**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Movimentação de bovinos no Mato Grosso do Sul e implicações econômicas
de potenciais surtos de febre aftosa**

Taís Cristina de Menezes

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada

**Piracicaba
2018**

Taís Cristina de Menezes
Bacharela em Ciências Econômicas

**Movimentação de bovinos no Mato Grosso do Sul e implicações econômicas de
potenciais surtos de febre aftosa**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:

Profa. Dra. **SÍLVIA HELENA GALVÃO DE MIRANDA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Menezes, Taís Cristina de

Movimentação de bovinos no Mato Grosso do Sul e implicações econômicas de potenciais surtos de febre aftosa / Taís Cristina de Menezes. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2018.

167 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Febre aftosa 2. Impactos econômicos 3. Guia de trânsito animal 4. Análise de redes socioeconômicas I. Título

DEDICATÓRIA

A todos aqueles que nunca
se permitiram desistir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, Lúcia e José Maurício, e à minha irmã, Tatiana, não apenas pelo apoio e pelo conforto nos momentos difíceis do mestrado, mas também por nunca terem medido esforços para que eu tivesse a melhor formação possível. Obrigada pelo amor incondicional e por nunca terem deixado que eu desistisse. Eu não teria chegado até aqui se não fossem vocês. Agradeço também a todos aqueles da minha família que sempre torceram pelo meu sucesso e me apoiaram, em especial, às minhas tias Lena, Vanda e Vera.

Agradeço ao Rodrigo, que aos poucos entrou na minha vida, me confortou nos momentos difíceis e comemorou junto comigo cada passo adiante que eu dava. Obrigada por todo o carinho, ajuda e paciência, principalmente nos momentos finais deste trabalho. Obrigada pelas contribuições e pelas incontáveis noites que me escutou falar sobre a dissertação. Obrigada por me acalmar nos momentos de desespero.

Agradeço à minha orientadora, professora Sílvia Miranda. Não há palavras para descrever a gratidão por ter sido sua orientada. Foi uma honra. Obrigada por todas as oportunidades que me proporcionou, pela enorme paciência comigo, por toda a ajuda e orientação ao longo deste trabalho. Obrigada por não ter desistido de mim, mesmo nos momentos em que eu fraquejei. Obrigada por confiar em mim e permitir que eu fizesse parte de sua equipe de trabalho. Obrigada por sempre ter sido tão compreensiva e ter me escutado quando eu precisava conversar. Obrigada por ser uma professora e amiga tão extraordinária.

Agradeço à professora Ivette Luna, minha coorientadora. Apesar de o nosso vínculo ter sido extraoficial, nossa relação nunca foi. Obrigada, primeiramente, por ter me acolhido de braços abertos quando eu enviei aquele primeiro email pedindo ajuda, e depois por ter se disposto a me orientar, junto com a professora Sílvia, ainda que seu nome não viesse na capa deste trabalho. Obrigada por todas as contribuições, pelos conselhos e pelas inúmeras discussões sobre redes. Obrigada pela paciência. Obrigada por ter se tornado mais que uma orientadora, uma amiga.

Agradeço ao professor José Grisi e ao Daniel Magalhães, que me receberam de prontidão na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, que me ajudaram e sanaram minhas dúvidas a qualquer momento que fosse. Obrigada por todas as contribuições na qualificação e ao longo de todo o processo de construção deste trabalho. Ao professor Grisi, agradeço também pelas contribuições durante a defesa.

Agradeço à Cristiane Ogino, uma grande amiga que o mestrado me deu. Obrigada pelo apoio emocional, pela companhia durante as intermináveis horas de estudo no primeiro ano, pelo

companheirismo. Obrigada por me escutar nos momentos de ansiedade e por ter confiado em mim nos seus momentos de angústia também.

Agradeço à Graziela Correr. Deixamos de ser apenas colegas de trabalho e nos tornamos amigas, companheiras, confidentes. Obrigada, não somente pelas contribuições para a dissertação, mas por todos os conselhos, pela paciência e pelo carinho. Você me ajudou a ser uma pessoa e uma profissional melhor.

Agradeço à equipe do Cepea, que me proporcionou experiências inestimáveis, me auxiliou com dados e ofereceu inúmeras contribuições para a dissertação. Em especial, agradeço ao professor Sérgio De Zen, à Gabriela Ribeiro, à Camila Ortelan, ao Giovanni Penazzi, à Regina Mazzini, à Ana Paula Negri, ao Rildo Moreira, ao Caio Monteiro e à Mariane Crespolini.

Agradeço à IAGRO por ter me recebido em Campo Grande e por fornecer dados muito importantes para este trabalho. Agradeço também ao Elvio Cazola, chefe do Serviço de Saúde Animal da superintendência do MAPA no Mato Grosso do Sul, pela disposição em me receber e em fornecer dados para este trabalho.

Agradeço ao Cepea e ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento pelo fornecimento dos dados das Guias de Trânsito Animal.

Agradeço ao Cnpq e à Capes pela bolsa de mestrado em 2016 e 2017, respectivamente.

Agradeço ao Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Saúde Animal pela bolsa nos últimos meses de elaboração deste trabalho.

Agradeço aos professores Antônio Márcio Buainain e Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho pelas contribuições na defesa.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE GRÁFICOS.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. DEFINIÇÃO DA FEBRE AFTOSA.....	19
2.2. EPIDEMIOLOGIA DA FEBRE AFTOSA	24
2.3. IMPACTOS ECONÔMICOS DA FEBRE AFTOSA.....	34
2.4. DESAFIOS E RISCOS	51
3. METODOLOGIA.....	59
3.1. REDES SOCIOECONÔMICAS.....	59
3.2. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS ECONÔMICOS DE UM SURTO DE FEBRE AFTOSA	64
4. A PECUÁRIA BOVINA NO MS E SUA REDE DE MOVIMENTAÇÃO DE ANIMAIS	69
4.1. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DO REBANHO	69
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA MOVIMENTAÇÃO DE ANIMAIS	70
4.3. REDES DE MOVIMENTAÇÃO DIÁRIA DE ANIMAIS NO MATO GROSSO DO SUL.....	80
4.4. SIMULAÇÃO DE UM EVENTUAL PROCESSO DE DIFUSÃO DE FEBRE AFTOSA NO MATO GROSSO DO SUL.....	89
5. HISTÓRICO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS DO SURTO DE FEBRE AFTOSA DE 2005/2006 NO MS	105
5.1. EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS	105
5.2. EXPORTAÇÕES SUL-MATO-GROSSENSSES.....	113
5.3. PREÇOS INTERNOS.....	128
5.4. GASTOS.....	138
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	141
REFERÊNCIAS.....	147
ANEXOS.....	161

