuindo os limites que separam as ciências biológicas de outras disciplinas. Hoje, é possível criar um vírus a partir de substâncias químicas, não está distante o dia que se poderá criar uma forma de vida mais complexa. Porém, mais fácil de que criar organismos vivos inteiramente novos é manipular as formas de vida já existentes, dotando-as de novos atributos genéticos. O uso de patógenos é de difícil controle e baixa confiabilidade para fins militares; contudo, as técnicas de biotecnologia mais recentes poderiam diminuir estas vulnerabilidades desenvolvendo armas exclusivas e altamente específicas para o emprego militar (KELLMAN, 2007).

A manipulação genética pode levar ao desenvolvimento de um agente infeccioso com alto grau de virulência e não susceptível aos medicamentos existentes. Por esse motivo o real efeito de uma arma biológica não se consegue apenas com base em epidemias naturais (HEADQUARTERS, 2000).

A Biologia Molecular<sup>10</sup> talvez seja a maior preocupação atualmente, pois podem aumentar a letalidade, a virulência ou o impacto fisiológico, tornando os agentes etiológicos resistentes ao tratamento com antibióticos e neutralizando vacinas existentes e sobreviver às condições ambientais por mais tempo. Alguns programas de indústrias bélicas tinham durante a Guerra Fria como objetivo de aumentar o tempo que a bactéria da peste fosse capaz de sobreviver no ar, pois a variante pneumônica mais letal tem vida curta como aerossol o que leva seu emprego apenas a pequena distância. Um das inovações mais interessantes foi à inserção de genes “bronzeadores”, que permitiram aos patógenos sobreviver à luz do sol, aumentando significativamente a eficiência e eficácia dos ataques militares diurnos (KELLMAN, 2007).

Em futuro próximo, a tecnologia do genoma sintético<sup>11</sup> poderá facilmente recriar vírus existentes ou já erradicados, cuja sequência de ácido desoxirribonucleico (DNA) seja completamente conhecida. A recriação de doenças erradicadas permitiria que fossem disseminadas em regiões nas quais não há imunidade natural contra elas. Uma grave ameaça é a recriação da linhagem do vírus da gripe espanhola, que matou mais de quarenta milhões de pessoas entre 1918 e 1919. Usando técnicas reversas de engenharia genética, o vírus foi completamente recriado. Diante disso, não podemos dizer que pessoas mal-intencionadas não possam copiar o processo. Uma nanoarma antipessoal capaz de buscar e de injetar toxina em seres humanos desprotegidos, poderia conter doses letais de botulina ou antraz. Um número de 60 bilhões destas nanoarmas seria capaz de matar cada habitante do planeta dez vezes, poderia ser transportada facilmente em uma única maleta (KELLMAN, 2007).

O vírus da pólio foi recriado pelos cientistas da Universidade Estadual de Nova York nos EUA em 2002, seu genoma tem cerca de 7.500 bases (letras genéticas). Para recriar a varíola, cujo código genético tem 100 mil bases, a complicação seria muito maior. Para recriar o vírus, os cientistas coletaram a sequência do genoma na internet e a usaram para montar uma molécula de DNA (uma das duas capazes de

---

<sup>10</sup> A biologia molecular refere-se à ciência da transferência, inserção ou eliminação de genes individuais talvez de espécies diferentes, dentro do código genético de uma espécie, obtendo assim a alteração de suas propriedades.

<sup>11</sup> Genoma sintético refere-se a um conjunto de novas tecnologias para a construção de genomas microbianos inéditos, geneticamente manipulados a partir de curtos trechos de DNA sintético, quimicamente produzidos.

codificar genes). A partir do DNA (em fita dupla), replicou uma molécula de ácido ribonucleico (RNA) (fita simples), a mesma que serve ao vírus da poliomielite (ele não tem DNA). Pondo esse RNA em um meio de cultura, eles sintetizaram o vírus. Segundo os cientistas, os resultados devem ter implicações para a ideia de erradicação de doenças virais. Já não basta destruir fisicamente um vírus para garantir que ele não vá mais atacar. É preciso excluir também as informações que permitem sua recriação (KELLMAN, 2007).

Agentes de Guerra Biológica são relativamente fáceis e baratos de se produzir. A tecnologia utilizada para a produção de antibióticos, vacinas e outros produtos industriais e alimentares podem ser facilmente convertidos para produção de agente usado no bioterrorismo. Essa tecnologia está prontamente disponível e é comumente utilizado pela indústria e, portanto, produção de agente de guerra biológica pode ser facilmente dissimulada. (HEADQUARTERS, 2000, p 10)

### 3.1 CLASSIFICAÇÕES DOS AGENTES BIOLÓGICOS

Para que um agente biológico possa ser usado como arma não basta ser muito tóxico e infeccioso, ele tem de reunir diversas características importantes. Os agentes biológicos têm a capacidade de prejudicar a saúde humana de diversas maneiras, desde leves reações alérgicas até situações extremamente graves, que podem levar o indivíduo à morte. Estes organismos são encontrados no ambiente natural, na água, no solo, em plantas e animais (CDC, 2013a).

Segundo CDC (2013a) os agentes biológicos passíveis de serem utilizados como armas biológicas são classificados em três grandes categorias (A, B e C), de acordo com os seguintes parâmetros:

- a) Elevada mortalidade e/ ou morbidade;
- b) Infecciosidade;
- c) Eficácia em baixas doses;
- d) Múltiplas possibilidades de transmissão (aerossol, água, alimentos, insetos, etc.);
- e) Fáceis de encontrar e reproduzir;
- f) Fácil disseminação;
- g) Grau de patogenicidade;
- h) Estabilidade durante a produção, armazenamento, transporte e disseminação;

- i) Menos custoso que outras armas de destruição em massa;
- j) Difíceis de detectar, não têm cheiro nem cor;
- k) Período de incubação curto;
- l) Ausência de tratamento;
- m) Sem imunização.

### 3.1.1 Agentes etiológicos Categoria A

Na Categoria “A” estão incluídos todos os agentes etiológicos de prioridade máxima que colocam em risco a segurança nacional, que podem ser facilmente disseminados ou transmitidos pessoa para pessoa e que resultem em alta taxa de mortalidade. Estes agentes tem um elevado potencial para impactar a Saúde Pública, causando pânico generalizado na população e ruptura da ordem pública e requerem medidas especiais de preparação e resposta por parte da Saúde Pública (CDC, 2013a).

Os agentes etiológicos são:

- Antraz (*Bacillus anthracis*);
- Botulismo (*Clostridium botulinum* toxina);
- Peste (*Yersinia pestis*);
- Varíola (*Varíola major*);
- Tularemia (*Francisella tularensis*);
- Febres hemorrágicas virais (filovíruses [ex, Ebola, Marburg] e arenavírus [ex. Lassa, Machupo]);

### 3.1.2 Agentes etiológicos Categoria B

Na categoria “B” estão englobados todos os agentes de segunda maior prioridade, que incluem aqueles que são moderadamente fáceis de disseminar e que causam morbidade moderada e baixa taxa de mortalidade. Além disso, exigem melhorias significativas de capacidade de diagnóstico do Sistema de Saúde e controle da vigilância epidemiológica (CDC, 2013a).

Os agentes etiológicos são:

- Brucelose (*Brucella* espécies)
- Epsilon toxina do *Clostridium perfringens*
- Ameaças de segurança alimentar (por exemplo, espécies de *Salmonella*, *Escherichia coli* O157: H7, *Shigella*)
- Mormo (*Burkholderia mallei*)
- Melioidose (*Burkholderia pseudomallei*)
- Psitacose (*Chlamydia psittaci*)
- Febre Q (*Coxiella burnetii*)
- Toxina ricina de *Ricinus communis* (mamona)
- Estafilocócica enterotoxina B
- Febre tifo (*Rickettsia prowazekii*)
- Encefalite viral (alphaviruses [por exemplo, encefalite eqüina venezuelana, encefalite eqüina do leste, encefalite eqüina ocidental])
- Ameaças de segurança da água (por exemplo, *Vibrio cholerae*, *Cryptosporidium parvum*)

### 3.1.3 Agentes etiológicos Categoria C

Na Categoria “C” estão todos os agentes de terceira maior prioridade, incluem agentes patogénicos emergentes que podem ser futuramente manipulados para disseminação em massa, devido à sua disponibilidade, facilidade de produção e disseminação; potencial para alta morbidade e mortalidade e grande impacto sobre o sistema de Saúde Pública (CDC, 2013a). Os agentes etiológicos são doenças infecciosas emergentes, como o vírus Nipah e o hantavírus.

Cabe destacar ainda que militares do exército dos EUA são vacinados rotineiramente contra a Varíola e contra o Antraz antes de partirem para missões em combate, em teatros de operações ao redor do mundo, onde um ataque biológico é considerado uma ameaça real e iminente (WHO, 2004).

## 3.2 PRINCIPAIS AGENTES BIOLÓGICOS USADOS COMO ARMA

### 3.2.1 Botulismo

Nos Estados Unidos da América o leite é armazenado em tanques desprotegidos, antes de seguirem para o processamento nos laticínios. Um estudo de caso avaliou o impacto de atentado bioterrorista utilizando toxina botulínica ao leite. Segundo os autores seria uma missão muito simples injetar botulina nestes tanques de armazenamento, embora a pasteurização do leite torne inativos cerca de aproximadamente 70% da toxina, mais de meio milhão de pessoas consumiria o leite contaminado e com apenas 10 g da toxina levaria a mais de 100.000 mortes (LAWRENCE e YIFAN, 2005). O Botulismo que é produzido pela bactéria *Clostridium botulinum* (Figura 6) é uma doença pouco comum, porém extremamente venenosa e de fácil cultivo e transporte, é letal se for injetado no sangue, inalado ou consumido em alimentos contaminados, sendo que a forma geralmente observada de contaminação é o botulismo alimentar (CDC, 2013b).

Figura 6 - *Clostridium botulinum*



Fonte: [www.cdc.gov](http://www.cdc.gov)

### 3.2.2 Peste

No Brasil foram notificados 490 casos de peste em humanos entre os anos de 1983 a 2008. Estes registros foram procedentes de focos no Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Bahia e Minas Gerais. Além do potencial epidêmico, outro aspecto epidemiológico que se destaca é o potencial letal da peste. A forma bubônica, quando não tratada, pode chegar a 50% e a pneumônica e septicêmica, próximas a 100% de letalidade (BRASIL, 2009). Na idade média uma pandemia de peste negra (Figura 7)

varreu toda a Europa dizimando quase um terço da população do continente, à época, o que deu um caráter infame a peste (CDC, 2013c).

Figura 7 - *Yersinia pestis*



Fonte: [www.cdc.gov](http://www.cdc.gov)

### 3.2.3 Ricina

A ricina funciona ficando dentro das células do corpo do hospedeiro e impede que as mesmas façam a síntese das proteínas de que necessitam. Sem as proteínas, as células enfraquecem e morrem, podendo levar a morte o cidadão atingido. Os efeitos do envenenamento por ricina dependem se o veneno foi inalado, ingerido ou injetado (CDC, 2013d). A ricina é um veneno encontrado, naturalmente, em grãos de mamona (Figura 8) que se mastigados e engolidos, podem liberar a ricina causando ferimentos. A ricina pode ser feita facilmente a partir dos resíduos que sobraram de processamento do óleo<sup>12</sup> de mamona.

Mais de um milhão de toneladas de mamona são processadas anualmente na produção de óleo de rícino, o qual é utilizado para fins medicinais e industriais, incluindo a produção de aeronaves e de motores marítimos lubrificantes, corantes e tintas. A pasta de resíduos a partir deste processo é de cerca de cinco por cento, em peso, da ricina. Por conseguinte, grandes quantidades de ricina são facilmente produzidas e de forma barata. (HEADQUARTERS, 2000, p 69)

---

<sup>12</sup> Óleo de rícino

Figura 8 - Ricina



Fonte: [www.cdc.gov](http://www.cdc.gov)

### 3.2.4 Varíola

O último caso de contaminação com a varíola (Figura 9) ocorreu naturalmente na Somália em 1977, logo após tivemos outra contaminação adquirida em um laboratório na Inglaterra em 1978. A erradicação global da varíola foi atestada pela Assembleia Mundial da Saúde em 1980 (WHO, 2004). O vírus da Varíola só existe legalmente nos dois laboratórios de referência da Organização Mundial de Saúde (OMS), em laboratórios de biossegurança nível 04, no CDC em Atlanta- EUA, e no Vetor, em Novosibirsk-Federação Russa (CDC, 2013e).

O vírus da Varíola não é resistente às condições meteorológicas adversas e é destruído pela luz solar e pelo calor intenso. Em experiências laboratoriais, 90% dos vírus da Varíola em aerossol são destruídos em 24 horas, na presença de luz solar a percentagem de destruição seria maior (BOSSI, 2004a).

Figura 9 - Varíola major

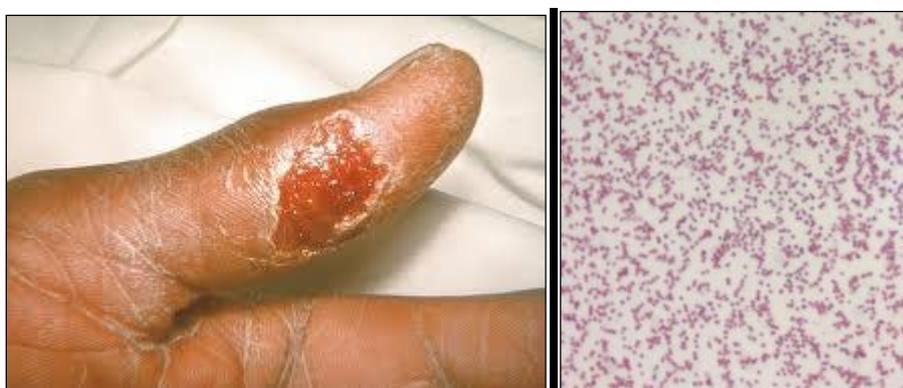


Fonte: [www.cdc.gov](http://www.cdc.gov)

### 3.2.5 Tularemia

A *Francisella tularensis* (Figura 10) é uma bactéria que pode ser encontrada na água e em solos contaminados, em artrópodes (carrapatos, mosquitos ou mosca), animais selvagens (coelhos, lebres, esquilos, castores) e ocasionalmente animais domésticos (ovelhas, cães ou gatos). A tularemia é também conhecida como febre dos coelhos e infecta o homem de várias formas, incluindo picada de artrópode, manuseamento de tecidos e fluidos de animais infectados, contato direto ou ingestão de água, alimentos ou solo contaminado e inalação de aerossóis (CDC, 2013f).

Figura 10 - *Francisella Tularensis*



Fonte: [www.cdc.gov](http://www.cdc.gov)

A Tabela 1 descreve as principais características de cinco agentes etiológicos que podem ser usados em ataques bioterroristas.

Tabela 1 - Agentes biológicos usados como arma

| AGENTE ETIOLÓGICO   | GRAU DE LETALIDADE      | INCUBAÇÃO                                       | NÍVEL DE CONTÁGIO                                       | SINTOMAS   | ATAQUE BIOTERRORISTA  |
|---|-------------------------|---|---|--|---|
| <b>Botulismo</b><br><i>Clostridium botulinum</i><br>Toxina    | 100%                    | Alimentar<br>12 a 36 h<br>Pulmonar 24 a 72 h    | Não contagioso  | Paralisia generalizada   | Fácil de cultivar e transportar; usado para contaminar alimentos                |
| <b>Peste</b><br><i>Yersinia pestis</i><br>Bactéria            | Pulmonar 95%            | Normal<br>2 a 8 dias<br>Via aérea<br>1 a 3 dias | Alto, gotículas expelidas pela tosse                    | Febre, expectoração de sangue, inflamação dos nódulos linfáticos, choque séptico | Aerossolizada altamente sensível às condições climáticas                        |
| <b>Ricina</b><br><i>Ricinus communis</i><br>Toxina            | 100% com 0.2 miligramas | Precoce<br>4 a 8 h<br>Tardia<br>24 h            | Não contagioso  | Gastroenterite, icterícia, falhas cardíacas e danos a órgãos                     | Facilmente produzida a partir da mamona, altamente letal, usada em assassinatos |
| <b>Tularemia</b><br><i>Francisella tularensis</i><br>Bactéria | Pulmonar 40% a 60%      | Normal<br>3 a 5 dias<br>Tardia<br>1 a 25 dias   | Não contagioso  | Pneumonia, traqueíte, bronquite  | Altamente infecciosa  |
| <b>Variola</b><br><i>Variola major</i><br>Vírus               | 20% a 40%               | 7 a 17 dias, em média 12 dias                   | Alto, gotículas expelidas pela tosse, lesões, secreções | Erupção cutânea que se transforma em ferida                                      | Disseminada rapidamente em população não vacinada                               |

Fonte: Elaboração própria

### 3.3 O ANTRAZ COMO ARMA BIOLÓGICA

O *Bacillus Anthracis* é um dos agentes biológicos com maior probabilidade de ser usado como uma arma biológica, pelos seguintes motivos:

- 1) os seus esporos são altamente estáveis, o que facilita seu armazenamento de forma segura por muitos anos e quando de seu emprego sua eficácia é garantida,
- 2) os esporos podem infectar pela via respiratória, o que facilita a eficiência do emprego da arma por espargimento,
- 3) a doença por inalação resultante tem uma elevada taxa de letalidade, aproximadamente, 100%, e
- 4) a nuvem de aerossol é incolor, inodora e invisível após a sua libertação, o que dificulta sobremaneira sua identificação por parte das autoridades públicas.

A exposição aos esporos do *Bacillus Anthracis* pode ocorrer através de aerossóis primários e secundários depois de um ataque, sendo que aerossóis primários são dispersões de partículas no ar provocadas pela libertação inicial de um agente biológico, seja por meio de um dispositivo de disseminação ou através da manipulação de um objeto que contenha o esporo. Os aerossóis secundários resultam de perturbações e ressuspensão de partículas assentadas, por meio de aglomeração (a outros esporos ou fragmentos no solo) ou outras alterações, estas partículas estabelecidas podem não reter as características do material inicial. Por conseguinte, a ressuspensão pode resultar em aerossóis de partículas de maior diâmetro e com as concentrações no ar mais baixo, os quais diminuem o risco para a exposição, quando comparado com os aerossóis primários. A reaerosolização microbiana é particularmente mal compreendida por ser um fenômeno muito complexo e ter poucos estudos feitos nesta área. Mesmo assim, a reaerosolização do *Bacillus Anthracis* em ambientes ao ar livre é importante para o estudo de caso, por causa da estabilidade e potencial para uso como arma biológica do Antraz.

Nos experimentos citados na literatura normalmente o organismo substituído para *Bacillus Anthracis* é a o *Bacillus Atrophaeus* que é uma bactéria formadora de esporos comum em certos solos, não infecciosa, facilmente cultivada em cultura, e detectada por equipamento eletrônico. Os esporos do *Bacillus Atrophaeus* são morfológicamente diferentes dos esporos do *Bacillus Anthracis*, no entanto, os esporos não são patogênicos, por esta causa são comumente utilizados em estudos de aerossóis e reaerosolização. O *Bacillus Atrophaeus* em pó seco possui  $(2,33 \times 10$

11 esporos / g), o que é muito parecido com o *Bacillus Anthracis*. Além disso, outro dado muito relevante para o estudo é que no exterior do corpo humano a temperaturas entre 14 ° C e 42° C (ótima entre 21 ° C e 37 ° C) o *Bacillus Anthracis* irá esporular.

Como são raros os casos na literatura utilizando *Bacillus Anthracis*, cabe destacar um estudo realizado na década de 1990 no Parque Nacional Etosha, na Namíbia. O experimento mediu a aerosolização de esporos do *Bacillus Anthracis* de carcaças de 25 animal selvagens. As amostras de filtro de ar foram coletadas a favor do vento em distâncias de 6 , 12 e 18 metros. Três das 43 amostras de ar, coletadas foram positivas, com contagem de colônias superiores a 100 colônias por placa. Estas amostras positivas foram coletadas durante os ventos mais fortes de (3,4 a 6,2 m/s) . O estudo é importante na medida em que demonstra a introdução de esporos a partir de uma superfície para o ar sob as condições ambientes. Por outro lado, os estudos de laboratório, utilizando *Bacillus Anthracis* em simuladores têm corroborado com a teoria da ressuspensão observada nos experimentos de campo. Um estudo recente descobriu que a ressuspensão de *Bacillus Anthracis* inoculados com areia após uma explosão de explosivo improvisado produziu uma contagem de colônias em placas de ágar que eram muito numerosas para se contar. Outro dado interessante foi que a quantidade de ressuspensão pode ser reduzida em 33 %, após a aplicação de água e de 89 %, após a aplicação de um polissacarídeo fixante à base de água.

A literatura acadêmica valida a utilização de simuladores para estes estudos e indica que o *Bacillus Anthracis* sofre ressuspensão pelo vento em condições ambientais, com pedestres caminhando ou tráfego de veículos, ou por outros tipos de ação mecânica. Existem diversas lacunas na literatura de ressuspensão biológica, logo é difícil inferir que quantidades de material biológico é usada nos diversos simuladores, as técnicas de preparação da amostra, os métodos de detecção e as condições experimentais, pois algumas pesquisas ocorrem em caráter sigiloso e divulgam informações incompletas.

O aerossol pode chegar até 100 microns ou superior, tamanho em que se torna mais difícil sua aerosolização. As condições ambientais como umidade do solo podem influenciar significativamente o tamanho de um agregado de esporos de partículas e, assim, afetar o seu potencial para ressuspensão subsequente. No nível microescala, existe uma compreensão limitada dos efeitos de forças electroquímicos ou físicas (por exemplo, van der Waals, eletrostáticas, capilar, reações de condensação) sobre a agregação de partículas ou de esporos de fixação de esporos de partículas para várias

superfícies. Há também uma compreensão limitada de como outros fatores de ressuspensão, como a meteorologia e condições do solo/superfície, podem afetar a agregação de microescala. Sendo assim, não existe um entendimento claro de como propriedades em microescala influenciam diretamente as observações experimentais de campo, provavelmente por causa da complexidade das interações microescala presentes em um ambiente ao ar livre.

Dadas certas condições meteorológicas e de vento, com cinquenta quilos de antraz lançados de uma aeronave com espargidores, ao longo de uma linha de dois quilômetros poderia criar uma nuvem letal de esporos de antraz que ultrapassam vinte quilômetros na direção do vento. A OMS concluiu que a liberação de antraz em aerossol contra o vento de uma população de cinco milhões de pessoas poderiam levar a um número estimado de duzentos e cinquenta mil mortes, das quais cerca de cem mil pessoas infectadas poderiam aguardariam pela morte. Uma análise posterior, pelo Escritório de Avaliação de Tecnologia do Congresso dos EUA, estima-se que cerca de cento e trinta mil a três milhões de mortes poderiam ocorrer após o lançamento de cem quilos de antraz em aerossol em Washington DC nos EUA, fazendo um ataque tão letal quanto uma bomba de hidrogênio. Os Centros de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) estima que um ataque bioterrorista levaria a um encargo económico de 26.200 milhões dólares por 100.000 pessoas expostas aos esporos (HOPKINS, 2001).

### 3.3.1 Epidemiologia

O Antraz é adquirido por humanos a partir de animais doentes, ocorrendo em ovinos, caprinos e bovinos que ingerem os esporos do solo contaminado; é mais frequente encontrado na África, no Oriente Médio e Ásia central e do sul. Os esporos do antraz são um contaminante do solo onde os animais morreram de doença. Quando introduzido em corpo de um hospedeiro susceptível e, se não inativado pelos mecanismos de defesa do hospedeiro, os esporos podem germinar para se tornar um bacilo vegetativo, dessa forma reiniciando o ciclo da doença (WHO, 2004).

O médico e cientista alemão Robert Kock identificou a bactéria *Bacillus Anthracis* em 1876. Ele colheu o organismo de uma cultura e produziu Antraz experimentalmente, injetando-o em um animal. Outro pai da microbiologia o cientista francês Louis Pasteur experimentou uma vacina contra o Antraz em 1881. Pasteur

vacinou vinte e cinco ovelhas e deixou vinte e cinco sem vacinar, em ato contínuo injetou Antraz em todas. Fruto da experiência somente as ovelhas vacinadas sobreviveram, sendo um dos primeiros sucessos da vacinação (HEADQUARTERS, 2000).

### **3.3.2 Etiologia**

O carbúnculo é uma doença aguda causada pelo *Bacillus Anthracis*, um bacilo Gram-positivo, produtor de esporos que ocorre em condições ambientais adversas e quando as bactérias vegetativas são expostas ao ar. Os esporos são extremamente resistentes e podem sobreviver os extremos de temperatura, a secura e as inundações. Quando as condições melhorarem, os esporos germinam para produzir as bactérias (HEADQUARTERS, 2000). O nome “anthrakis” advém da palavra grega carvão, baseando-se na forma natural mais comum de ocorrência da doença, feridas escuras na pele (CDC, 2013g).

### **3.3.3 Período de Incubação**

O período de incubação após exposição ao *B. anthracis* é de 01 dia a 08 semanas (em média 05 dias), dependendo da via de transmissão e da dose. (CDC, 2013g)

- 2 a 60 dias por exposição pulmonar;
- 1 a 7 dias por exposição cutânea;
- 1 a 7 dias por ingestão.

### **3.3.4 Transmissão**

O esporo do *Bacillus Anthracis* é muito resistente, como arma biológica pode ser disseminado como aerossol. As formas de transmissão do carbúnculo incluem: inalação de esporos, contato cutâneo com esporos ou material contaminado e ingestão de alimentos contaminados (BOSSI, 2004b).

### 3.3.5 Contágio

A transmissão do carbúnculo de pessoa para pessoa é pouco provável. A transmissão por via aérea não ocorre, mas o contato direto com as lesões da pele pode resultar numa infecção cutânea (WHO, 2004).

### 3.3.6 Clínica

A infecção humana por carbúnculo pode ocorrer sob três formas clínicas: pulmonar, cutânea e gastrointestinal, dependendo da via de exposição. Desta forma, o carbúnculo pulmonar está associado ao uso como armamento através da exposição de aerossóis contendo esporos (CDC, 2013g).

A forma de contaminação pulmonar do antraz (Figura 11) apresenta uma taxa de mortalidade extremamente elevada, por isso é uma das preferidas para ser usada em atos terroristas. Uma vez inalados, os esporos são transportados por macrófagos alveolares para os gânglios linfáticos que rodeiam os pulmões, onde germinam. A expansão vegetativa subsequente causa uma inundação enorme de bactérias e toxinas no sangue, matando aproximando-se de 100%, das vítimas não tratadas.

“O antraz por inalação começa com sintomas anódino<sup>13</sup> ou gripe-comum que podem iludir o diagnóstico correto. Estes podem incluir febre, fadiga, calafrio, tosse não produtiva, vômitos, sudorese, mialgia, dispneia, ter confusão, dor de cabeça e no peito e / ou dor abdominal, seguido depois de 1-3 dias pelo desenvolvimento súbito de cianose<sup>14</sup>, choque, coma e morte.” (WHO, 2004).

Nos estudos de laboratório a dose necessária para infectar 50% uma população de cobaias com antraz, varia enormemente, entre 2.500 e 760.000 esporos, tornando difícil de determinar qual a dose necessária que infecta apenas um indivíduo exposto. No ano de 1979, em Sverdlovsk, ex-União Soviética, ocorreu o maior surto de antraz por inalação em humanos foram 66 casos fatais documentados, todos eram com mais de vinte e três anos de idade, infere-se que os adultos podem ser mais suscetíveis a antraz por inalação de que indivíduos mais jovens. Em ato contínuo ao acidente ocorreu a infecção de ovinos e bovinos como a mais de cinquenta quilômetros na direção do vento do ponto inicial, mostrando que esporos infecciosos podem viajar a longa distância (WHO, 2004).

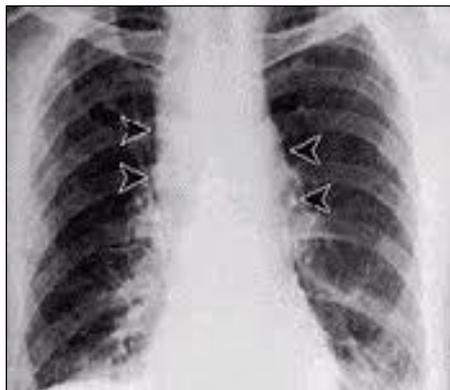
---

<sup>13</sup> Anódino de pouca importância; que pouco ou nada altera dentro de uma situação maior; produz pouco ou nenhum mal.

<sup>14</sup> Cianose quando uma pessoa tem dificuldade respiratória.

Em 2001, nos Estados Unidos, foram relatados onze casos de antraz por inalação em humanos, o período de incubação foi de aproximadamente 04 dias. Todos os pacientes receberam terapia e seis sobreviveram. Como visto em Sverdlovsk, houve uma falta de jovens entre os casos inalatórios, variando de 43 a 94 anos a idade dos contaminados (WHO, 2004).

Figura 11 - Antraz pulmonar aumento do mediastino



Fonte: [www.cdc.gov](http://www.cdc.gov)

A forma cutânea é adquirida pelo contato da pele com lesões com os esporos ou bacilos do carbúnculo. Surgem lesões na cabeça, antebraços e mãos, com prurido localizado, seguido de uma lesão papular que evolui para vesícula e depois para úlcera negra entre dois a seis dias, esta lesão é indolor. Esta forma da doença é a mais comum, e exige tratamento precoce e rápido com antibióticos (CDC, 2013g).

A forma gastrointestinal ocorre a partir da ingestão do esporo proveniente da carne dos animais infectados. Apresenta sintomas iniciais semelhantes à intoxicação alimentar, dor abdominal, náuseas, vômitos e febre. Podem surgir também hematêmese<sup>15</sup> e melenas<sup>16</sup>. Quando a doença se apresenta com sépsis<sup>17</sup> é geralmente fatal. O agente pode ser identificado nas hemoculturas de dois a três dias de doença.

---

<sup>15</sup> Hematemese ou hematêmese é a saída pela boca de sangue com origem no sistema gastro-intestinal, habitualmente do esôfago ou do estômago. É também referido como "vômito de sangue".

<sup>16</sup> Melena se refere a fezes pastosas de cor escura e cheiro fétido, sinal de hemorragia digestiva. A cor escura se refere às modificações bioquímicas sofridas pelo sangue no intestino colonizado por bactérias.

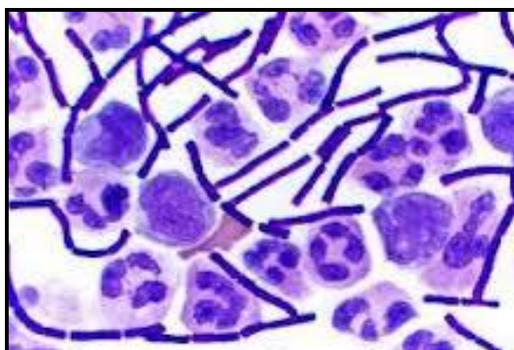
<sup>17</sup> Septicemia, sepse ou sépsis é uma infecção geral grave do organismo por germes patogênicos.

### 3.2.7 Tratamento

O tratamento precoce é fundamental para as três formas de doença e são necessárias uma rápida avaliação médica e um tratamento médico adequado. O carbúnculo responde bem à terapêutica antibiótica. As opções terapêuticas são Quinolonas (Ciprofloxacina e Levofloxacina) ou Doxiciclina. Usualmente, o paciente é tratado durante 60 dias (CDC, 2009g).

Quanto à prevenção da doença, existe uma vacina que não está aprovada para imunização em massa. Nos EUA, todos os expostos são vacinados incluindo forças militares, técnicos de laboratório e trabalhadores em zonas contaminadas. Se ocorrer um eventual ataque bioterrorista usando *Bacillus Anthracis* (Figura 12), as pessoas expostas devem ser vacinadas. Os profissionais de saúde devem fazer profilaxia. Após exposição, a prevenção inclui a toma de antibióticos combinada com a vacina (BOSSI, 2004b). O isolamento do paciente não é necessário e não há exigência de quarentena, sendo que os cadáveres contaminados com antraz devem ser cremados (WHO, 2004).