RESUMO

Movimentação de bovinos no Mato Grosso do Sul e implicações econômicas de potenciais surtos de febre aftosa

O presente trabalho busca analisar a dinâmica econômica dos fluxos da pecuária bovina no Mato Grosso do Sul (MS) e identificar sua distribuição geográfica dentro do estado. Dado que as barreiras sanitárias e técnicas constituem, atualmente, alguns dos principais obstáculos ao comércio internacional, o conhecimento sobre as características dessa dinâmica e a identificação dos municípios centrais na pecuária do estado permitem analisar o processo de difusão da febre aftosa no MS em um eventual de surto da doença. Dessa forma, foram identificadas as áreas de maior risco de ocorrência e de potenciais maiores impactos econômicos. A metodologia aplicada consiste na análise de redes socioeconômicas, construídas a partir das Guias de Trânsito Animal registradas no estado em 2014 e 2015. Verificou-se que a movimentação dentro do MS se traduz em redes fortemente conectadas, o que poderia resultar em uma alta velocidade de difusão da doença no território. Os municípios de Campo Grande, Corumbá e Ribas do Rio Pardo mostraram-se os mais centrais nesse processo, pois recebem e enviam muitos animais para outros municípios, além de atuarem como intermediadores de fluxos animais dentro das redes de movimentação. Por conta do fornecimento de animais para outros estados, a difusão pode ocorrer a nível nacional, elevando os impactos econômicos da doença. Nesse sentido, foram estimadas as perdas de exportação e custos de controle do último surto de febre aftosa ocorrido no MS, em 2005/2006. As exportações do estado recuaram 81% em 2006, com relação ao ano anterior. A partir do modelo teórico de simulação e das estimativas de custos do último surto, conclui-se que, diante de uma potencial difusão de febre aftosa, com origem no MS, os impactos diretos na pecuária bovina seriam significativos, o que torna indispensável a promoção de estudos sobre impactos e riscos da entrada e difusão da doença no país, de modo a otimizar a alocação de recursos em termos de sua prevenção e, em caso de crise, no Plano de Emergência.

Palavras-chave: Febre aftosa; Impactos econômicos; Guia de trânsito animal; Análise de redes socioeconômicas

ABSTRACT

Bovine cattle movement in Mato Grosso do Sul state and economic implications of potential outbreaks of foot-and-mouth disease

This work seeks to analyze the economic dynamics of cattle flows in Mato Grosso do Sul (MS) state and to identify their geographic distribution within the state. Given that sanitary and technical barriers are currently some of the main obstacles to international trade, knowledge about the characteristics of this dynamics and the identification of central municipalities in terms of livestock flows allow analyzing the diffusion process of the foot-and-mouth disease in MS in a possible outbreak. In this way, the municipalities with the greatest risk of occurrence and potential economic impacts were identified. The applied methodology consists on socioeconomic network analysis, constructed from the Animal Transit Guides registered in MS in 2014 and 2015. The cattle movement within MS produces heavily connected networks, which could result in a high-speed dissemination of the disease in the territory. The municipalities of Campo Grande, Corumbá and Ribas do Rio Pardo were the most central in this process, since they receive and send many animals to other municipalities, besides acting as intermediaries of animal flows within the movement networks. Due to the supply of animals to other states, the diffusion can occur at a national level, raising the economic impacts of an outbreak. In this sense, the export losses and the costs of emergence to control last FMD outbreak in MS, in 2005/2006, were estimated. The State exports declined 81% in 2006, compared to the previous year. Considering the theoretical model of simulation and the costs and losses estimated for the last outbreak, we conclude that a potential diffusion of the FMD, originating in MS, might generate significant direct impacts on livestock. This conclusion highlights how essential it is to promote studies about the impacts and risks of the FMD entry and diffusion in Brazil, in order to optimize the allocation of resources to prevention strategies and, in case of an outbreak, to implement the Emergency Plan.

Keywords: Foot-and-mouth disease; Economic impacts; Animal traffic guide; Social network analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Status global da febre aftosa de acordo com a OIE incluindo surtos em zonas livres entre janeiro de 2005 e janeiro de 2016.....	23
Figura 2 - América do Sul: status da febre aftosa nos países membros da OIE (atualizado em dezembro de 2017)	23
Figura 3 - Representação geográfica do Estado do Mato Grosso do Sul, com destaque para a ZAV	51
Figura 4 - Distribuição do rebanho bovino no Mato Grosso do Sul, em número de animais: 2014 e 2015	69
Figura 5 – Total mensal de animais movimentados em 2014 e 2015 conforme GTAs emitidas no MS	76
Figura 6 - Composição de animais por finalidade na movimentação mensal de bovinos no MS: 2014 e 2015	77
Figura 7 - Mapa do Mato Grosso do Sul dividido em sistemas naturais.....	80
Figura 8 - Evolução temporal da densidade da rede de movimentação de bovinos no MS: 2014 e 2015	81
Figura 9 - Grau de entrada ponderado (<i>weighed indegree</i>) para o fluxo de bovinos em municípios do Mato Grosso do Sul: 2014 e 2015	83
Figura 10 - Grau de saída ponderado (<i>weighed outdegree</i>) para o fluxo de bovinos em municípios do Mato Grosso do Sul: 2014 e 2015	85
Figura 11 - Centralidade de intermediação (<i>betweenness</i>) para o fluxo de bovinos em municípios do Mato Grosso do Sul: 2014 e 2015	86
Figura 12 - Representação das redes diárias de movimentação de bovinos no MS, 2015	88
Figura 13 – Simulação do percentual de animais afetados por mês diante de um surto de febre aftosa (com e sem animais para abate): Mato Grosso do Sul, 2015. Cenário: 3 dias de defasagem	91
Figura 14 – Simulação do total de municípios infectados diante de um surto de febre aftosa (com e sem animais para abate): Mato Grosso do Sul, 2015. Cenário: 3 dias de defasagem ..	93
Figura 15 - Simulação do percentual de animais afetados por mês diante de um surto de febre aftosa (com e sem animais para abate): Mato Grosso do Sul, 2015. Cenário: 7 dias de defasagem	95
Figura 16 - Simulação do total de municípios infectados diante de um surto de febre aftosa (com e sem animais para abate): Mato Grosso do Sul, 2015. Cenário: 7 dias de defasagem ..	96

Figura 17 - Curvas de difusão mensal no MS para simulações de focos iniciados em Corumbá e Sete Quedas, com base em dados de 2015	100
Figura 18 - Curvas de difusão anual no MS simulações de focos iniciados em Corumbá e Sete Quedas, 2015.....	101
Figura 19 - Principais importadores de carne bovina <i>in natura</i> desossada do MS: 2004-2009	120
Figura 20 - Principais importadores de carne bovina <i>in natura</i> com osso do MS: 2004-2009	122
Figura 21 - Principais importadores de carne industrializada do MS: 2004-2009.....	124
Figura 22 - Principais importadores de miúdos do MS: 2004-2009	125
Figura 23 - Principais importadores de tripas do MS: 2004-2009.....	127
Figura 24 - Preço médio do boi gordo (R\$/arroba) em SP e MS: janeiro/1999 a dezembro/2010.....	132
Figura 25 - Índices de estacionalidade e sazonalidade do preço do boi gordo nos estados de SP e MS: 1999-2010.....	133
Figura 26 - Preço médio do bezerro (R\$/cabeça) em SP e MS: janeiro/1999 a dezembro/2010	135
Figura 27 - Índices de estacionalidade e sazonalidade do preço do bezerro nos estados de SP e MS: 1999-2010	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de bovinos enviados e recebidos pelo MS de outros estados: 201473

Tabela 2 - Quantidade de bovinos enviados e recebidos pelo MS de outros estados: 201574

Tabela 3 - Estatísticas descritivas do número de animais movimentados por guia de trânsito:
Mato Grosso do Sul: 201475

Tabela 4 - Estatísticas descritivas do número de animais movimentados por guia de trânsito:
Mato Grosso do Sul: 201575

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Exportações de produtos cárneos bovinos (em volume): Brasil, outubro/2004 a setembro/2006.....	107
Gráfico 2 - Market-share dos seis principais importadores de carne bovina e derivados no total exportado pelo Brasil: 2003-2010.....	108
Gráfico 3 - Exportações do Brasil e importações mundiais de produtos cárneos de origem bovina (em volume): 1997-2017.....	109
Gráfico 4 - Índice de preço da carne bovina exportada pelo Brasil e índice de preço da carne mundial calculado pela FAO: janeiro/2004 a dezembro/2009*.....	111
Gráfico 5 - Preço médio de exportação da carne <i>in natura</i> desossada (US\$/tonelada): Brasil, outubro/2004 a setembro/2006.....	112
Gráfico 6 - Exportações de produtos cárneos de origem bovina (em mil toneladas): MS, 1997-2017.....	113
Gráfico 7 - Exportações de produtos cárneos de origem bovina (em US\$ milhões): MS, 1997-2017.....	114
Gráfico 8 - Exportações de produtos cárneos de origem bovina (em mil toneladas): MS, outubro/2004 a setembro/2006.....	115
Gráfico 9 - Market-share dos seis principais importadores de carne bovina e derivados no total exportado (em volume): MS, 2003-2017.....	116
Gráfico 10 - Variação do preço médio das exportações de carne <i>in natura</i> desossada, em R\$/Kg e US\$/Kg: MS, janeiro/2003 a dezembro/2010	117
Gráfico 11 - Preço médio de exportação da carne bovina <i>in natura</i> desossada (em US\$/tonelada): MS e Brasil, janeiro/2003 a dezembro/2010	117
Gráfico 12 - Variação em relação ao mês anterior do preço da carne bovina em SP: nov/2005-dez/2006.....	130
Gráfico 13 - Preço médio mensal da carne bovina em SP (R\$/Kg): janeiro/2005 a dezembro/2008.....	131
Gráfico 14 - Abate de matrizes bovinas e preço do bezerro: 2000-2010.....	137

1. INTRODUÇÃO

A expansão do comércio internacional associada à intensificação das negociações bilaterais e regionais entre diferentes países provocou um aumento dos requisitos para liberalização do comércio, principalmente no que se refere aos mercados agrícolas. A abertura comercial promovida por diversos países no setor agroindustrial, a partir dos anos 1990, foi facilitada pelos avanços tecnológicos e pela firmação de acordos, mas, ao mesmo tempo, intensificou o estabelecimento de medidas não tarifárias, particularmente de natureza sanitária – cujos efeitos nem sempre são transparentes e facilmente mensuráveis – devido ao crescimento da importância dada a questões de saúde humana e animal. Assim como as medidas tarifárias, as exigências de natureza técnica e sanitária podem restringir a entrada de bens importados e reduzir os fluxos de comércio entre países.

O Acordo sobre Medidas Sanitárias e Fitossanitárias (SPS) da Organização Mundial do Comércio (OMC) define princípios e normas que devem balizar a adoção de medidas SPS pelos países membros da OMC, estabelecendo princípios que devem ser seguidos para a proteção dos territórios, rebanhos e cultivos. No entanto, tais medidas são potencialmente uma barreira significativa às exportações de produtos agropecuários, principalmente para os países em desenvolvimento, seja pelo uso indevido dessas exigências por países mais ricos, seja pelos gargalos tecnológicos ou de estrutura administrativa existente nos países exportadores, que acabam por dificultar seu ajustamento aos requisitos e padrões sanitários e fitossanitários dos países desenvolvidos. Em especial, carnes e produtos derivados são tipicamente sujeitos a extensivos controles, como rígidos requisitos microbiológicos e de saúde animal. O Acordo permite que os países tomem individualmente medidas legítimas para proteger a vida e a saúde dos consumidores, plantas e animais, baseadas no nível de risco que considerem “apropriado”, desde que tais medidas possam ser justificadas cientificamente e não impeçam o comércio desnecessariamente – o que nem sempre acontece (HENSON; LOADER, 2001).

Um dos setores mais frequentes no processo de regulamentação dos países que comercializam no mercado internacional é o da produção de carne bovina e tal padrão evidencia-se no número de notificações que os países registram junto ao comitê do Acordo SPS. Dentre os temas mais recorrentes encontra-se a febre aftosa. Barros et al. (2002) mostram que um terço das notificações sobre saúde animal feitas na OMC, junto ao comitê, são relacionadas à doença. A febre aftosa é, inclusive, normatizada na Organização Mundial de Saúde Animal (OIE), com orientações de procedimentos tanto para obter status sanitários

de países ou regiões livres, quanto para instruir sobre procedimentos preconizados diante da ocorrência de focos da doença (OIE, 2016a).

No intuito de evidenciar a importância de crises sanitárias decorrentes da presença de eventuais focos da febre aftosa, em um país exportador da magnitude do Brasil, este trabalho tem como objetivo final simular e analisar os efeitos potenciais de uma dispersão da febre aftosa. Assim, selecionou-se o estado do Mato Grosso do Sul para este exercício de simulação, discutindo seus impactos econômicos sobre a economia regional e, considerando sua relevância na pecuária nacional, também nesse âmbito. Para tanto, emprega-se uma análise baseada em redes socioeconômicas, construídas a partir de registros de Guias de Trânsito Animal (GTA), dado oficial de controle da circulação de animais dentro dos estados e entre eles.