Figura 12 - *Bacillus Anthracis*



Fonte: [www.cdc.gov](http://www.cdc.gov)

A Tabela 2 descreve as principais características do agente etiológico antraz (grau de letalidade, incubação, nível de contágio, sintomas e especificidades para ataques bioterroristas).

Tabela 2 - Características do Antraz

| AGENTE ETIOLÓGICO                                      | GRAU DE LETALIDADE                                       | INCUBAÇÃO                            | NÍVEL DE CONTAGIO   | SINTOMAS                                 | ATAQUE BIOTERRORISTA  |
|--|--|--------------------------------------|---|--|---|
| Antraz<br><i>Bacillus anthracis</i><br>Esporo-bactéria | Pulmonar 100%<br>Gastrointestinal 25 a 65%<br>Cutânea 2% | 01 dia a 08 semanas<br>média 05 dias | Lesões cutâneas são levemente contagiosas, não é contagioso via esputo respiratório | Mialgia, dispneia, cianose, choque, coma | O agente natural precisa ser refinado, muito estável, fácil de estocar por longos períodos, disseminado pelo ar |

Fonte: Elaboração própria

## 4. MODELAGEM DE SISTEMAS

Este capítulo abordará as diversas características da modelagem. Como introdução fará considerações sobre a Modelagem de Eventos Discretos (MED). Em segundo lugar, a MBA será o foco principal do capítulo, nela definiremos o que são agentes, seu histórico, possibilidades e limitações, e ainda serão descritas as principais ferramentas para modelagem baseada em agentes. A modelagem de análise de risco de ataques biológicos será descrita como instrumento a ser utilizado no estudo de caso do ataque com Antraz, para isso serão abordados os modelos Suscetível, Infectado e Recuperado (SIR) e o MBA. Por fim, a ferramenta de modelagem contra ataques biológicos Biowar (BIOWAR, 2013) será analisada.

### 4.1 MODELAGEM DE EVENTOS DISCRETOS

Na MED, procura-se reproduzir os eventos ocorridos no dia a dia por meio de métodos estatísticos, usando para isso uma compressão do tempo e/ou do espaço no qual o fato ocorre na vida real. O comportamento de cada variável é roteirizado passo a passo, ou seja, se algum evento ocorre é dado um comando para que se faça isso ou aquilo conforme desejado pelo programador da atividade (SAKURADA e MIYAKE, 2009).

Um exemplo de MED no meio militar é a tabela de Poder Relativo de Combate onde cada oponente envolvido na ficção defende ou ataca com um comportamento de poder pré-estabelecido conforme a forma de manobra militar adotada, não havendo quantificação para as incertezas. O usuário do sistema assume um controle total da ação, ficando seguro em todas as etapas do processo desencadeadas durante a modelagem, pois ele programou minuciosamente cada passo a ser realizado durante a modelagem, assim não há surpresas indesejáveis.

Os fatos inusitados do cotidiano como condições meteorológicas adversas, insurgências, atentados terroristas, bioterrorismo, enfim, qualquer fato que saia da normalidade não será contemplada pela MED, porque isso estará incorporado dentro da probabilidade estatística de cada variável que estão incorporadas no modelo programado na modelagem. Após ser concluída a modelagem, os fatos aleatórios ocorridos poderão ser adotados em novos modelos alternativos de cenários. Os novos cenários poderão ser usados em uma próxima modelagem, como um sistema de lições aprendidas, realimentando com novos dados a programação. No cotidiano do

Exército Brasileiro, existem inúmeros sistemas que funcionam bem com a MED como a utilização de munições com adoção de sub-calibres, simuladores de voo para pilotos de helicópteros, modelagem de tripulação de carro de combate e modelagem de combate de Grandes Unidades, etc.

## 4.2 MODELAGEM BASEADA EM AGENTE

O agente é uma entidade discreta que tem seus próprios objetivos, sendo autônomo e com uma capacidade de adaptar-se e modificar os seus comportamentos. Dessa forma, possui alguns pressupostos que são importantes para MBA como: aspectos de seu comportamento podem ser descritos; os mecanismos pelos quais os agentes interagem podem ser descritos e os processos sociais e complexos do sistema podem ser construídos "de baixo para cima" (MACAL e NORTH, 2006).

Logo, a MBA é a mais adequada a situação: (1) quando há uma representação singular como agentes; (2) quando houver decisões e comportamentos que não podem ser definidos de forma discreta; (3) quando é importante que os agentes se adaptem ao ambiente e alterem o seu comportamento; (4) quando há necessidade que os agentes aprendam e se envolvam na dinâmica do comportamento estratégico; (5) quando é relevante que os agentes tenham uma relação dinâmica com outros agentes e as relações de agentes se formem e se dissolvam; (6) quando é interessante que os agentes formem as organizações e adaptação de aprendizagem no nível da organização; (7) quando é importante que os agentes tenham um componente espacial para seus comportamentos e interações; (8) quando o passado não é preditor de futuro; (9) quando a relação dos níveis a cima para os níveis arbitrários são importante; (10) quando a mudança estrutural do processo necessita de ser um resultado do modelo, em vez de uma entrada para o modelo (MACAL e NORTH, 2006).

### 4.2.1 Origem de definições da MBA

A MBA teve suas origens nos conceitos da MED e ganhou fama nas décadas de 1960 e 1970 quando pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT) desenvolveram este novo método de modelagem. Muitos pesquisadores e acadêmicos delegam a origem da MBA ao Instituto Santa Fé nos EUA, como desenvolvedora da MBA que conhecemos atualmente. No final dos anos 1980 e início

dos anos de 1990, o grande salto para consolidação da MBA veio com o desenvolvimento do programa *SWARM*, que foi a primeira ferramenta computacional conhecida e disponível mundialmente desenvolvida para trabalhos de projetos utilizando a MBA. Os programas da MBA podem governar seu comportamento durante sua execução, os agentes interagem entre si e com o ambiente, analisando os resultados, adaptando-se com base em sua experiência, a aprendizagem leva a mudança de comportamento que pode ocorrer naturalmente. A MBA adiciona um ingrediente essencial para modelagem dando uma complexidade e realismo considerável as ações programadas (SAMUELSON, 2005).

Nos últimos anos, os pesquisadores da Universidade Carnegie Mellon nos EUA utilizam a MBA para desvendar a complexidade das redes sociais, além de voltarem sua atenção para disseminação e gestão da doença, principalmente quando a fonte é uma introdução deliberada de um agente etiológico<sup>18</sup>, como acontece com o bioterrorismo. O Doutor Kathleen Carley também explorou por meio da MBA as formas em que uma rede terrorista pode ser interrompida ou desmontada (SAMUELSON, 2005).

Nesta dissertação definiremos o acrônimo MBA para definir a Modelagem Baseada em Agente, contudo encontramos em uma vasta quantidade de denominações em trabalhos acadêmicos dos quais podemos dar como exemplos: Modelagem Baseada em Indivíduos, Modelagem Computacional Baseada em Agentes, Modelagem Social Baseada em Agentes, Modelagem Computacional Baseada em Agentes e também Simulação Baseada em Agentes. Já o termo Sistemas Multi-Agentes é usado algumas vezes equivocadamente como sinônimo de MBA. O campo de MBA é uma extensão da Inteligência Artificial e apesar da MBA ter uma raiz muito forte em Inteligência Artificial, ela não é limitada à concepção e estudo de agentes.

As operações militares raramente operam de uma forma completamente previsível, como planejado inicialmente no estudo de situação feito pelos chefes militares, sendo muito comum a ocorrência de ações derivadas de condutas no decorrer do combate. Assim, nas operações em combate, as interações que ocorrem de maneira inesperada entre os agentes e o ambiente podem ser descritas na MBA. Uma limitação da modelagem tradicional (MED) está ligada intimamente à restrição do grau de autonomia das entidades consideradas nos modelos adotados. Contudo,

---

<sup>18</sup> Agente Etiológico - Doença

poucos modelos de MED permitem considerar que na ocorrência de um evento problema no sistema simulado, as entidades possam tomar decisões individuais, passar por um processo de aprendizagem (mudança de estado) e interagir com outras entidades, de uma forma autônoma como acontece na MBA (SWAIN, 2007).

A MBA permite que as entidades tenham a habilidade de detectar as particularidades do ambiente onde estão inseridos, interagir com outros agentes, e escolher um curso de ação. Na MBA os agentes têm sido usados em simulações de tráfego em que o comportamento do motorista é afetado pelas condições das vias locais e seu perfil como condutor que influenciam na decisão para mudança de rotas baseada na densidade de tráfego de veículos e conhecimento das rotas alternativas dentro da localidade. Outro emprego potencial da MBA é de realizar simulações em tráfego aéreo, fluxo de multidões e tráfego de pedestres, ou seja, qualquer interação que seja complexa (SWAIN, 2007).

#### **4.2.2 Possibilidades e limitações da MBA**

A MBA apresenta alguns benefícios em relação a outras técnicas de modelagem como a MED, pois: (1) permite capturar fenômenos emergentes; (2) fornece uma descrição natural de um sistema; (3) é flexível. Contudo, foi a capacidade da MBA para lidar com fenômenos emergentes que impulsiona os outros benefícios. Atualmente se identifica ainda algumas situações potenciais para utilização da MBA, tais como: quando os agentes possuem um comportamento complexo, incluindo aprendizagem e adaptação; quando as interações entre os agentes são complexas, não lineares, descontínuas; quando a topologia das interações é heterogênea e complexa; quando o sistema é descrito de forma mais natural através de atividades ao invés de processos; dentre outras (BONABEAU, 2002).

O desafio, comum a todas as técnicas de modelagem, é que o modelo deve ser construído num nível correto de descrição dos fenômenos, usando uma quantidade adequada de detalhes, para servir ao seu propósito. Outra dificuldade para a utilização da MBA nas ciências sociais, políticas e econômicas, surge do envolvimento de seres humanos cujos comportamentos são potencialmente irracionais, de escolhas subjetivas e psicologia complexa, aspectos difíceis de quantificar, calibrar e muitas vezes justificar. Outro desafio está relacionado à própria definição da MBA, a qual trata um sistema no nível de suas unidades constituintes, o

que exige elevado poder computacional e tempo para elaboração do modelo, conforme a escala e a complexidade a ser modelada (BONABEAU, 2002).

#### 4.2.3 Ferramentas para MBA

O crescimento das aplicações da MBA nos diversos ramos do conhecimento foram fruto de um grande esforço no desenvolvimento de pacotes de software que nos últimos anos vem tornando a MBA fácil o suficiente para ser atraente para muitos profissionais de diversas áreas e em diferentes campos de conhecimento. Dentre os principais simuladores destacam-se *Swarm*, *Repast*, *NetLogo*, *AnyLogic*, *Mason* e *Ascape* (SAMUELSON E MACAL, 2006).

O *Swarm* foi um dos primeiros programas de MBA, tendo sido desenvolvido Chris Langton no Santa Fe Institute, originalmente foi criado especificamente para modelagem de vida artificial, uma abordagem para estudos de sistemas biológicos. A primeira versão do *Swarm* surgiu em 1996 e a partir dessa data as aplicações do programa não se limitaram a estudos no campo da biologia, atualmente está presente em áreas como antropologia, ciências políticas, ciências da computação, ecologia, economia, geografia, planejamento industrial e militar, entre outras. Os códigos de suas bibliotecas e fontes são abertos (software livre) e mantidos atualmente pelo *Swarm Development Group* (SDG). O *Swarm* é uma plataforma para MBA que inclui: (1) um *framework* conceitual para projetar, descrever e conduzir experimentos em MBA; (2) implementação de software com diversas ferramentas úteis; (3) uma comunidade de usuários e desenvolvedores que compartilham ideias, softwares e experiências (SWARM, 2013).

Um dos softwares livres mais conhecidos pelos interessados na MBA é o *Recursive Porous Agent Simulation Toolkit* (*Repast*), originalmente desenvolvido por Sallach, Collier e outros pesquisadores da Universidade de Chicago no ano de 2000, e aprimorado pelo *Argonne National Laboratory*, para contemplar descobertas em ciências sociais através de experimentação computacional. Esse programa utiliza de muitos conceitos consolidados do *Swarm*. O *Repast* é gerenciado por uma organização voluntária sem fins lucrativos com sede nos EUA, a *Repast Organization for Architecture and Design* que é comandada por membros do governo Americano, a comunidade acadêmica e por diversas indústrias. O sistema *Repast*, inclusive o seu código fonte, pode ser acessado diretamente na sua *home page*. O *Repast* está disponível em linguagem Java e suas aplicações são baseadas em bibliotecas de

componentes que podem ser incorporados ao modelo a ser construído de forma visual sem exigir muitos conhecimentos avançados de Java dos programadores e interessados na MBA (REPAST, 2013).

O *NetLogo* foi desenvolvido em 2008 pelo Dr Uri Wilensky, diretor do Centro da Universidade Northwestern de Aprendizagem Connected e Modelagem Baseada em Computador, nos EUA. Tem como objetivo modelar sistemas complexos que se desenvolvem ao longo do tempo. O programa é um ambiente de MBA programável para explorar o funcionamento de sistemas descentralizados - sistemas que são organizados sem um organizador, coordenado sem um coordenador. Com *NetLogo*, podemos simular muitos fenômenos emergentes da vida real, tais como bandos de pássaros, engarrafamentos, colônias de formigas, e economias de mercado. *NetLogo* permite a exploração simplificada por meio de modificação de chaves, controles deslizantes, optantes, insumos e outros elementos de interface. Além da utilização da navegação, o software permite a criação de novos modelos e modificação de modelos em sua biblioteca já existentes. Desenvolvido em Java, pode ser executado na maioria das plataformas (Mac, Linux, Windows etc.). São algumas das características oferecidas pelo *NetLogo*: estrutura de linguagem simples; agentes móveis (*turtles*) caminham sobre uma grade de agentes estacionários (*patches*), criação de links entre *turtles* para construir agregados, redes e grafos de agentes; visualização 2D e 3D do modelo; controle de velocidade de modelagem; monitores que permitem inspecionar e controlar os agentes (NETLOGO, 2008).

O *AnyLogic* é um dos pacotes comerciais desenvolvidos pela XJ Technologies uma empresa com sede na Rússia que disponibiliza algumas funcionalidades para desenvolvimento de MBA. Utiliza linguagem Java e possibilita também a construção de modelos baseados nas abordagens da modelagem de Eventos Discretos e da Dinâmica de Sistemas. Dentre as aplicações citadas pelo fornecedor, destacam-se: estudos sociais, planejamento, otimização de fluxos, dinâmica de ecossistemas, redes de telecomunicações, evacuações de áreas e *call center*.

## 4.3 MODELAGEM EPIDEMIOLÓGICA DE ATAQUES BIOLÓGICOS

### 4.3.1 Modelando a resposta a ataques biológicos

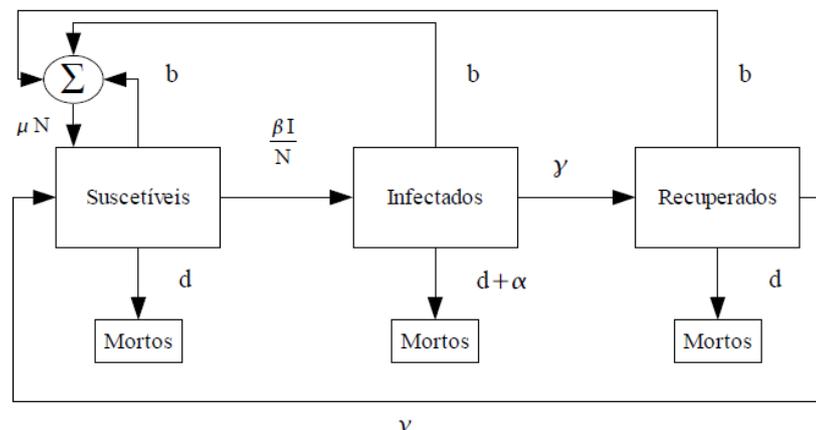
A capacidade de avaliar os impactos de ataques com agentes biológicos em grande ou pequena escala é fundamental. Pois, pode-se medir a eficácia das políticas

de segurança do aeroporto, exigindo o raciocínio das autoridades responsáveis de como se dará a pronta resposta. Dessa maneira, a disseminação da doença dentro de um sistema social complexo, que é o aeroporto, será mitigada.