Desde 2004, o Brasil ocupa o primeiro lugar no ranking dos maiores exportadores mundiais de carne bovina (em volume) e, desde 2007, supera a Austrália – antes o maior exportador mundial – em termos de valor também, atendendo à demanda de mais de 200 países (USDA, 2017). No ano de 2016, as exportações brasileiras de carne bovina – que compreendem desde carcaças, passando por cortes refrigerados e congelados, até o *corned beef*, um tipo de carne industrializada enlatada – somaram 1,076 milhão de toneladas, correspondendo a US\$4,345 bilhões (MDIC, 2017). Ainda em 2016, foram abatidas 29,7 milhões de cabeças (IBGE, 2017b) e exportados 292.554 animais vivos; as exportações de carne bovina somaram 1,08 milhão de toneladas em 2016 (MDIC, 2017). No mesmo ano, em termos de valor absoluto, o Produto Interno Bruto (PIB) da bovinocultura de corte no Brasil foi de R\$200,4 bilhões (CEPEA, 2017).

Nesse contexto, a região Centro-Oeste destaca-se, apresentando a maior concentração do rebanho e do abate de bovinos nacionais. Em 2016, a região possuía 34,4% do total do rebanho bovino brasileiro e a sua parcela de abate representou 36% do total de animais abatidos no mesmo ano, sendo superior à taxa de abate das demais regiões do Brasil. A importância da região Centro-Oeste, em volume de produção, destaca-se também por seu foco no mercado internacional. Ainda em 2016, o Mato Grosso do Sul (MS) respondeu por 29% do rebanho do Centro-Oeste e por 31% do total de animais abatidos. Apesar de representar apenas 10% do rebanho e 11% do abate nacionais, o MS é um importante fornecedor de bezerras e bois magros para outros estados brasileiros (IBGE, 2017a).

O MS divide fronteira com o Paraguai e com a Bolívia, dois países em que a pecuária consiste em uma atividade econômica relevante, bem como com outras unidades da federação que se destacam na pecuária de corte, de leite ou em ambas, quais sejam, Mato Grosso, Goiás,

Minas Gerais, São Paulo e Paraná. Um fator que contribuiu também para sua escolha na presente análise é a disponibilidade dos dados de fluxos de animais, registrados nas Guias de Trânsito Animal, que descrevem idade, sexo, origem e destino dos animais, assim como a finalidade pela qual os mesmos foram movimentados dentro ou fora do estado (para abate, engorda, leilão, exposição, melhoramento).

A bovinocultura de corte é umas das atividades com maior peso no PIB do agronegócio desse estado. Em 2016, o estado ficou em segundo lugar no ranking dos maiores produtores nacionais de carne bovina e em quinto lugar entre os estados brasileiros que mais exportaram este produto, representando 11% da produção e 9% das exportações brasileiras de carne bovina (FAMASUL, 2016).

A produção de bovinos no MS é importante também para os estados vizinhos, dado que as estatísticas de circulação dos animais (as GTAs) de 2014, por exemplo, indicam que, naquele ano, o estado enviou cerca de 412.200 animais para outras unidades da federação; sendo que 90% destinaram-se a São Paulo. Dessa forma, todos os fatores elencados demonstram o papel relevante do estado para a cadeia pecuária brasileira.

Como citado anteriormente, dada a natureza da carne bovina e de seus derivados, esses produtos são sujeitos a restrições sanitárias e técnicas para importação em todos os países que comprem, com vistas à proteção de seus consumidores e rebanhos. Uma das causas dessas medidas que são frequentemente impostas sobre a importação de produtos da pecuária bovina é o risco de entrada do vírus da febre aftosa e da ocorrência de surtos da doença. A febre aftosa – doença altamente infecciosa que atinge bovinos, suínos e outras espécies de casco bipartido – preocupa as autoridades veterinárias no mundo todo, devido à alta velocidade de transmissão do vírus e aos seus impactos sociais e econômicos. Suas perdas não apenas são diretas, mas também indiretas, decorrentes dos desdobramentos dos focos, cujos impactos podem se propagar durante meses.

O risco de entrada do vírus é potencializado pela extensão da fronteira internacional, o que faz com que o MS seja um estado importante na verificação desse risco, já que faz fronteira com o Paraguai e com a Bolívia e há relatos de movimentação ilegal de animais na fronteira entre o estado e os outros países. O MS já registrou focos anteriormente, sendo o mais recente em 2005-2006, atingindo o Paraná também. Essa disseminação do MS para outros estados pode acontecer de forma rápida, devido à significativa movimentação de animais desse estado para o resto do país. O rebanho do MS é um dos maiores do Brasil e, por isso, é imprescindível identificar o padrão de dispersão potencial da doença, dado que quanto

mais rápida for sua identificação, mais ágil a adoção de medidas de contenção e menores serão os prejuízos.

Devido à importância da cadeia pecuária na economia do estado e do país, é indispensável realizar estudos que respaldem os planos e ações governamentais no sentido de fortalecer o sistema de sanidade visando a proteção desse setor. Existem diversos trabalhos, abordando esse tipo de questão por meio de diferentes metodologias, em vários países no mundo todo, como, por exemplo, Mahul e Durand (2000), Garner e Beckett (2005), Shankar et al. (2012) e Young et al. (2016).

Para o Brasil, na literatura científica econômica, ainda há poucos estudos; alguns foram motivados pela última ocorrência de febre aftosa, justamente no estado do MS, em 2005 e 2006, como o de Garcia et al. (2015). Estes trabalhos evidenciam os efeitos econômicos e sociais significativos decorrentes dos focos de febre aftosa, que atingiram não somente os pecuaristas e a economia regional nas áreas diretamente afetadas, mas se propagaram macroeconomicamente, via redução nas exportações e prejuízos à imagem do produto brasileiro, por muitos meses. Apesar da relevância desse tema, esta área ainda carece de estudos, principalmente aqueles que agreguem elementos epidemiológicos da doença à construção de cenários de choques econômicos.

O Plano de Ação para Febre Aftosa estabelecido em 2009 pelo MAPA destaca algumas medidas de prevenção e profilaxia contra a febre aftosa, incluindo a vacinação com vírus inativado; a proteção de zonas livres da enfermidade, por meio de controle e vigilância da movimentação de animais; a desinfecção de locais e materiais contaminados; o sacrifício de animais infectados e de animais suscetíveis à doença que entraram em contato com infectados; a destruição dos cadáveres e produtos derivados de animais suscetíveis na zona infectada; e medidas de quarentena, que estejam de acordo com o Código Sanitário para Animais Terrestres da Organização Mundial de Saúde Animal (OIE) (MAPA, 2009). De fato, a OIE não somente especifica os procedimentos para prevenir e controlar a doença, como também para que os países ou regiões tenham reconhecimento de *status* de livre (com ou sem vacinação), razão pela qual, para países exportadores, principalmente, é fundamental alinhar-se com suas normas.

Em março de 2017, o MAPA lançou o Plano Estratégico do Programa Nacional de Febre Aftosa (PNEFA) 2017-2026, cujo principal objetivo é criar e manter condições sustentáveis para garantir o *status* de país livre da doença e ampliar as zonas livres de febre aftosa sem vacinação, a partir de um cronograma com duração de 10 anos para a retirada da vacinação em todo o país (MAPA, 2017). Essa proposta torna ainda mais premente a

necessidade de se realizarem estudos para o Brasil com vistas a identificar os riscos econômicos (além dos sanitários) e analisar cenários de potenciais efeitos das mudanças no *status* sanitário dos estados e do país. O Mato Grosso do Sul, pela sua localização e seu peso no rebanho nacional, assim como pela grande movimentação de animais dentro e fora do estado, assume papel de destaque nesse âmbito de análise.

Dessa forma, este trabalho busca examinar a dinâmica econômica dos fluxos na pecuária no MS e identificar sua distribuição geográfica dentro do estado. O foco deste estudo nessa unidade da federação se dá não somente pela sua importância econômica na pecuária nacional, mas também por sua localização estratégica sob a ótica sanitária. Dado que as barreiras sanitárias constituem, atualmente, alguns dos principais impedimentos ao comércio internacional de produtos animais, o conhecimento sobre as características desta dinâmica e a identificação dos municípios centrais na pecuária estadual permitem analisar o processo de difusão da febre aftosa no MS em uma situação eventual de foco da doença. Pretende-se, dessa maneira, identificar as áreas de maior risco de infecção e as áreas suscetíveis de maiores impactos econômicos – tanto a nível estadual como nacional – caso infectadas com a doença.

A dissertação está estruturada em seis capítulos, sendo o primeiro esta introdução, com apresentação dos objetivos. O segundo aborda a febre aftosa e seus impactos, além de explorar os modelos epidemiológicos e estudos já realizados no mundo, assim como os riscos e desafios relacionados à doença. No capítulo seguinte, é descrita a metodologia utilizada no trabalho. O quarto capítulo apresenta uma caracterização da produção pecuária suscetível à febre aftosa, no MS, indicando a distribuição regional do rebanho e discutindo os sistemas de produção e de defesa agropecuária no estado; também apresenta simulações preliminares para um potencial surto de febre aftosa no MS e seus impactos econômicos. No quinto capítulo, são discutidos alguns impactos econômicos da febre aftosa para o MS, principalmente decorrentes do surto de 2005. O trabalho encerra-se, então, com algumas considerações sobre o problema e conclusões da dissertação no sexto capítulo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Definição da febre aftosa

A febre aftosa é uma doença infectocontagiosa de tipo vesicular causada pelo vírus da família *Picornaviridae* do gênero *Aphtovirus*, que afeta animais biungulados (de casco fendido), sendo que os bovinos, bubalinos, ovinos, caprinos, suínos e todos os ruminantes e suídeos selvagens são as espécies de maior suscetibilidade à infecção. Ela possui sete soros imunologicamente distintos: A, O, C, SAT1, SAT2, SAT3 e ASIA 1. No Brasil, já foram encontrados apenas os tipos A, O e C (OIE, 2016a).

A transmissão dessa doença ocorre pelo contato direto ou indireto com animais infectados; pela alimentação de produtos de origem animal contaminados; pelo contato com secreções; por humanos e animais não suscetíveis, veículos e equipamentos que estiveram em contato com animais contaminados; além de também ocorrer pelo solo, ar e água. A doença atravessa fronteiras internacionais por meio do transporte de animais infectados e da importação de produtos de origem animal (SÃO PAULO, 2017).

Os suínos são importantes na epidemiologia da febre aftosa, devido à alta suscetibilidade e a ação multiplicadora do vírus nos animais da espécie. Eles são infectados com quantidades menores de vírus, que se multiplica rapidamente e é eliminado em uma quantidade maior do que pelos ruminantes. Já nos ovinos e caprinos é difícil diagnosticar a doença, pois essas espécies muitas vezes não apresentam lesões, o que acarreta na transmissão do vírus sem mostrar evidências. Portanto, a alta densidade populacional e a coexistência de espécies suscetíveis nas propriedades tornam mais difíceis a vigilância e o controle da febre aftosa (LYRA; SILVA, 2004). A vacinação contra febre aftosa de caprinos, ovinos e suínos é proibida no Brasil, pois eles são animais sentinela, ou seja, é por meio deles que se detecta a incidência da doença; apenas bovinos e bubalinos devem ser vacinados (MAPA, 2007a).

O estudo de Thornley e France (2009) mostra que, para uma dada exposição ao vírus, um boi é 15 vezes mais propenso a ser infectado do que uma ovelha. Essa probabilidade depende se o gado é leiteiro ou de corte, pois sua finalidade influencia a movimentação dos animais e os contatos entre eles.

De acordo com o Código Sanitário para Animais Terrestres da Organização Mundial de Saúde Animal (OIE, 2016a), o período de incubação do vírus causador da febre aftosa é de 14 dias, o qual compreende a introdução do vírus no hospede até a aparição das primeiras lesões, sendo caracterizado por duas fases. A primeira fase, de curta duração, é chamada de

eclipse, na qual o vírus, geralmente, não é identificado. Segue-se a fase prodrômica (virêmica), antecedendo a aparição de lesões típicas vesiculares, que pode variar de 2 a 10 dias, dependendo da velocidade de replicação do vírus. Nessa fase, os animais apresentam sintomas inespecíficos ou difíceis de observar, como: febre, anorexia, paralização parcial ou total do rúmen, redução ou ausência da produção de leite, entre outros. Durante esse período, os animais infectados eliminam o vírus da febre aftosa por suas secreções e excreções, e, portanto, são altamente contagiosos. Nos quatro dias posteriores, começam a aparecer os sinais clínicos da doença (OIE, 2016a).

Alguns sinais podem apontar animais doentes – dentre eles estão: febre alta; feridas (bolhas e aftas) na boca, nas tetas e entre as unhas; saliva em excesso; ausência de ingestão de água e alimentos; dificuldade de locomoção; isolamento dos outros animais; redução rápida da produção de leite (SÃO PAULO, 2017). Animais jovens com febre aftosa podem ter miocardite hiperaguda, que leva à morte súbita (MAPA, 2009). Em populações suscetíveis à doença, a morbidade¹ pode chegar a 100% do rebanho e a mortalidade², em geral, é menor que 1%, mas pode alcançar 40%, em situações de surto ou quando o rebanho é formado por muitos animais jovens (OIE, 2017).