No estudo das infecções causadas por agentes biológicos, a abordagem mais utilizada é dividir a população de hospedeiros em algumas classes, sendo que as mais comuns são: *suscetíveis*, *infectados* e *recuperados* (SIR) (KERMACK e MCKENDRICK, 1927), conforme indica o Fluxograma 2:

- A) *Suscetíveis*: indivíduos que não estão infectados, mas podem vir a estar;
- B) *Infectados*: indivíduos que estão com a doença e podem transmiti-la para outros indivíduos;
- C) *Recuperados*: indivíduos que estão recuperados e imunes ao contágio. A imunidade neste caso é adquirida após o indivíduo se recuperar da doença.

Fluxograma 2 - Modelo SIR



Fonte: NEPOMUCENO, 2005, Dinâmica, Modelagem e Controle de Epidemias

As três classes consideradas são: i) Suscetíveis ( $S(t)$ ); ii) Infectados ( $I(t)$ ); iii) Recuperados ou imunes ( $R(t)$ ). No Fluxograma 2, os hospedeiros reproduzem a uma taxa  $b$  (taxa de natalidade) e morrem a uma taxa de  $d$  (taxa de mortalidade). Os hospedeiros infectados possuem uma taxa  $\alpha$  adicional à sua taxa de mortalidade, a taxa de letalidade. O tempo médio de permanência nas classes infectadas e imunes são  $1/\gamma$  e  $1/\nu$ , respectivamente,  $\beta$  é o coeficiente de transmissão que determina a taxa em que novas infecções surgem como consequência do contato entre suscetíveis e infectados  $\mu$  é a taxa de novos suscetíveis por unidade de tempo.

Para muitas doenças infecciosas, como o antraz, a dose que indivíduos suscetíveis são expostos é um importante determinante da taxa de ataque. Em

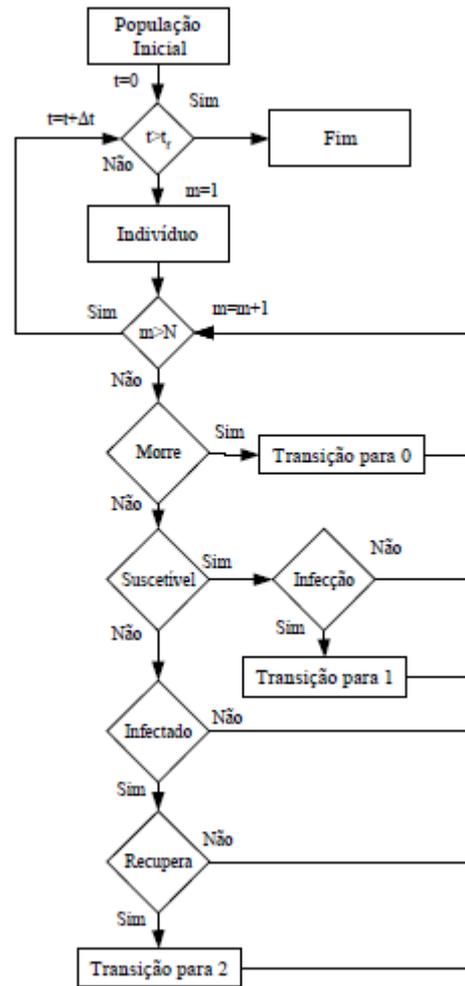
macacos cinomolgos expostos a aerossóis de esporos *Bacillus Anthracis*, a dose que provoca a letalidade em 44% dos animais foi de aproximadamente cinco mil esporos, enquanto que para o antraz cutâneo foi de cerca de trezentos esporos. Para o antraz cutâneo, nos seres humanos, a dose administrada que produz a doença é menor que 104 esporos, o que explica porque a maior parte dos casos que ocorrem naturalmente é cutânea. No ataque com antraz em 2001<sup>19</sup>, apesar de alta 45%, a taxa de letalidade neste surto foi menor do que se pensava anteriormente, e com melhor reconhecimento precoce e tratamento da doença. É provável que a idade avançada das vítimas tenha maiores efeitos sobre as doses letais do que em doses infecciosas. A variação da virulência entre as cepas de *Bacillus anthracis* é uma outra fonte de incerteza, logo um ataque de larga escala pode resultar em milhões de pessoas contaminadas e milhares de mortes (WEBB, 2002).

O modelo clássico SIR não é capaz de explicar a persistência de doenças infecciosas, como é o caso do antraz. A principal razão disso reside no fato do modelo SIR considerar que a distribuição de indivíduos é homogênea tanto no tempo como no espaço (MED). Essa razão está intimamente ligada ao grande tamanho da população que tem que ser adotado para validar o modelo SIR. Por outro lado, para o modelo baseado em agente é indiferente o tamanho da amostra, podendo ser grande ou pequena, o que não irá interferir no resultado, o que atende plenamente o estudo de caso de um ataque com o agente biológico antraz no aeroporto Internacional do Galeão.

---

<sup>19</sup> Os ataques com o carbúnculo nos EUA em 2001 consistiram contaminados com o antraz, sendo que cinco pessoas morreram. O início do envio foi uma semana após os ataques de 11/09.

Fluxograma 3 - Fluxograma da MBA no modelo SIR



Fonte: NEPOMUCENO, 2005, Dinâmica, Modelagem e Controle de Epidemias

No fluxograma da MBA no modelo SIR (Fluxograma 3 e Figura 13), a população inicial é determinada de modo aleatório. Em cada instante de tempo, cada indivíduo é considerado e verifica-se por meio de distribuições probabilísticas qual a transição que ocorrerá. Após os  $N$  indivíduos serem avaliados, o tempo de modelagem é incrementado em  $\Delta t$ .

Figura 13 - Algoritmo da MBA no modelo SIR

```

início-algoritmo
Definição dos parâmetros iniciais:  $N, \Delta t, \gamma, \mu, \beta$ 
Determinação da população inicial  $P_{m,0}$ .
para  $t \leftarrow 1$  até  $t_f$  faça
    para  $m \leftarrow 1$  até  $N$  faça
        se  $I_{m,t}(C_2) > I_{m,t}(C_3)$  {Morte}
             $I_{m,t}([C_1; C_2; C_4; C_5]) \leftarrow 0$ 
             $I_{m,t}(C_3) \leftarrow -\mu \ln(a_u)$ 
        senão
            se  $I_{m,t}(C_1) = 0$  {Infecção}
                 $ind \leftarrow n_{u_a}$  {Sorteio de um indivíduo para encontro }
                se  $I_{ind,t}(C_1) = 1$ 
                     $I_{m,t}(C_1) \leftarrow 1$  {Com  $\beta_I\%$  }
                     $I_{m,t}(C_4) \leftarrow 0$ 
                     $I_{m,t}(C_5) \leftarrow -\gamma \ln(a_u)$ 
                fim-se
            fim-se
            se  $I_{m,t}(C_1) = 1$  {Recuperação }
                se  $I_{m,t}(C_4) > I_{m,t}(C_5)$ 
                     $I_{m,t}(C_1) \leftarrow 2$ 
                     $I_{m,t}(C_4) \leftarrow 0$ 
                     $I_{m,t}(C_5) \leftarrow 0$ 
                senão
                     $I_{m,t}(C_4) \leftarrow I_{m,t}(C_4) + \Delta t$ 
                fim-se
            fim-se
             $I_{m,t}(C_2) \leftarrow I_{m,t}(C_2) + \Delta t$ 
        fim-se
    fim-para
fim-para
fim-algoritmo

```

Fonte: NEPOMUCENO, 2005, Dinâmica, Modelagem e Controle de Epidemias

Comparando o modelo SIR e MBA percebe-se que o número de indivíduos suscetíveis à doença permanece de modo semelhante. Em ambas as simulações, a população de suscetível é alta no início e sofre um decrescimento vertiginoso, cresce um pouco novamente e oscila em torno de um valor. Uma diferença marcante é que enquanto no modelo SIR (determinístico) o número de suscetíveis se estabiliza para um valor fixo, o número de suscetíveis do MBA permanece com flutuação característica de modelos estocásticos. Um corolário desta afirmação é que existe uma probabilidade não nula de que possa ocorrer uma erradicação da doença. Pois, mesmo em uma situação em que o modelo tenha parâmetros que o levem a uma

situação endêmica, pode haver a erradicação da doença. **Esse cenário não é possível de ser constatado usando o modelo SIR, somente no MBA** (NEPOMUCENO, 2005, grifo nosso).

#### 4.3.2 Biowar: uma ferramenta na modelagem de ataques bioterroristas

O *Biowar* é uma modelagem de computador complexa, baseada em agente, que combina modelos computacionais de redes sociais, meios de transmissão e contágio de doenças, modelos espaciais urbanos, modelos de tempo e um modelo de erro de diagnóstico, com o objetivo de produzir um único modelo integrado do impacto de um ataque bioterrorista em uma área urbana. O *BioWar* está configurado para representar as verdadeiras cidades americanas, utilizando dados do censo demográfico e outras informações disponíveis. O programa tem sido utilizado para testar e melhorar os algoritmos de detecção de ataques biológicos e possui um modelo de doença com base em sintomas. Assim sendo, até o momento, 61 doenças foram modeladas, incluindo varíola e o antraz (CARLEY et al, 2004)

“Um número de abordagens significativas tem sido usado para estudar os possíveis efeitos do ataque biológico. A constante na pesquisa é a dificuldade de obtenção de dados do mundo real. O número de recentes liberações de agentes biológicos tem sido pouco e limitados em escopo e incidentes passados de uso em guerra não são particularmente informativos para as necessidades atuais de modelagem”. (CARLEY et al, 2004)

Segundo Carley et al (2004) o programa *BioWar* possui as seguintes características:

a) Tempo de jornada de modelagem

A unidade básica de tempo em *BioWar* é o "tick" de quatro horas de duração. Durante a jornada, o tempo e clima são definidos, a localização do agente e estado são calculados e relatórios gerados. As jornadas são mapeadas para dias do calendário e estações: cada dia é composto por seis jornadas de 4 horas, usando para isso o calendário Gregoriano.

b) Representação climática

O modelo gera o clima, a temperatura, a pressão e os dados de precipitação para a jornada de uma modelagem. Os modelos climáticos de um ano de duração foram criados para cada modelagem, utilizando os dados publicados pela *National Oceanic and Atmospheric Administration*.

c) Representação do Vento

A velocidade do vento e sua direção, durante todo o período de modelagem, são geradas. O vento é importante antes e após o momento do ataque, especialmente quando ocorre o ataque ao ar livre e o agente biológico é disperso. O programa utiliza uma versão modificada do modelo de *Gaussian* de dispersão do vento, pois calcula a velocidade do vento dependente da altura. A velocidade do vento e direção coincide com os dados empíricos para as regiões simuladas e publicados pela *Environmental Protection Agency* e na ausência de dados meteorológicos detalhados é atribuída uma categoria da estabilidade atmosfera de *Pasquill*.

d) Ciclo social

A modelagem simula a duração básica do dia-a-dia, sendo que os agentes trabalham, estudam e repousam durante a noite. Os fins de semana são tratados como dias de descanso, calendário de férias, feriados nacionais norte-americanos e férias escolares são modelados.

Segundo Carley et al (2004) apud Turner (1994), e em particular para o agente Antraz, existem dois pressupostos muito importantes para a modelagem baseada em agente, a dose inalada e os raios ultravioletas. Sendo assim, incluiremos a fórmula abaixo e os dados de ativação dos esporos do Antraz, o que facilitará muito quando de nosso estudo de caso de um ataque com o agente biológico Antraz no Aeroporto Internacional do Galeão.

A dose inalada por um agente é calculada usando a seguinte equação:

$$Dose = [QB][\pi u \sigma_y \sigma_z] \cdot \exp[-(1/2)(y/\sigma_y)^2] \exp[-(1/2)(H/\sigma_z)^2]$$

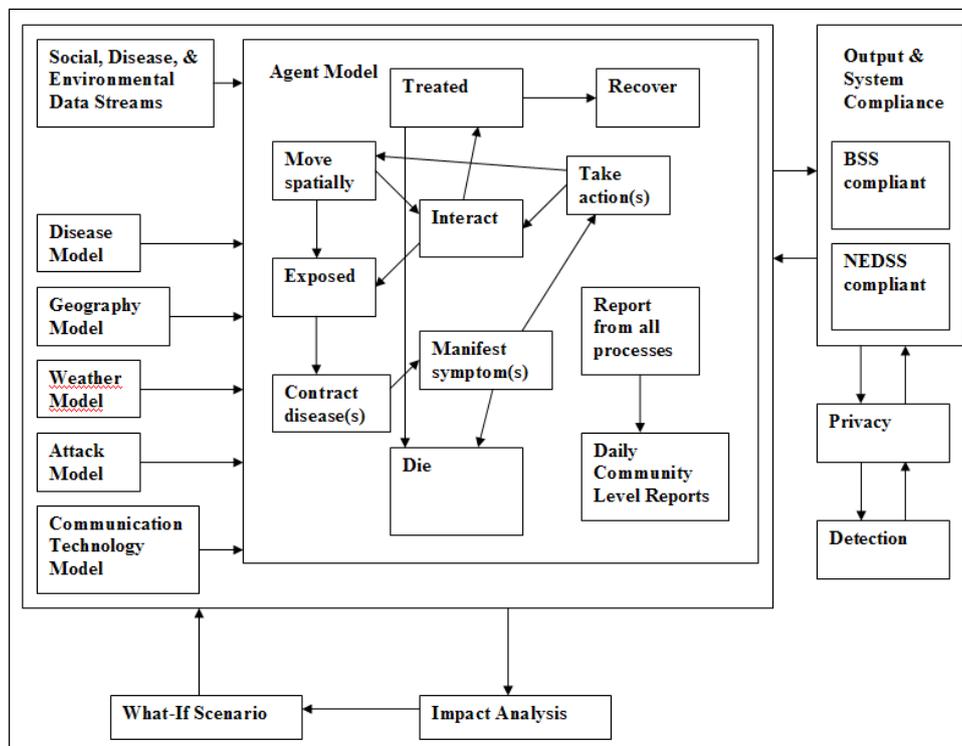
Fonte: Carley et al (2004) apud Turner (1994)

Onde, Q é a intensidade da fonte (por exemplo, número de esporos de antraz), B é a taxa de respiração (normalmente para luz de trabalho  $B = 5 \cdot 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/sec); u é a velocidade do vento em m / s;  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  são parâmetros de dispersão que são funções de distância x, e H é a altura do lançamento, em metros. As condições meteorológicas permanecem inalterada ao longo do tempo durante o deslocamento de ar. Para fins

práticos, aproximadamente, 5% do total de esporos de antraz utilizados são realmente absorvidos nos pulmões das vítimas, devido ao maior tamanho da partícula que ficam retidas nos pelos nasais, perda no ambiente, fatores ambientais (umidade, temperatura e vento), entre outros.

Os raios ultravioletas solares podem desativar alguns patógenos, como antraz. Os esporos liberados **durante a luz do dia são considerados ativos por cerca de 4 horas**, enquanto um lançamento no início da **noite pode manter os esporos ativos por até 12 horas**. O modelo *BioWar* (Fluxograma 4) leva isso em conta, enquanto simula a duração dos efeitos do antraz liberado no ar (grifo nosso).

Fluxograma 4 - Modelagem Biowar



Fonte: Carley et al, 2004

## **5. ESTUDO DE CASO: MBA DE UM ATAQUE COM O AGENTE BIOLÓGICO ANTRAZ NO AEROPORTO INTERNACIONAL DO RIO DE JANEIRO**

Este capítulo apresenta um estudo de caso de um ataque com o agente biológico Antraz no Aeroporto Internacional do Galeão, com uso da ferramenta de MBA. Primeiro, faz-se a descrição do objeto da modelagem, localizando geograficamente o complexo aeroportuário do Galeão. Em seguida, se discute como foi construído o modelo e suas variáveis (como: o efeito das condições meteorológicas, a direção e velocidade do vento, a luz solar, a umidade relativa, temperatura, a estabilidade do ar e a precipitação) podem afetar os aerossóis de antraz. Terceiro, apresentam-se os resultados das modelagens realizadas. Por fim, faz-se um contraste entre os resultados obtidos e objeto do estudo de caso a fim de avaliar a consistência e utilidade da modelagem.