“A definição da ‘idade’ das lesões, particularmente das mais antigas, é fundamental para estabelecer a evolução histórica do foco, com destaque para a definição da origem da infecção e do período de maior risco de difusão do agente viral”; no entanto, à medida que o tempo passa, é mais difícil determinar, mesmo que aproximadamente, a antiguidade da lesão (MAPA, 2009).

Os animais infectados podem transmitir a doença durante seu período de incubação e de manifestação, e o vírus é muito resistente, podendo conservar-se por meses na medula óssea do animal – mesmo depois de morto –, no pasto, na farinha de ossos e no couro (SÃO PAULO, 2017).

O vírus da febre aftosa foi documentado pela primeira vez, na América do Sul, nos anos 1870, tendo sido observado praticamente ao mesmo tempo em Buenos Aires (Argentina), no Uruguai e no sul do Brasil. Sua epidemiologia era desconhecida e nenhuma medida foi tomada para conter o vírus, permitindo sua difusão para o Chile, além das regiões nordeste e centro-oeste do Brasil, Peru, Bolívia, Paraguai, Venezuela (1950), Colômbia

¹ A morbidade refere-se ao conjunto dos indivíduos de uma população que, em determinado intervalo de tempo, adquiriram uma doença. “A morbidade mostra o comportamento das doenças e dos agravos à saúde da população” (PEREIRA, 2004, p. 10).

² A mortalidade refere-se ao conjunto dos indivíduos de uma população que, em determinado intervalo de tempo, morreram. A mortalidade “representa o risco ou probabilidade que qualquer indivíduo da população apresenta de morrer em decorrência de uma determinada doença” (PEREIRA, 2004, p. 11).

(1950) e Equador (1961). Somente nos anos 1960 os países da América do Sul passaram a adotar ações efetivas para prevenir a entrada e a propagação da febre aftosa – o que já era feito pelos Estados Unidos, desde 1921, pelo México, desde 1947, e pelo Canadá, desde 1952 (SARAIVA, 2003).

Em 1951, o Centro Pan-Americano de Febre Aftosa (PANAFTOSA) foi criado com o intuito de prestar cooperação técnica aos países ao prover ferramentas de apoio às ações de controle da febre aftosa. Por iniciativa do Centro, criou-se a Comissão Sul-Americana de Luta Contra a Febre Aftosa (COSALFA) em 1972, a qual consiste em uma instância regional com participação pública e privada para coordenar e acompanhar as ações de intervenção nos países membros. No ano de 2010, o PANAFTOSA, em parceria com a COSALFA, lançou o Plano de Ação 2011-2020, dentro das diretrizes do Plano Hemisférico de Erradicação da Febre Aftosa (PHEFA), com o propósito de erradicar a doença de todas as populações de animais suscetíveis dos países da América do Sul e estabelecer mecanismos de prevenção do risco de novo ingresso da doença nos países do continente até 2020 (PANAFTOSA, 2010).

No Brasil, em 2017, foi proposto o Plano Estratégico do Programa Nacional de Febre Aftosa 2017-2026, cujo principal objetivo é criar e manter condições sustentáveis para garantir o *status* de país livre da febre aftosa e ampliar as zonas livres de febre aftosa sem vacinação, a partir de um cronograma com duração de 10 anos para a retirada da vacinação contra a doença em todo o país (MAPA, 2017). Atualmente, quando se confirma um foco de febre aftosa no país, a Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), deve informar à OIE, ao PANAFTOSA, aos países vizinhos, blocos econômicos e outros parceiros comerciais sobre a situação corrente no país (MAPA, 2009). No caso do comércio, o país notifica o Comitê do Acordo sobre Medidas Sanitárias e Fitossanitárias (SPS) da Organização Mundial do Comércio (OMC).

A orientação da OIE para situações de crise sanitária é estratégica do ponto de vista econômico, particularmente, do comercial, além propriamente do epidemiológico, já que muitos países se orientam por essa Organização quanto ao acesso a mercados em situações de risco sanitário. O Código Sanitário para Animais Terrestres da OIE (OIE, 2016a) estabelece a possibilidade de quatro estratégias de ação diferentes diante de um foco de febre aftosa confirmado:

i) sacrificar todos os animais clinicamente afetados e todos os animais suscetíveis à doença que estiveram em contato com os primeiros;

ii) sacrificar todos os animais clinicamente afetados e todos os animais suscetíveis em contato com eles; vacinação dos animais sob risco e sacrifício consecutivo dos animais vacinados;

iii) sacrificar todos os animais clinicamente afetados e todos os animais que estiveram em contato com eles; vacinar animais que apresentam risco, sem o sacrifício consecutivo destes;

iv) vacinar sem sacrifício dos animais afetados, nem sacrifício consecutivo dos animais vacinados.

O Plano de Ação para Febre Aftosa do MAPA (2009) destaca algumas medidas de prevenção e profilaxia contra a febre aftosa, incluindo a vacinação com vírus inativado; a proteção de zonas livres da enfermidade, por meio de controle e vigilância da movimentação de animais; a desinfecção de locais e materiais contaminados; o sacrifício de animais infectados e de animais suscetíveis à doença que entraram em contato com infectados; a destruição dos cadáveres e produtos derivados de animais suscetíveis na zona infectada; e medidas de quarentena, que estejam de acordo com o Código Sanitário para Animais Terrestres da OIE. O Manual de Procedimentos do PANAFTOSA (PANAFTOSA, 2007) descreve em detalhes as diferentes zonas consideradas na ocorrência de um foco de febre aftosa no país (ver Anexo).

Os países ou zonas podem ser divididos em três categorias dependendo do seu status em relação à febre aftosa, são elas: livre de febre aftosa sem vacinação, livre de febre aftosa com vacinação e endêmico – como pode ser visto na Figura 1. Os países endêmicos podem ainda ser classificados de acordo com a evolução do seu programa de controle da doença (KNIGHT-JONES et al., 2016). Cada tipo de classificação leva os países a uma forma diferente de tratar os impactos da febre aftosa, incluindo a importância atribuída a pesquisas, prevenção e controle.

Atualmente, grande parte do Brasil é considerada livre da febre aftosa com vacinação (Figura 2). Os países e zonas com esse status devem promover a vacinação rotineiramente para garantir a imunidade no longo prazo, a fim de reduzir o impacto de potenciais futuras incursões do vírus. Essa dependência em relação à vacinação regular traz consigo alguns problemas, como o desafio em distinguir animais infectados dos animais vacinados e o significativo dispêndio financeiro contínuo para o fornecimento, a distribuição e a administração das vacinas e para avaliação do programa de vacinação (KNIGHT-JONES et al., 2016).