### **5.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DA MODELAGEM**

O Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim, mais conhecido como Aeroporto do Galeão (Figura 14), está localizado no Brasil na região sudeste, na capital do estado do Rio de Janeiro. Com base no censo demográfico de 2010 produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a região metropolitana de Rio de Janeiro tem uma população de aproximadamente 11,8 milhões de habitantes e é a principal região servida pelo Aeroporto. De acordo com a Infraero, em 2013, aproximadamente 85% dos 17,5 milhões de passageiros no Aeroporto do Galeão tinham sua origem ou destino para a região do Rio de Janeiro.

A capital fluminense tem 74% da população do Estado, incluindo as 18 cidades que compõem a região metropolitana, é a segunda maior região metropolitana do Brasil. A cidade do Rio de Janeiro é um importante destino doméstico e internacional de turistas, sendo o segundo principal portão de entradas e saídas de voos internacionais. Além disso, outros fatores são importantes na demanda de passageiros no Galeão, pois o maior setor petrolífero do país está no estado do Rio de Janeiro e ainda é um elo importante de conexões para outros voos internacionais.

Figura 14 - Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim



Fonte: Infraero

O Brasil é o maior mercado de aviação na região da América Latina e Caribe, com uma rede extensa de aeroportos internacionais, nacionais e privados (Figura 15). Além disso, possui importantes pontos de entrada e saída de voos internacionais e aeroportos domésticos secundários em São Paulo e no Rio de Janeiro e em outras grandes cidades como: Brasília, Curitiba, Fortaleza, Manaus, Recife, Porto Alegre e Salvador, entre outras.

Figura 15 - Aeroportos no Brasil



Fonte: Infraero

O Aeroporto Internacional do Galeão é o principal aeroporto do Rio de Janeiro, atendendo aproximadamente 66% dos passageiros da região. Um total de 17,5 milhões de passageiros, 197 partidas diárias regulares para 27 destinos domésticos e 25 destinos internacionais em 2012. A Figura 16 ilustra a sua posição em relação a outros aeroportos da cidade do Rio de Janeiro.

Figura 16 - Aeroportos na cidade do Rio de Janeiro



Fonte: Infraero

O Brasil observou um forte aumento no tráfego de passageiros a partir da década 1990 (Tabela 3). No Galeão, entre 1990 e 2012, o total de passageiros aumentou em média 4,3% ao ano, em comparação com um aumento médio de 8,2% ao ano no país durante esse período. Desde 1990, a quota de passageiros tem aumentado devido à evolução do serviço das companhias aéreas, incluindo a expansão dos serviços de empresas aéreas de baixo custo. Em sequência, possibilitou o acesso de muitos usuários que até então não utilizavam esse serviço.

Tabela 3 - Tráfego de passageiros nos aeroportos brasileiros

| Ano                           | Internacional | Doméstico  | Aviação Geral | Total      | Aumento (redução) médio (%) |
|-------------------------------|---------------|------------|---------------|------------|-----------------------------|
| 1990                          | 4.313.309     | 4.151.523  | 4.572         | 8.469.404  | --%                         |
| 1991                          | 2.277.720     | 3.331.030  | 4.210         | 5.612.960  | (33,7)                      |
| 1992                          | 3.441.125     | 3.188.797  | 4.234         | 6.634.156  | 18,2                        |
| 1993                          | 3.516.939     | 3.366.294  | 4.089         | 6.887.322  | 3,8                         |
| 1994                          | 2.285.070     | 2.698.019  | 9.441         | 4.992.530  | (27,5)                      |
| 1995                          | 2.012.359     | 3.141.311  | 4.108         | 5.157.778  | 3,3                         |
| 1996                          | 2.248.722     | 3.261.541  | 3.898         | 5.514.161  | 6,9                         |
| 1997                          | 2.543.296     | 3.853.467  | 6.842         | 6.403.605  | 16,1                        |
| 1998                          | 2.202.288     | 4.904.592  | 20.027        | 7.126.907  | 11,3                        |
| 1999                          | 2.009.842     | 3.144.914  | 19.675        | 5.174.431  | (27,4)                      |
| 2000                          | 1.976.555     | 3.066.898  | 17.961        | 5.061.414  | (2,2)                       |
| 2001                          | 2.179.745     | 3.788.430  | 18.878        | 5.987.053  | 18,3                        |
| 2002                          | 1.932.464     | 3.320.062  | 17.316        | 5.269.842  | (12,0)                      |
| 2003                          | 1.971.761     | 2.628.027  | 19.441        | 4.619.229  | (12,3)                      |
| 2004                          | 2.276.015     | 3.720.873  | 28.042        | 6.024.930  | 30,4                        |
| 2005                          | 2.388.490     | 6.211.004  | 57.645        | 8.657.139  | 43,7                        |
| 2006                          | 2.141.293     | 6.673.640  | 41.594        | 8.856.527  | 2,3                         |
| 2007                          | 2.172.293     | 8.141.696  | 38.627        | 10.352.616 | 16,9                        |
| 2008                          | 2.218.044     | 8.512.906  | 23.739        | 10.754.689 | 3,9                         |
| 2009                          | 2.607.035     | 9.152.095  | 69.526        | 11.828.656 | 10,0                        |
| 2010                          | 3.118.735     | 9.127.459  | 91.750        | 12.337.944 | 4,3                         |
| 2011                          | 3.729.703     | 11.136.689 | 86.438        | 14.952.830 | 21,2                        |
| 2012                          | 4.288.751     | 13.112.153 | 94.833        | 17.495.737 | 17,0                        |
| Aumento (redução) anual médio |               |            |               |            |                             |
| 1990-2000                     | (7,5)%        | (3,0)%     | 14,7%         | (5,0)%     |                             |
| 2000-2012                     | 6,7           | 12,9       | 14,9          | 10,9       |                             |
| 1990-2012                     | (0,0)         | 5,4        | 14,8          | 3,4        |                             |

Nota: Inclui embarques e desembarques.

Fonte: Infraero

O total de passageiros no aeroporto aumentou de 8,5 milhões em 1990 para 17,5 milhões em 2012, o que significa um crescimento anual de 3,4%. Durante esse período, passageiros domésticos aumentaram em média 5,4% ao ano, enquanto o número de passageiros internacionais permaneceu praticamente igual. Já entre 2011 e 2012, passageiros internacionais e domésticos aumentaram em 15,0% e 17,7%, respectivamente. O aeroporto aumentou anualmente desde 2003, refletindo a expansão dos serviços das empresas GOL e TAM entre 2003 e 2008 e, mais recentemente, o início dos serviços das empresas de baixo custo Azul e Webjet.

Por outro lado, prevê-se que o número de passageiros no Aeroporto aumente de 17,5 milhões de passageiros em 2012 para **72,3 milhões em 2043**, uma taxa média de 4,7 % ao ano. Prevê-se que o número de passageiros domésticos no Aeroporto aumente em média 4,9 % ao ano entre 2013 e 2043, em comparação com um aumento médio de 3,9 % no movimento de passageiros internacionais (Tabela 4). A

projeção reflete a concessão do aeroporto para a iniciativa privada ocorrida no ano de 2013, aumentando ainda mais a importância do Galeão em futuro próximo.

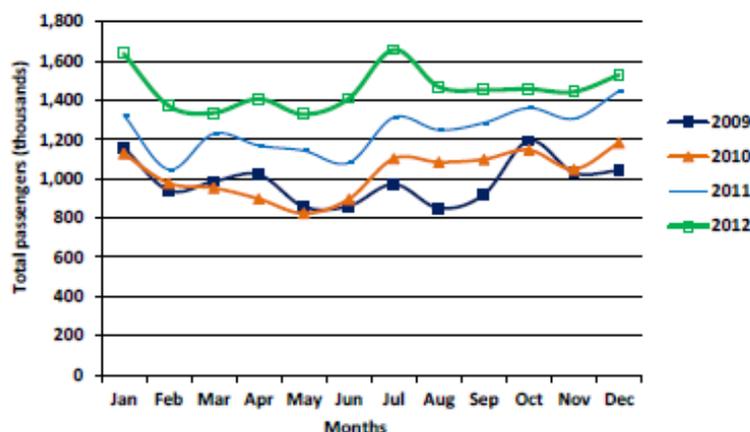
Tabela 4 - Projeção do tráfego de passageiros no Galeão

| Ano                                       | Total de passageiros (em milhões) |               |                                   | % de aumento anual |
|---|-----------------------------------|---------------|-----------------------------------|--------------------|
|   | Galeão                            | Santos Dumont | Total da Região do Rio de Janeiro |                    |
| <b>Histórico</b>                          |                                   |               |                                   |                    |
| 2009                                      | 11,8                              | 5,1           | 16,9                              | --%                |
| 2010                                      | 12,3                              | 7,8           | 20,1                              | 19,1               |
| 2011                                      | 15,0                              | 8,5           | 23,5                              | 16,4               |
| 2012                                      | 17,5                              | 9,0           | 26,5                              | 12,7               |
| <b>Previsão</b>                           |                                   |               |                                   |                    |
| 2013                                      | 19,3                              | 9,1           | 28,4                              | 7,4                |
| 2014                                      | 21,3                              | 9,3           | 30,6                              | 7,9                |
| 2015                                      | 23,1                              | 9,5           | 32,6                              | 6,5                |
| 2016                                      | 25,0                              | 9,7           | 34,7                              | 6,3                |
| 2017                                      | 26,7                              | 9,9           | 36,6                              | 5,5                |
| 2018                                      | 28,3                              | 10,1          | 38,4                              | 4,7                |
| 2023                                      | 34,5                              | 10,8          | 45,3                              | 3,6                |
| 2033                                      | 50,1                              | 11,7          | 61,8                              | 3,1                |
| 2043                                      | 72,3                              | 11,8          | 84,1                              | 3,1                |
| <b>Taxa composta de crescimento anual</b> |                                   |               |                                   |                    |
| 2012 - 2018                               | 8,3%                              | 1,9%          | 6,4%                              |                    |
| 2018 - 2023                               | 4,1                               | 1,5           | 3,4                               |                    |
| 2023 - 2033                               | 3,8                               | 0,7           | 3,1                               |                    |
| 2033 - 2043                               | 3,7                               | 0,1           | 3,1                               |                    |
| 2012 - 2043                               | 4,7                               | 0,9           | 3,8                               |                    |

Fonte: Infraero

O Gráfico 1 apresenta dados mensais sobre os passageiros (embarcados e desembarcados) no Aeroporto do Galeão, de janeiro de 2008 a dezembro de 2012. Os dados mensais ilustram as variações sazonais no tráfego de passageiros, com níveis de pico em dezembro, janeiro e julho, atividades reduzidas de agosto a novembro, e os níveis mais baixos de fevereiro a junho.

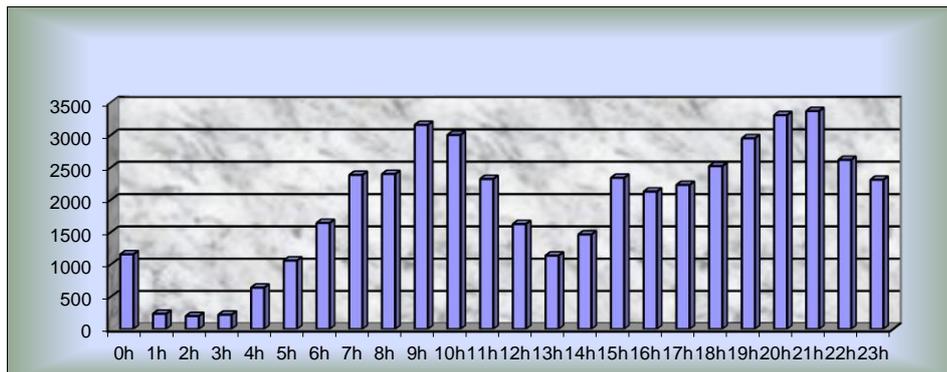
Gráfico 1 - Variação mensal de passageiros no Galeão



Fonte: Infraero

O Gráfico 2 apresenta os horários diários dos embarques e desembarques no Aeroporto do Galeão, no ano de 2013. Os dados diários ilustram as variações de passageiros, com os níveis de pico às 09 e 21 hs; atividades reduzidas nos horários de 00 hs, de 04 às 06 hs e de 12 às 14 hs; e os níveis mais baixos nas madrugadas entre 01 às 03 hs.

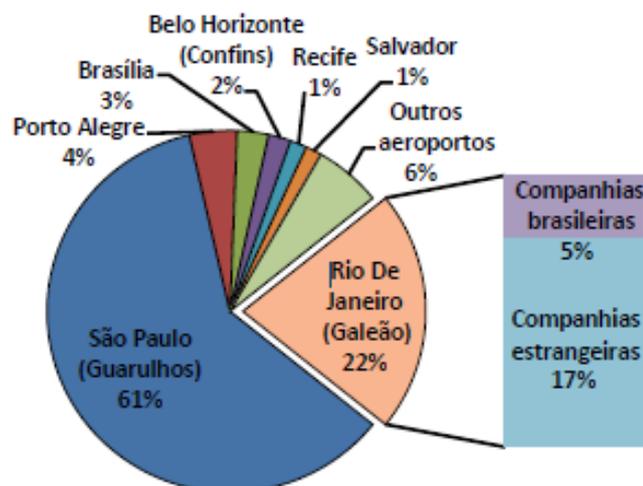
Gráfico 2 - Variação diária de passageiros no Galeão



Fonte: Infraero

O Aeroporto do Galeão é um *hub* de entradas e saídas internacionais no Brasil. Em 2012, o Aeroporto representava 22% dos assentos ocupados em voos internacionais em todos os aeroportos do Brasil (Gráfico 3). As companhias aéreas brasileiras representavam aproximadamente um quarto dos assentos internacionais do Aeroporto do Galeão e as companhias aéreas estrangeiras representavam o restante (Gráfico 3).

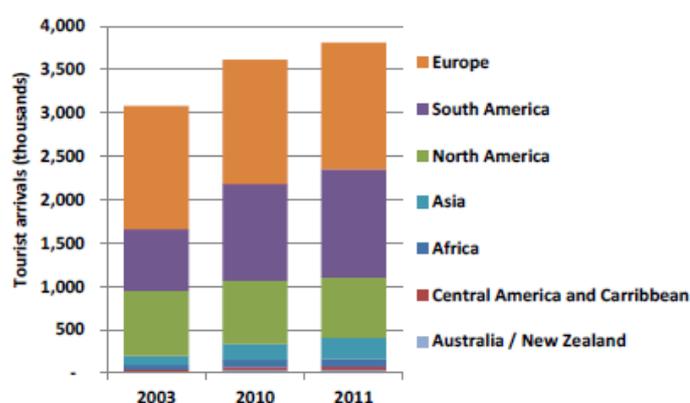
Gráfico 3 - Voos internacionais no Galeão



Fonte: Infraero

Conforme mostrado no Gráfico 4, a Europa foi responsável pelo maior número de turistas que chegaram ao Brasil em 2011, com 1,5 milhão ou 38% do total, menor do que sua parcela de 46% em 2003. O número de turistas da América do Sul (excluindo turistas brasileiros) praticamente dobrou entre 2003 e 2011, com 1,2 milhão de chegadas em 2011. Desde 2003, o número de turistas vindos da América do Norte tem permanecido praticamente estável, embora sua participação no total global tenha diminuído de 24% em 2003 para 18% em 2011.

Gráfico 4 - Origem dos turistas internacionais que chegam no Brasil



Fonte: Infraero

O Aeroporto do Galeão possui dois terminais de passageiros, sendo que em ambos operam voos domésticos e internacionais. Os terminais possuem planta semelhante, com um formato semicircular, em que pese o *layout* e o processamento das atividades aeroportuárias serem diferente. O terminal 01 é o mais antigo dos dois, sendo que sua planta semicircular é dividida em três setores.

O local escolhido para realizarmos o estudo de caso de uma modelagem baseada em agente do ataque com antraz foi a sala de *check-in* do 3º piso do terminal 02 do Aeroporto Internacional do Galeão. Este recorte foi definido, pois esta é uma área no aeroporto de maior acesso ao público em geral e está localizada em uma posição central, e além disso, com o maior movimento de passageiros internacionais. No saguão de *check-in*, transitam, todos os dias, os passageiros que embarcam nas aeronaves para os diversos destinos no mundo, potencializando as ações estratégicas de um possível ataque com o agente biológico antraz.

O terminal 2 possui no piso de embarque três circulações lineares principais no sentido longitudinal do edifício. As circulações são entrecortadas por circulações

transversais secundárias que fazem ligação com as principais. A circulação externa ao terminal é dedicada exclusivamente a veículos e pedestres; a circulação interna no terminal engloba o saguão de embarque (Figura 17) - sala de *check-in* - com instalações abertas ao público e a circulação interna restrita, dedicada somente a pessoal autorizado, abrange a sala de embarque e as esteiras de restituição de bagagens.

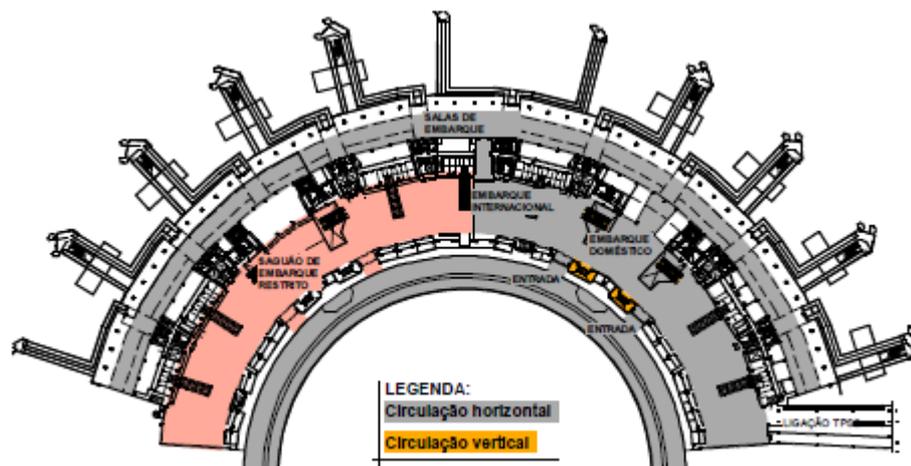
Figura 17 - Check in no Terminal 02



Fonte: Infraero

O terminal abriga ainda três andares sendo o térreo exclusivo para estacionamento, no primeiro andar ficam as instalações de desembarque, no segundo andar ficam as instalações destinadas ao comércio e serviços em geral e no terceiro andar ficam as instalações de embarque (*check-in*) (Figura 18).

Figura 18 - Piso de embarque do terminal 02



Fonte: Infraero

## 5.2 DESCRIÇÃO DA CONSTRUÇÃO DO MODELO

Nos experimentos em laboratório, normalmente, o organismo substituto para *Bacillus Anthracis* é a o *Bacillus Atrophaeus*, pois é uma bactéria formadora de esporos comum em certos solos, não infecciosa, facilmente cultivada em cultura, e detectada por equipamento eletrônico. Os esporos do *Bacillus Atrophaeus* são morfológicamente diferentes dos esporos do *Bacillus Anthracis*, no entanto, os esporos não são patogênicos, por esta causa são comumente utilizados em estudos de aerossóis e reaerosolização. O *Bacillus Atrophaeus* em pó seco possui  $2,33 \times 10^{11}$  esporos / g, o que é muito parecido com o *Bacillus Anthracis*.

Quando usado como uma arma de destruição em massa, o efeito final desejado pelo perpetrador é espargir o antraz em partículas menores do que cinco microns de diâmetro, esse tamanho permite a penetração nos alvéolos pulmonares. Entretanto, apenas, aproximadamente, 5% do total de esporos de antraz utilizados são realmente absorvidos nos pulmões das vítimas, devido ao maior tamanho da partícula que ficam retidas nos pelos nasais, perda no ambiente, fatores ambientais (umidade, temperatura e vento), entre outros.

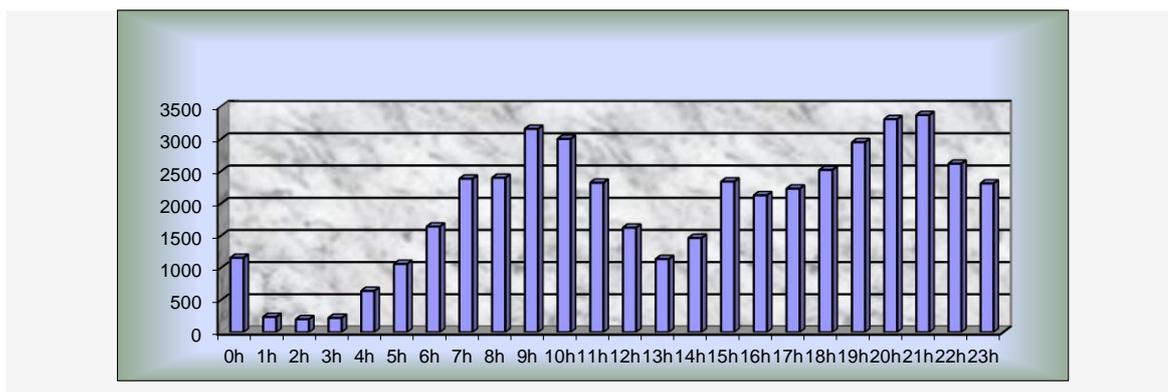
Na **modelagem do antraz** cada grama de Antraz possui  $2,33 \times 10^{11}$  esporos, logo quando calculamos o que realmente será absorvido pelos passageiros, ou seja, 5% o resultado será, aproximadamente,  $1,165 \times 10^{10}$ . Pode-se inferir que:

- 20 g Antraz espargido, correspondendo a 1g eficaz =  $1,165 \times 10^{10}$  esporos
- 2 Kg Antraz espargido, correspondendo a 100 g eficaz =  $1,165 \times 10^{12}$  esporos
- 20 Kg Antraz espargido, correspondendo a 1 Kg eficaz =  $1,165 \times 10^{13}$  esporos

Nos estudos de laboratório, a dose necessária para infectar 50% de uma população de cobaias com antraz, varia enormemente, entre 2.500 e 760.000 esporos, tornando difícil de determinar qual a dose necessária que infecta apenas um indivíduo exposto. Assim, a concentração de esporos no ar é importante para determinar a extensão da contaminação e para estabelecer a estratégia de descontaminação mais adequada.

Para a modelagem dos dados do Galeão, considera-se como dose letal um valor dez vezes maior que o valor que infecta 50 % (LD 50) da população, ou seja,  $760.000 \times 10$  que é igual a 7.600.000 esporos, assim obtêm-se alta taxa de letalidade, em torno de 99,9%. Logo, quando consideramos 20 g de antraz espargido, correspondendo a 1g eficaz igual a  $1,165 \times 10^{10}$  esporos por 7.600.000 que foi considerada a dose letal para um indivíduo teremos como resultado 1.533. Assim, para efeito de modelagem cada grama de antraz representado no modelo corresponde a 7.600.000 esporos reais<sup>20</sup> (dose letal), que sendo aspirado pelo passageiro no aeroporto provocaria sua morte. Por outro lado, para modelar o **número de passageiros**, tomamos por base o valor médio relativo ao número de passageiros pelas horas do dia, conforme o Gráfico 5.

Gráfico 5 - Variação diária de passageiros no Galeão



Fonte: Infraero

Inicialmente, devemos escolher o melhor horário para o lançamento, pois os raios ultravioletas solares podem desativar alguns patógenos, como o antraz. Os esporos liberados **durante a luz do dia são considerados ativos por cerca de 4 horas**, enquanto um lançamento no início da **noite pode manter os esporos ativos por até 12 horas**. Analisando o Gráfico 5, foi escolhido para a modelagem do cenário diurna o horário inicial de 07 horas, tendo em vista contemplar o maior horário de pico de passageiros diurno que é 09 horas da manhã e finalizando às 10hs, perfazendo as 04 hs diurnas.

As condições meteorológicas são fundamentais para a construção do modelo, pois influenciam a aerosolização e reaerosolização do antraz. Os tamanhos das partículas no interior das nuvens provocam pequenas diferenças entre a densidade

<sup>20</sup> No cenário da simulação cada dose letal é representada por uma esfera de cor vermelha.

do aerossol e a do ar. Assim, o antraz reagirá às condições do tempo da mesma forma que o ar ao seu redor. A direção e velocidade do vento, a luz solar, a umidade relativa, temperatura, a estabilidade do ar e a precipitação podem afetar aerossóis.

A temperatura tem pouco efeito sobre a porção viva de um espargimento biológico, sendo que o aumento de temperatura, no entanto, é normalmente seguido por um aumento da taxa de evaporação. As altas temperaturas (75 a 82 °C) tendem a matar a maioria das bactérias. Por outro lado, estas temperaturas não são, normalmente, encontradas em condições de ambientais nos aeroportos, pois são servidos de sistemas de ar condicionado. Dessa forma, infere-se que a temperatura é uma variável constante, definida em 22° C (temperatura média da sala de *check-in*), o que pouco afetará o modelo.

A velocidade e direção do vento determinam a direção na qual a nuvem de aerossol se deslocará e o tamanho da área que será coberta. Os espargimentos de esporos de Antraz podem ser empregados eficientemente com ventos de alta velocidade da ordem de 16 a 32 km/h. A essas velocidades, os esporos podem se deslocar sobre grandes áreas, sendo espalhados para mais de 50 Km de distância. As baixas velocidades do vento, como no modelo simulado, diminuem a distância e tempo do deslocamento da nuvem, reduzindo a área coberta. Logo, tendem a aumentar o tempo de permanência do antraz sobre o alvo, aumentando a dose inalada pelas pessoas. As pequenas mudanças na direção dos ventos de baixas velocidades, em ambiente fechado, normalmente desviam o antraz da área do alvo, reduzindo sua eficácia.

O gradiente vertical, a umidade relativa e as precipitações serão desprezadas neste modelo, haja vista que o modelo a ser simulado será no saguão de *check-in*, ou seja, um ambiente fechado.

A dificuldade enfrentada inicialmente envolvendo **conhecimento em programação de computadores** diminui com os novos pacotes de software de modelagem voltados à MBA. O *StarLogo TNG* é um software do MIT que está sendo utilizado como ferramenta metodológica para a modelagem dos dados do ataque com antraz no Aeroporto Internacional do Galeão. O programa foi escolhido, pois permite criar e entender as simulações de sistemas complexos. Assim, pode-se trabalhar com gráficos 3D e som, além de uma interface de programação baseada em blocos, o que torna a modelagem bem realística. Dessa maneira, este tipo de ferramenta irá se tornar cada vez mais acessível para o público em geral, requerendo cada vez menos

experiência de programação e em ambientes mais fáceis de utilização. Na montagem da máquina, buscou-se representar o cenário de forma mais realística possível, com detalhes como portas, balcões de *check-in*, cordas, paisagismo, balcão de empresa aérea, entre outros (Figura 19). Além disso, na parte inferior da máquina tem-se os seguintes botões de operação:

1 - **Reset**: tem como função limpar todo o cenário dos passageiros e antraz, colocando-o em sua condição inicial;

2 - **Start**: inicia a movimentação dos passageiros e do antraz pelo modelo;

3 - **Relatório**: emite relatório, em tempo real, com o total de passageiros na sala de *check-in*, total de passageiros na sala de embarque, passageiros que embarcaram saudáveis e infectados e o número de esporos de antraz na sala de *check-in*; e

4 - **Vento**: vetoriza o vento em intensidade de zero a dez, sendo que no nível zero o antraz está imóvel e no nível dez em sua máxima movimentação.

Figura 19 - Modelagem do cenário

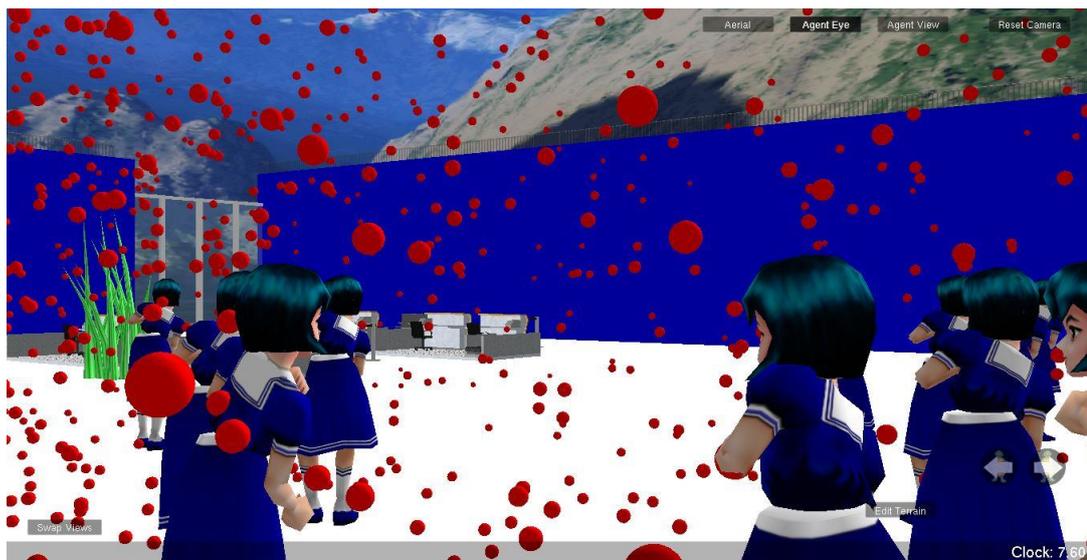


Fonte: Elaboração própria

A máquina foi programada para que a infecção dos passageiros ocorra quando os esporos de antraz estão entre 1,5 m e 2,0 m, pois nesta altura um homem de estatura mediana inalaria o ar contaminado. Desta maneira, simularemos um ataque com 40g de antraz acondicionado em um recipiente aerossol de 125ml, lançado por um indivíduo, em uma lata de lixo. Infere-se que dos 40g de antraz lançados no ambiente, apenas 5% seria realmente eficiente, ou seja 2g que equivalem aos 3066

esporos iniciais na modelagem, ou a  $2,33 \times 10^{10}$  esporos reais. Cabe destacar que os esporos de antraz no modelo estão em um tamanho bem maior do que o real e de cor vermelha, para fins de uma melhor visualização (Figura 20). A nuvem de aerossol é **incolor, inodora e invisível** após a sua libertação, o que dificulta sobremaneira sua identificação por parte das autoridades públicas, em um caso de ataque real.

Figura 20 - Close da visão do passageiro



Fonte: Elaboração própria

O quantitativo de passageiros que entram no Aeroporto do Galeão é definido conforme o Gráfico 2. Entretanto o complexo aeroportuário possui dois terminais, logo adotou-se na modelagem que o número de passageiros/hora ficaria dividido pela metade (devido a falta de informação fidedignas da circulação de passageiros), entre os dois terminais, conforme as Tabelas 5 e 6.

O *clock*<sup>21</sup> do programa Star Logo TNG é de um segundo. Entretanto, como o tempo de simulação dura 04 horas (diurna) ou 12 horas (noturna), padronizou-se na programação da máquina, a fim de otimizar o tempo de processamento, que cada segundo da simulação corresponde a um minuto no tempo real. Dessa forma, em vez de demorar 04 ou 12 horas para rodar cada simulação, se leva 04 ou 12 minutos.

Tabela 5 - Passageiros/ minuto diurno realizando *check-in*

| Hora | Passageiros | Ingresso/min | Tempo modelagem |
|------|-------------|--------------|-----------------|
| 7h   | 1150        | 19           | 1 a 60          |
| 8h   | 1150        | 19           | 61 a 120        |
| 9h   | 1550        | 26           | 121 a 180       |
| 10h  | 1500        | 25           | 181 a 240       |

<sup>21</sup> O *clock* é o tempo que é interpretado um ciclo completo do programa.