Brasil, de modo a viabilizar a aceitação da carne fresca, refrigerada, congelada nos mercados mais exigentes de carne, os chamados não aftósicos, já mencionados. Dessa forma, evidencia-se a importância de avaliar os impactos econômicos da doença para o país.

2.2. Epidemiologia da febre aftosa

Para traçar estratégias de intervenção e controle em ambientes endêmicos, devem ser levadas em consideração as características dos diferentes sorotipos do vírus da febre aftosa em distintos sistemas ecológicos, pois a imunidade contra um sorotipo do vírus não proporciona imunidade contra os outros seis. Essas estratégias devem ser fundamentadas em avaliações epidemiológicas sobre a incidência e a distribuição da doença, identificando fontes de risco, visto que o movimento de animais infectados é a causa preponderante de disseminação da enfermidade. “Como resultado da globalização, a propagação da epidemia de febre aftosa pode mudar da disseminação local e regional para uma ampla disseminação internacional” (RWEYEMAMU et al., 2008, p. 58).

Entre os anos 2000 e 2006 foram coletados vírus em diferentes circunstâncias – esporadicamente e em situações de surto –, nos países da América do Sul, e observou-se um padrão de agrupamento com significativas relações genéticas entre vírus de países fronteiriços, sugerindo que o movimento entre fronteiras é um fator significativo de disseminação da febre aftosa (RWEYEMAMU et al., 2008).

De acordo com Rweyemamu et al. (2008), na América do Sul, o principal determinante da transmissão da febre aftosa é o comércio de animais, especialmente de bovinos, observando-se relações epidemiológicas entre os sistemas complementares de produção pecuária. Ou seja, os sistemas de criação, engorda e processamento do gado podem propiciar a difusão e a manutenção da doença em diferentes locais. Nas áreas de engorda, principalmente, há uma grande concentração de animais suscetíveis com níveis variáveis de imunidade, consistindo, portanto, em áreas de alta vulnerabilidade e suscetibilidade, onde o vírus da febre aftosa pode ser mantido e disseminado entre os animais. Nesta região, os bovinos são considerados a espécie que determina a difusão e alertam sobre a presença da febre aftosa justamente por conta dessas interações entre os sistemas de produção.

Para Rweyemamu et al. (2008), como a doença não é uniformemente espalhada, a abordagem baseada nos ecossistemas da região deve ser utilizada para que se possa definir os padrões epidemiológicos da febre aftosa. Tais ecossistemas devem considerar tanto a dinâmica da doença como os sistemas de exploração e também os movimentos de gado, para

que, dessa forma, sejam identificadas as áreas endêmicas primárias (áreas de manutenção do vírus), áreas endêmicas secundárias (áreas de propagação do vírus) e áreas epidêmicas (áreas de surtos explosivos).

De acordo com Dion e Lambin (2012), o risco de ocorrência de determinadas doenças infecciosas, tal como a febre aftosa, é controlado pelos atributos do ecossistema, como a paisagem e o relevo. Sendo assim, uma análise integrada que leve em consideração esses atributos permite a melhor compreensão das interações entre mudanças nos ecossistemas e clima, uso da terra e comportamento humano, e a ecologia dos hospedeiros animais do agente infeccioso. A densidade, o comportamento e a dinâmica populacional das populações hospedeiras são parcialmente controlados por características da paisagem e do relevo. Em especial, a probabilidade de contato entre hospedeiros suscetíveis e infectados é influenciada pela configuração dos atributos naturais da região.

Nesse sentido, Dion, VanSchalkwyk e Lambin (2011) fizeram um estudo para compreender como a paisagem e o relevo influenciam os surtos de febre aftosa na África do Sul, dado que os atributos naturais influenciam os padrões de movimento e de comportamento dos animais hospedeiros, a disseminação do vírus e sua sobrevivência. Para tanto, os autores desenvolveram um modelo de simulação multiagente espacialmente explícita, representando as interações entre atributos naturais, vida selvagem e pecuária.

A análise de sensibilidade do modelo relevou que a configuração da paisagem e do relevo é fator-chave para explicar o contato entre búfalos selvagens e bovinos domésticos na África do Sul, por conta de sua influência sobre a movimentação dos animais. Com isso, os autores concluíram que as cercas das fazendas e de reservas ecológicas são elementos importantes no controle da transmissão da febre aftosa, pois o contato entre os animais depende, principalmente, da amplitude de seu deslocamento. Assim, a intensificação do monitoramento e o reparo das cercas reduz o contato entre os animais, diminuindo, dessa forma, o risco de transmissão da doença (DION; VANSCHALKWYK; LAMBIN, 2011).

Donaldson e Alexandersen (2002) indicam seis fatores que contribuem para a natureza altamente infecciosa da febre aftosa: i) a vasta gama de animais suscetíveis; ii) as enormes quantidades de vírus liberadas pelos animais infectados; iii) a quantidade de excreções e secreções que podem ser infecciosas; iv) a multiplicidade das vias de infecção; v) as pequenas doses de vírus que podem iniciar a infecção; e vi) a moderada estabilidade do vírus no ambiente.

De acordo com os autores, o mecanismo mais comum de disseminação da febre aftosa entre ruminantes e de suínos para ruminantes é o movimento de animais infectados e a

transmissão aeróbia de gotículas infecciosas para animais suscetíveis. Essas partículas se originam principalmente no trato respiratório e são emitidas na expiração de animais infectados. O segundo mecanismo mais comum de propagação é o movimento de produtos animais infectados, como carne, miudezas e leite – os suínos são a espécie mais suscetível à infecção por essas vias (DONALDSON; ALEXANDERSEN, 2002).

Além da possível transmissão mecânica por meio de máquinas e veículos, o vírus da febre aftosa também pode ser transmitido pelo vento. A propagação deste vírus pelo vento é um evento incomum que requer a ocorrência simultânea de condições epidemiológicas e climáticas específicas. No entanto, quando essas condições estão unidas, a propagação da doença pode ser rápida e extensa, envolvendo áreas que vão além daquelas de controle, potencialmente atravessando fronteiras. Um exemplo disso é a constatação que, durante as primeiras três semanas da epidemia de 1967-68 no Reino Unido, cerca de 300 focos foram notificados a favor do vento a partir do foco primário (DONALDSON; ALEXANDERSEN, 2002).

A propagação do vírus da febre aftosa pelo vento é incontrolável, mas, com o passar dos anos, modelos de simulação foram desenvolvidos e adaptados para prever o risco de disseminação do vírus e a provável direção e distância de propagação da epidemia. Bovinos e suínos infectados emitem vírus pelo ar por um período de 4 a 5 dias, enquanto ovelhas podem excretar o vírus por até 7 dias. Características topográficas, como colinas e montanhas, e estruturas, como áreas urbanas e florestas, interferem na distribuição das partículas infecciosas, limitando a distância de transmissão da doença. Os principais fatores determinantes da quantidade de vírus transportado pelo ar emitida a partir de um rebanho infectado e a distância a favor dos animais potencialmente em risco são: as espécies infectadas no rebanho, o número de animais afetados, o tipo de vírus e a topografia (DONALDSON; ALEXANDERSEN, 2002).