Fonte: Elaboração própria

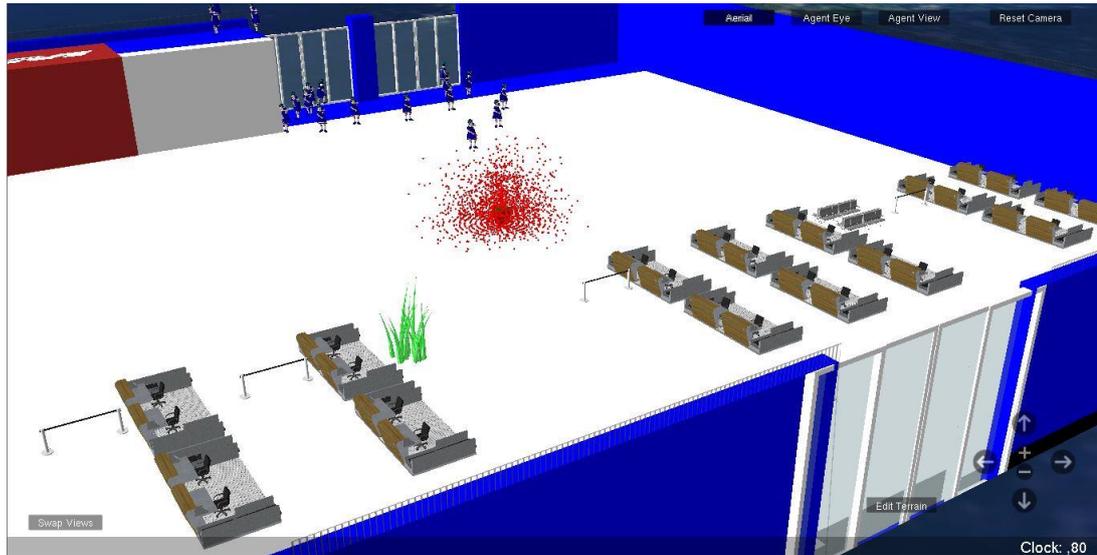
Tabela 6 - Passageiros/ minuto noturno realizando check-in

| Hora | Passageiros | Ingresso/min | Tempo Modelagem |
|------|-------------|--------------|-----------------|
| 18h  | 1260        | 21           | 1 a 60          |
| 19h  | 1440        | 24           | 61 a 120        |
| 20h  | 1680        | 28           | 121 a 180       |
| 21h  | 1680        | 28           | 181 a 240       |
| 22h  | 1320        | 22           | 241 a 300       |
| 23h  | 1140        | 19           | 301 a 360       |
| 0h   | 600         | 10           | 361 a 420       |
| 1h   | 120         | 2            | 421 a 480       |
| 2h   | 60          | 1            | 481 a 540       |
| 3h   | 120         | 2            | 541 a 600       |
| 4h   | 300         | 5            | 601 a 660       |
| 5h   | 540         | 9            | 661 a 720       |

Fonte: Elaboração própria

Segundo uma pesquisa recente do Datafolha, realizada durante a Copa do Mundo sobre a estrutura dos aeroportos brasileiros, os pesquisadores levantaram os tempos médios de atendimento. O **check-in durou uma média inferior a 11 minutos**, a emigração cerca de 5 minutos, e a restituição de bagagem foi de aproximadamente 8 minutos para voos domésticos e de 28 minutos para voos internacionais. O tempo médio de *check-in* é importante, pois será o tempo que o passageiro permanece despachando suas bagagens, junto ao balcão, durante a modelagem do cenário. Os passageiros saem do cenário passando pelas portas, principalmente, as do embarque nacional (Figura 21) e internacional. Além disso, ainda em um número muito menor, para o acesso ao terminal 01 ou mesmo para fora do terminal de embarque. No momento que os passageiros passam pela porta, a mesma se abre, o que proporciona também a saída dos esporos de antraz pelas portas, desde que a altura do esporo seja de até 2,2 metros, que é a altura média da porta.

Figura 21 - Visão do embarque internacional no cenário

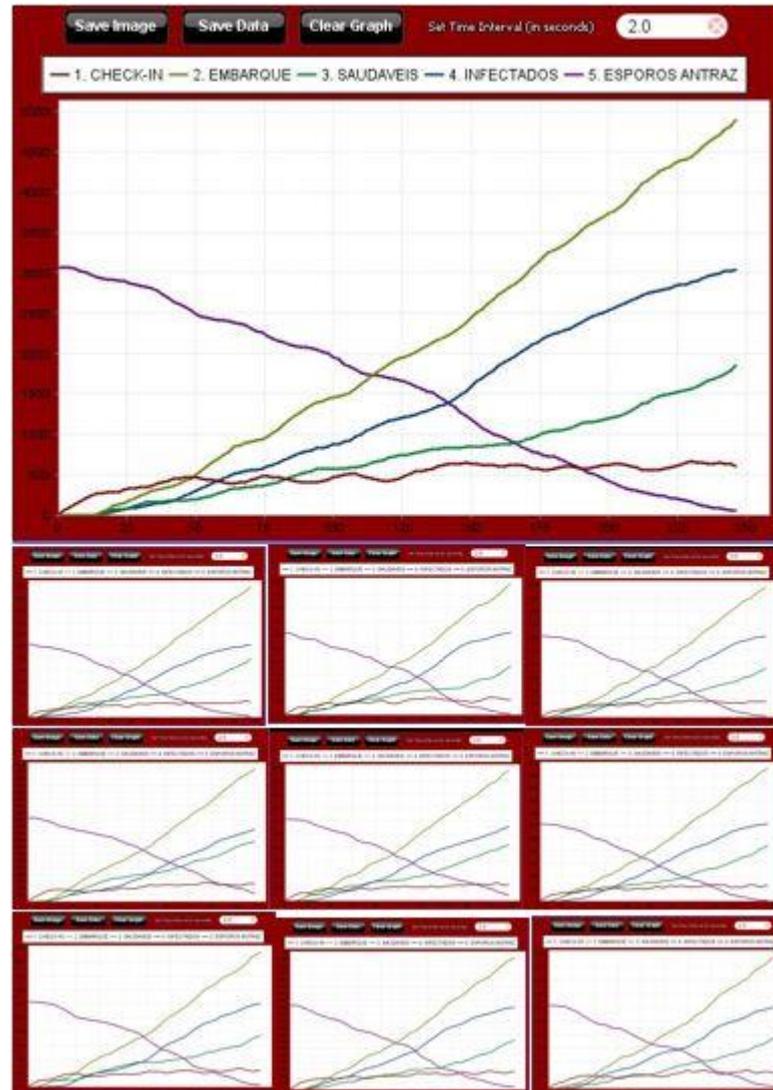


Fonte: Elaboração própria

### 5.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

O programa Star Logo nos fornece uma série de opções de gráfico em tempo real. No Gráfico 6 observamos o comportamento dos esporos de antraz, dos passageiros que estão na sala de *check-in*, o total de passageiros que embarcaram nos voos nacionais e internacionais (discriminando os infectados e os saudáveis), no período diurno. Como está sendo usada a MBA, observa-se que não existem gráficos idênticos, entretanto os resultados são bem parecidos, conforme demonstrado no resultado de dez simulações realizadas no período diurno (Tabela 7). Da mesma forma, observa-se os resultados das simulações realizadas no período noturno conforme o Gráfico 7 e a Tabela 8. Cabe salientar que os Gráficos 6 e 7 são resultados da lixeira localizada em uma posição central no cenário.

Gráfico 6 - Síntese da simulação diurna



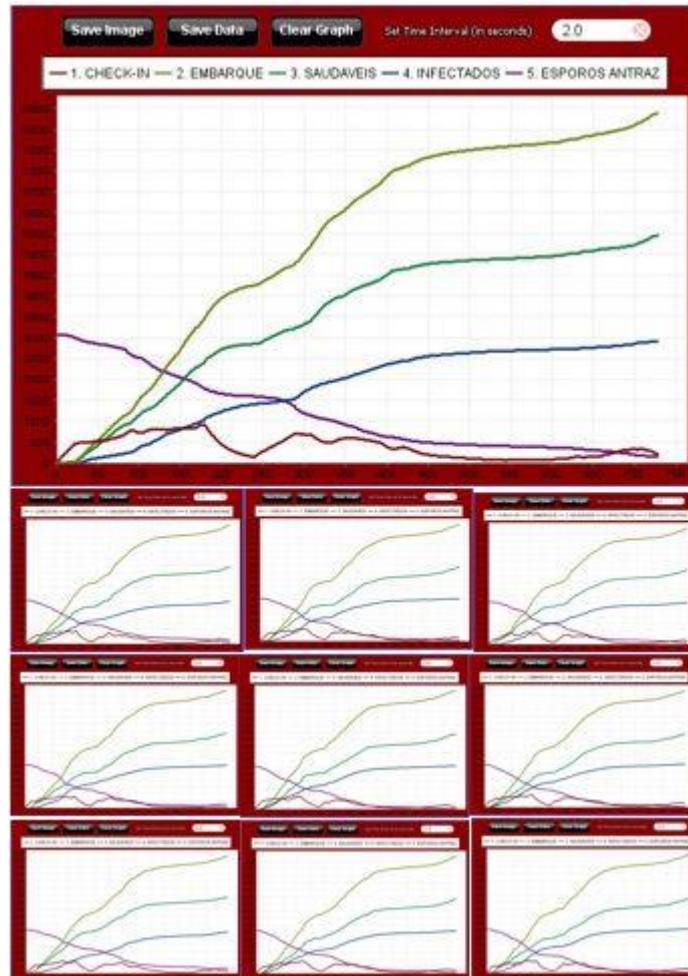
Fonte: Elaboração própria

Tabela 7 - Consolidação dos resultados da simulação diurna

| TABELA       | 1. CHECK-IN | 2. EMBARQUE | 3. SAUDDAVEIS | 4. INFECTADOS |
|--------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| 1            | 646.0       | 4710.0      | 1719.0        | 2991.0        |
| 2            | 600.0       | 4759.0      | 1900.0        | 2859.0        |
| 3            | 565.0       | 4794.0      | 1734.0        | 3060.0        |
| 4            | 598.0       | 4761.0      | 1730.0        | 3031.0        |
| 5            | 595.0       | 4764.0      | 2048.0        | 2716.0        |
| 6            | 618.0       | 4742.0      | 1799.0        | 2943.0        |
| 7            | 646.0       | 4713.0      | 2143.0        | 2570.0        |
| 8            | 590.0       | 4770.0      | 1793.0        | 2977.0        |
| 9            | 644.0       | 4715.0      | 1738.0        | 2977.0        |
| 10           | 593.0       | 4766.0      | 1794.0        | 2972.0        |
| <b>MEDIA</b> | <b>610</b>  | <b>4750</b> | <b>1840</b>   | <b>2910</b>   |

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 7 - Síntese da simulação noturna



Fonte: Elaboração própria

Tabela 8 - Consolidação dos resultados da simulação noturna

| TABELA       | 1. CHECK-IN | 2. EMBARQUE | 3. SAUDAVEIS | 4. INFECTADO |
|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 1            | 268.0       | 8330.0      | 5285.0       | 3045.0       |
| 2            | 273.0       | 8326.0      | 5418.0       | 2908.0       |
| 3            | 331.0       | 8267.0      | 5183.0       | 3084.0       |
| 4            | 303.0       | 8296.0      | 5345.0       | 2951.0       |
| 5            | 383.0       | 8216.0      | 5332.0       | 2884.0       |
| 6            | 310.0       | 8288.0      | 5295.0       | 2993.0       |
| 7            | 266.0       | 8332.0      | 5285.0       | 3047.0       |
| 8            | 289.0       | 8310.0      | 5284.0       | 3026.0       |
| 9            | 273.0       | 8326.0      | 5245.0       | 3081.0       |
| 10           | 328.0       | 8270.0      | 5178.0       | 3092.0       |
| <b>MÉDIA</b> | <b>302</b>  | <b>8296</b> | <b>5285</b>  | <b>3011</b>  |

Fonte: Elaboração própria

#### 5.4 COMPARAÇÃO DO RESULTADO DA SIMULAÇÃO COM O OBJETO DA MODELAGEM

Ao rodar a máquina correspondente ao período diurno (Gráfico 6) e (Tabela 7), ou seja de 07 as 10hs, observamos uma diminuição expressiva dos esporos de antraz na sala de *check-in*. Inicialmente, os 3066 esporos chegam-se a um dado médio de 140 esporos após 4 horas de simulação. Da mesma forma, rodando a máquina no período noturno (Gráfico 7) e (Tabela 8) os 3066 esporos chegam-se a um dado médio de 87 esporos após 12 horas de simulação. Este fato se deve a inalação dos esporos pelas pessoas somado a perdas pelas portas, quando elas são abertas para saída dos passageiros da sala de *check-in*.

A taxa de infecção diurna é calculada pela média dos que embarcaram infectados pelo número total de embarcados (Gráfico 6) e (Tabela 7). Logo, infere-se que é de, aproximadamente, 61%. Para um ataque diurno chega-se à conclusão que o horário de 07 às 10hs é mais eficaz, pois com um tempo de contaminação médio de 4hs é o período que se teria um maior número de baixas entre os civis, um total médio de 2910 infectados pelo antraz.

Por outro lado, a taxa de infecção noturna é, aproximadamente, 36.3% (Gráfico 7) e (Tabela 8). Para um ataque noturno chega-se à conclusão que o horário de 18hs de D às 5hs de D+1 é menos eficiente que o diurno apesar de maior tempo de exposição dos passageiros. Uma das surpresas da simulação é que se supunha que devido o período noturno ser de 12hs teria um maior número de baixas entre os civis, entretanto o resultado ficou próximo ao obtido no período diurno, diferença de apenas 100 indivíduos. Esse fato se deve a uma menor taxa de infecção 36,3%, comparando ao período diurno que tem taxa de infecção de 61%. Esses resultados são relevantes para informar considerações estratégicas necessárias para a avaliação da segurança de aeroportos.

A calibração de um ataque ‘contra-valor’ pelo perpetrador para maiores danos em civis é diretamente proporcional à quantidade de esporos de antraz disseminados no ambiente somados à maior velocidade do vento. Desta forma, ocorreria uma melhor disseminação dos esporos de antraz pelo cenário, que podem infectar com mais eficiência as vias respiratórias dos passageiros.

O antraz para emprego ‘contra-força’, ou seja, com o intuito neutralizar o aeroporto, já em pequenas quantidades teria-se o êxito desejado. As 20g

disseminadas no estudo de caso do Galeão já cumpriria este objetivo estratégico. Observa-se que além da sala de *check-in* que seria contaminada, teríamos ainda, os outros pisos do aeroporto contaminados. Infere-se este dado, pois o setor de embarque fica no terceiro piso, facilitando que os esporos caiam para os demais pisos, além da força do vento, por gravidade. Assim, o mais coerente para fins de mitigar o efeito da ameaça biológica é que **os setores de *check-in* nos aeroportos sejam sempre localizados no primeiro piso**. Além da neutralização do aeroporto, teria-se a contaminação de bairros da cidade do Rio de Janeiro adjacentes ao aeroporto, pois os esporos podem se deslocar por grandes áreas, sendo levados pelo vento para mais de 50 Km de distância.

Uma terceira grande motivação no emprego de um ataque com antraz é criar o pânico generalizado na população. O ataque ao Aeroporto do Galeão poderia ser um de múltiplos ataques perpetrados, dessa maneira o pesadelo de saber onde e quando seria o próximo atentado seria aterrorizante. Nenhuma outra arma tem a capacidade de infligir tamanho pânico generalizado em massa, e ainda devido ao longo período de incubação e sintomas semelhantes a doenças naturais, o perpetrador estará sempre à frente das autoridades policiais e de saúde pública brasileiras. No EUA, os ataques com antraz, após o 11/09, apesar de serem em pequena escala, com poucas pessoas infectadas, uma parcela significativa da população norte-americana ficou em pânico durante semanas. No Aeroporto do Galeão, após um ataque com antraz, as aeronaves voariam sem passageiros ou sequer iriam decolar. Talvez, as instalações aeroportuárias ficassem vários meses interditadas, além de afetar sensivelmente a rotina das companhias aéreas.

## 6. CONCLUSÃO

O uso da MBA, principalmente em sistemas sociais e biológicos abriu uma nova possibilidade para seu uso como ferramenta metodológica em outras áreas, como nos Estudos de Defesa. A MBA não substitui a MED, pois o que determina qual é o melhor método de modelagem que deverá ser usado é a análise minuciosa do problema. Entretanto, o resultado do estudo de caso realizado na dissertação evidenciou que, quando tem-se uma complexidade no cenário e, principalmente, dos recursos humanos envolvidos, a modelagem tradicional se torna muito limitada e de difícil execução.

A importância da MBA como uma nova ferramenta de análise em Estudos de Defesa é que ela é uma opção eficaz aos tradicionais métodos de análise de dados que usam os critérios de avaliação empíricos. Atualmente, são muito ligados à experiência pessoal da autoridade, função, tempo no cargo e treinamento do agente que executa a avaliação, sendo pouco ligado ao rigor científico ou a outros métodos qualitativos de avaliação. O dinamismo e complexidade existentes no cotidiano, resultado de interações entre os atores, deve ser considerada no contexto relacional entre os agentes, que muitas vezes são imprevisíveis e incontroláveis. Diante disso, questiona-se a eficácia dos métodos atuais de condução de pesquisa e análise de dados e seus pressupostos, muitos deles herdados da economia e que limitam sobremaneira as possibilidades de entendimento da realidade. Conclui-se que a modelagem baseada em agente oferece novas perspectivas de se fazer Estudos de Defesa, pois esse novo método de pesquisa e tratamento dos dados mostra-se extremamente realístico e adequado para ser empregado.

A dissertação realiza um estudo de caso do ataque com antraz em uma infraestrutura aeroportuária, o que vai ao encontro do Projeto Estratégico do Exército Brasileiro - Sistema Integrado de Proteção de Estruturas Estratégicas Terrestres - Sistema (PROTEGER) que tem por finalidade a ampliação da capacidade de atuação do Exército em ações preventivas ou de contingência na proteção da sociedade em Grandes Eventos, no apoio à Defesa Civil, na proteção ambiental e em operações de **proteção contra agentes QBRN** e contra atentados terroristas, além das operações de Garantia da Lei e da Ordem .

A proteção terá como alvo todos os terminais portuários e **aeroportuários**, termelétricas e todo tipo de projeto estratégico, estruturas que correspondem a mais

de 92% do PIB nacional. No total, são 371 locais que precisam ser permanentemente monitorados, 689 considerados de alto relevo e 13.300 classificados como de infraestrutura crítica. O PROTEGER articula-se com o Mosaico de Segurança Institucional, desenvolvido pelo Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República e com o SISBIN, os quais já desenvolvem o monitoramento das estruturas estratégicas terrestres, com vistas a oferecer ao Exército Brasileiro capacidades para uma pronta resposta eficaz contra potenciais ameaças às Estruturas Estratégicas Terrestres e para uma maior assistência à população em caso de acidentes naturais.

A **possibilidade de rever** inúmeras vezes o resultado da modelagem favorece a otimização das ações desenvolvidas em caso de um atentado real. O isolamento da área, o atendimento de emergência inicial, o confinamento dos contaminados, a descontaminação da área atingida pelo agente biológico em cenários possíveis de acontecer são exemplos dessas ações.

A **correção dos resultados** durante a modelagem proporciona um aprimoramento da resposta, além de elencar novas possibilidades que não precisam de ser incorporadas a uma nova modelagem como lição aprendida.

A modelagem do cenário possibilita à segurança do aeroporto realizar o **treinamento** de uma reação a eventos atentatórios à segurança, de forma realística. A equipe médica de plantão pode se capacitar para o imediato reconhecimento dos sintomas de ataques de agentes biológicos, como o antraz. Estas equipes devem estar equipadas adequadamente para realizar os primeiros socorros às vítimas de atentados em aeroportos.

O **custo reduzido** advém da gratuidade do software que possibilita uma nova alternativa de se visualizar os cenários. As análises de riscos são otimizadas, pois não precisa-se deslocar as equipes envolvidas na segurança até o local real onde estão sendo estudadas as ameaças.

O aprendizado acumulado com análise do cenário da modelagem possibilita melhorar a eficácia da pronta resposta, otimizar os planos de segurança e avaliação de risco. Por fim, a modelagem possibilita o **diagnóstico diferenciado não dependendo de especialistas**

Uma contaminação em um aeroporto, com agente biológico com alto grau de virulência ou mesmo desconhecido, teria imediatamente uma grande repercussão internacional. Dessa maneira, em pouco tempo poderia evoluir para um surto ou

epidemia, desde que a equipe de segurança não reconhecesse os sintomas e isolasse a área contaminada. Por isso, as atividades de inteligência devem se antecipar aos fatos pela análise de modelagem de possíveis cenários que atentem contra a segurança da instalação, como o ataque com agente biológico.

Uma nova cultura de segurança aeroportuária deve ser iniciada. A segurança aeroportuária deve ser repensada com a adoção de uma uniformização da segurança dos aeroportos em nível mundial. Isso não inibiria as medidas já adotadas, ou desconsideraria situações particulares de cada país. Dessa maneira, deixaria de haver uma rotina particular em cada aeroporto, adotando uma postura mais restritiva e proativa de acesso ao complexo aeroportuário, como é o caso do aeroporto Ben Gurion, em Israel. Por fim, as medidas de segurança devem ser dissuasórias, pois todos aqueles que atentarem contra a segurança do mesmo teriam suas intenções desmanteladas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIN, **Agência Brasileira de Inteligência**, Disponível em: < [www.abin.gov.br](http://www.abin.gov.br) >. Acesso em 07 dez 2013.

ANYLOGIC, **Anylogic**. Disponível em: < <http://www.anylogic.com> >. Acesso em 04 dez 2013.

BIOWAR, **Center for Computational Analysis of Social and Organizational Systems**, Institute for Software Research International, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2013

Disponível em: < <http://www.casos.cs.cmu.edu/index.php>>. Acesso em 02 dez 2013.

BONABEAU, E. “**Agent-Based Modelling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems**”, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA (PNAS), 2002 99(3): 7280-7287. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC128598> > Acesso em 07 dez 2013.

BOSSI, P., TEGNELL, A., BAKA, A., VAN LOOCK, F., HENDRIKS, J, 2004a, **Bichat guidelines for the clinical management of smallpox and bioterrorism-related smallpox**, Vol 9 Issue 12, Eurosurveillance, Luxemburgo.

BOSSI, P., TEGNELL, A., BAKA, A., VAN LOOCK, F., HENDRIKS, J, BOSSI, P., TEGNELL, A., BAKA, A., VAN LOOCK, F., HENDRIKS, J, 2004b, **Bichat guidelines for the clinical management of anthrax and bioterrorism-related anthrax**, Vol 9 Issue 12, Eurosurveillance, Luxemburgo.

BRASIL, **Guia de Vigilância Epidemiológica, Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde** - Departamento de Vigilância Epidemiológica, Brasília – DF, 7ª edição, Série A. Normas e Manuais Técnicos, 2009.

BUZAN, Barry e HANSEN, Lene, **The Evolution of International Security Studies**, tradução Flávio Lira – São Paulo: Ed UNESP, 2012.

CARLEY, K.M., ALTMAN, N., KAMINSKY, B., NAVE, D., e YAHJA, A., **BioWar: A City-Scale Multi-Agent Network Model of Weaponized Biological Attacks**, Technical Report). Pittsburgh, 2004, Carnegie Mellon University.

CDC, 2013a Centers for Disease Control and Prevention. **Bioterrorism**. Disponível em: <<http://www.bt.cdc.gov/bioterrorism/overview.asp>> Acesso em 20 dez 2013.

CDC, 2013b Centers for Disease Control and Prevention. **Botulism**. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/nczved/divisions/dfbmd/diseases/botulism/>> Acesso em 21 dez 2013.

CDC, 2013c Centers for Disease Control and Prevention. **Plague**. Disponível em: < <http://www.cdc.gov/plague/>> Acesso em 21 dez 2013.

CDC, 2013d Centers for Disease Control and Prevention. **Ricin**. Disponível em: < <http://emergency.cdc.gov/agent/ricin/index.asp>> Acesso em 22 dez 2013.

CDC, 2013e Centers for Disease Control and Prevention. **Smallpox**. Disponível em: < <http://emergency.cdc.gov/agent/smallpox/index.asp>> Acesso em 22 dez 2013.

CDC, 2013f Centers for Disease Control and Prevention. **Tularemia**. Disponível em: < <http://www.cdc.gov/tularemia/>> Acesso em 23 dez 2013.

CDC, 2013g Centers for Disease Control and Prevention. **Anthrax**. Disponível em: < <http://www.cdc.gov/anthrax/basics/index.html>> Acesso em 27 dez 2013.

COAFFEE, Jon, FUSSEY, Peter e MOORE, Cerwyn. **Laminated Security for London 2012: Enhancing Security Infrastructures to Defend Mega Sporting Events**, Urban Stud, 2011. Disponível em: < <http://usj.sagepub.com/content/48/15/3311>>. Acesso em 08 Jan 2014.

FUSSEY, Peter and COAFFEE, Jon. **Balancing local and global security leitmotifs: Counter-terrorism and the spectacle of sporting mega-events**, 47: 268. International Review for the Sociology of Sport, 2012. Disponível em: < <http://irs.sagepub.com/content/47/3/268>>. Acesso em 11 Jan 2014.

GREENFIELD, Kent. **The Failure of Corporate Law: Fundamental Flaws and Progressive Possibilities**. Chicago: University of Chicago, 2006. Disponível em: < [www.questia.com](http://www.questia.com) >. Acesso em 10 Jan. 2014.

HEADQUARTERS, **Treatment of Biological Warfare Agent Casualties**, Departments of the Army, the Navy, and the Air Force, and Commandant, Marine Corps, Washington, DC 17 July 2000.

HOPKINS, Johns University **Centro de Estudos de Biodefesa Civil**, EUA, 2001.

IATA, **International Air Transport Association**, Disponível em: < [www.iata.org.br](http://www.iata.org.br)>. Acesso em 10 Jan. 2014.

ICAO, **International Civil Aviation Organization**, Disponível em: < [www.icao.int/Pages/default.aspx](http://www.icao.int/Pages/default.aspx) >. Acesso em 13 Jan. 2014.

INFRAERO, **Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária**, Disponível em: < [www.infraero.gov.br](http://www.infraero.gov.br)>. Acesso em 10 Jan. 2014.

IPEA, Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas, **Sistema de Percepção Social (Sips)**. Disponível em: < [www.ipea.gov.br](http://www.ipea.gov.br) > Acesso em 10 Jan. 2014.

JOHN, Peter. **Air Piracy, Airport Security, and International Terrorism: Winning the War against Hijackers**. New York: Quorum, 1991. Disponível em: < [www.questia.com](http://www.questia.com) >. Acesso em 12 Jan. 2014.

KELLMAN, Barry. **Bioviolence, Preventing Biological Terror e Crime**. Cambridge University Press, EUA, 2007.

KERMACK, W. e MCKENDRICK, A., **A contribution to the mathematical theory of epidemics**. Proceedings of the Royal Society of London Series. A Mathematical and Physical Sciences, A115: 700–721, 1927.

LAWRENCE, M. Wein e YAFAN, Lui. **Analyzing a bioterror attack on food supply: The case of botulinum Toxin in Milk**, Edited by Barry R. Bloom, Harvard University, Boston, MA, and approved April 20, 2005 Disponível em: < <http://www.pnas.org/content/102/28/9984.full> > Acesso 12 dez 2013.

LIPPERT, Randy, e O'CONNOR, Daniel. "**Security Assemblages: Airport Security, Flexible Work, and Liberal Governance.**" **Alternatives: Global, Local, Political** 28.3 (2003): 331+. Disponível em: < [www.questia.com](http://www.questia.com) >. Acesso em 15 Jan. 2014.

MACAL, Charles M. e NORTH, Michael J. , **Introduction to Agent-based Modeling and Simulation, Center for Complex Adaptive Agent Systems Simulation (CAS2)**, Decision & Information Sciences Division, Argonne National Laboratory, Argonne, IL 60439 USA, November 29, 2006.

NEPOMUCENO, E. Geraldo, **Dinâmica, Modelagem e Controle de Epidemias**, Tese de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

NETLOGO, **Netlogo**. Disponível em: < <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/index.shtml> >, Acesso em 04 dez 2013.

NETO, Ibrahim Abdul Hak. **Armas de destruição em massa no século XXI: novas regras para um velho jogo – O paradigma da Iniciativa de Segurança contra a Proliferação (PSI)**. Brasília-DF: Fundação Alexandre Gusmão, 2011.

PARAYITAM, Satyanarayana, KIRAN, Desai, MAYUR, S. Desai, e MARY, K. Eason, **Teaching the Ishikawa's "Fishbone" as a Planning Tool: Responsibility and Action Planning Matrices Applied to Airport Security and Network Security**. Indianapolis: Wiley, 2009. Disponível em: < [www.questia.com](http://www.questia.com) >. Acesso em 13 Jan. 2014.

RANUM, Marcus J., **The Myth of Homeland Security**, 2004. Disponível em: < [www.questia.com](http://www.questia.com) >. Acesso em 13 Jan. 2014.

RBI, **Revista Brasileira de Inteligência**. Agência Brasileira de Inteligência. Vol. 2, n. 3 (set. 2006) – Brasília: ABIN, 2006

REPAST, **Repast Agent Simulation Toolkit**. Disponível em: < <http://repast.sourceforge.net/> >, Acesso em 07 dez 2013.

SAKURADA, Nelson e MIYAKE, Dario Ikuo, **Modelagem baseada em agentes (SBA) para modelagem de Sistemas de operações**, Anais do Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais – SIMPOI, FGV-EAESP, 2009.

SAMUELSON, D.A. **Agents of Change: How agent-based modeling may transform social science.** OR/MS Today. Vol 32. No 1. 2005. Disponível em: <<http://www.orms-today.org/orms-2-05/fragments.html>>. Acesso em 04 dez 2013.

SAMUELSON, D.A. e MACAL, C.M. **Agent-Based Simulation Comes of Age: Software opens up many new areas of application.** OR/MS Today. Vol 33. No 4. 2006. Disponível em: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/orms-8-06/agent.htm>>. Acesso em 08 dez 2013.

SOZI, Johny Leonard. **An Economic Analysis of Airport Baggage Routing and Airline Security**, Thesis submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, Baltimore County, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Sciences in Information Systems. 2011

STARLOGO TNG, **Star Logo TNG**, Disponível em: <<http://education.mit.edu/projects/starlogo-tng>>. Acesso em 08 dez 2013.

STEW, Magnuson. **Tunnel of Truth**, National Defense, Security Beat, 2008.

SWAIN, J.J. **New Frontiers in Simulation: Biennial survey of discrete-event simulation software tools.** OR/MS Today. Vol 34. Nº 5. 2007. Disponível em: <<http://www.orms-today.org/orms-10-07/frsurvey.html>>. Acesso em 04 dez 2013.

SWARM, **Swarm Development Group**. Disponível em: <<http://savannah.nongnu.org/projects/swarm>>, Acesso em 07 Dez 2013.

TAYLOR, Courteney L. **"Touched by an Agent: Why the United States Should Look to the Rest of the World for a New Airport Security Scheme and Stop Using Full-Body Scanners."** Houston Journal of International Law 35.2 (2013): 503+. Disponível em: <[www.questia.com](http://www.questia.com)>. Acesso em 09 Jan. 2014.

WALLIS, Rodney. **How Safe Are Our Skies? Assessing the Airlines' Response to Terrorism.** Westport, CT: Praeger, 2003. Disponível em: <[www.questia.com](http://www.questia.com)>. Acesso em 19 Jan. 2014.

WEBB, G.F., and Blaser, M.J., **Mailborne Transmission of Anthrax: Modeling and Implications**, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **99(10)**:7027-32, 2002.

WHO, **World Health Organization. Public health response to biological and chemical weapons.** WHO guidance - 2nd ed., ISBN 92 4 154615 8, First edition, 1970, Second edition, 2004.

ZIMBRES, Rubens de Almeida, **Modelagem Baseada em Agentes: uma Terceira Maneira de se Fazer Ciência?**, 30º Encontro da ANPAD ( Associação Nacional de Pós- Graduação e Pesquisa em Administração), 2006 Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/enanpad/2006/dwn/enanpad2006-epqa-1446.pdf>> Acesso em 19 Jan. 2014.