No trabalho de Donaldson e Alexandersen (2002), foram feitas simulações a partir de dados do surto de 2001 no Reino Unido do tipo O. O estudo mostra que os suínos apenas foram infectados quando expostos a uma grande dose de vírus aerotransportado e que emitem mais vírus quando comparados aos bovinos. Os bovinos apresentaram-se como a espécie mais suscetível, seguidos pelos ovinos, enquanto os suínos demonstraram ser mais resistentes – no caso de transmissão do vírus da febre aftosa pelo ar.

Com o intuito de obter melhores previsões para surtos de febre aftosa, o governo australiano desenvolveu um modelo espacial sofisticado para a difusão da doença, chamado AusSpread, que opera dentro de uma estrutura de sistema de informação geográfica. Consiste

em um modelo de transição de estado, construído a partir de uma cadeia de Markov e modificado para incluir elementos sofisticados. Os elementos estocásticos são representados como distribuições de probabilidade, que incorporam a incerteza e a variação natural inerente aos parâmetros do modelo. Simulações de Monte Carlo são usadas para selecionar valores dessas distribuições de probabilidade cada vez que o modelo é executado. Esse modelo simula a propagação da febre aftosa em intervalos de tempo diários, permitindo iterações entre fazendas com diferentes espécies animais e de diferentes tipos de produção, e incorporando o papel que tais iterações podem desempenhar na epidemiologia de um surto de febre aftosa (GARNER; BECKETT, 2005).

Na verdade, existem diversos trabalhos que buscam desenvolver modelos matemáticos para investigar a difusão da febre aftosa. Gale et al. (2015) utilizaram o Modelo de Propagação de Doenças Animais na América do Norte (North American Animal Disease Spread Model - NAADSM) para simular um surto da doença no estado de Minnesota, nos Estados Unidos. Este modelo emprega uma simulação estocástica, espacial e de transição de estado para a disseminação de doenças animais altamente contagiosas. O estudo considerou os rebanhos leiteiros e suínos por conta do seu tamanho e importância, mas também porque essas espécies apresentam uma forma distinta de suscetibilidade e transmissibilidade da febre aftosa; o que leva à necessidade de diferenciação nas medidas de controle e biossegurança em cada espécie.

O contato entre fazendas, que pode resultar na transmissão da doença, foi modelado com base em três possibilidades: contato direto – quando o animal de uma fazenda vai para outra fazenda –, contato indireto – quando pessoas e/ou equipamentos são movidos de uma fazenda para outra – e contato local – que consiste no contato pelo ar e outros tipos de contato não explicados entre fazendas. A probabilidade de transmissão da infecção pelo contato direto foi de 0,99 – ou 99% – para todos os tipos de produção e, pelo contato indireto, a probabilidade de transmissão da infecção variou de acordo com os tipos de produção da fazenda de origem e da receptora. O parâmetro para o contato local foi definido em um raio de um quilômetro ao redor de cada fazenda infectada. A taxa de contato local foi de 8%, diminuindo linearmente à medida que a distância com relação à fazenda de origem aumentou (GALE et al., 2015).

Considerou-se que as restrições de movimento são 95% eficazes, para bovinos e pequenos ruminantes, para as taxas de contato direto e indireto; e, para suínos, foi considerado que as restrições de movimento são 75% eficazes para as taxas de contato direto e 50%

eficazes para as taxas de contato indireto. Esses percentuais indicam o quanto a taxa de contato é reduzida após a detecção do primeiro rebanho infectado (GALE et al., 2015).

No cenário de rebanho leiteiro, os valores médios de duração da doença, de duração da epidemia e do número de fazendas e animais infectados foram maiores, sendo que, a duração média da doença foi de 54 dias, a duração média do surto foi de 56 dias, o número médio de fazendas infectadas foi de 282 e o número médio de animais infectados foi de 62.000. Para o cenário de rebanho suíno, a duração média da doença foi de 27 dias, a duração média do surto foi de 27 dias e o número médio de fazendas e animais infectados foi de 29 e 8.000, respectivamente. O maior surto iniciado em um rebanho suíno resultou em 3% de animais infectados (2% dos rebanhos), enquanto o maior surto iniciado em um rebanho leiteiro resultou em 75% dos animais infectados, representando 60% dos rebanhos. Foram simulados cinco surtos não controlados na categoria de rebanho leiteiro e eles registraram uma duração de surto de mais de 600 dias, com dezenas de milhares de fazendas e mais de oito milhões de animais infectados. Surtos dessa dimensão são caracterizados, nos Estados Unidos, como generalizados e catastróficos (GALE et al., 2015).

Por outro lado, Ward et al. (2009) propuseram um estudo para avaliar o impacto de uma incursão do vírus da febre aftosa nas criações de gado de oito condados no oeste do Texas, Estados Unidos. A pesquisa foi conduzida em uma área de alta densidade de animais, com um número estimado de gado para engorda de 1,8 milhão. O AusSpread foi utilizado para simular 64 cenários de planejamento e tomada de decisão, considerando três estratégias de mitigação: tempo de detecção, disponibilidade de vacinas (para vacinação emergencial) e vigilância durante o controle da doença.

Assumiu-se que a febre aftosa poderia ser detectada tanto no início (7 dias) quanto no final (14 dias) após uma incursão. Além disso, pressupôs-se que, uma vez detectada a doença, o número de contatos diretos foi reduzido em 80% e o número de contatos indiretos, em 50%, no dia seguinte, para representar o efeito da implementação de medidas de controle de movimento (WARD et al., 2009).

As simulações sugerem que a incursão da febre aftosa na região poderia durar entre 1 e 2 meses e seria necessário que cerca de 100 rebanhos fossem sacrificados para controlar o surto. As probabilidades de infecção via contato direto entre animais foram consideradas elevadas (90%), independentemente do tipo de rebanho, enquanto as probabilidades de infecção pelo contato indireto foram consideradas baixas (20%) para todos os tipos de rebanho, exceto suínos (WARD et al., 2009).

No entanto, em alguns cenários simulados, os surtos duraram entre 8 e 9 meses e até 230 rebanhos teriam que ser despovoados para controlar a epidemia. Estes cenários se mostraram mais prováveis quando há um atraso na detecção da doença, agravando o impacto de uma incursão. Portanto, a detecção da febre aftosa no primeiro rebanho infectado teria maior impacto sobre a redução da duração das epidemias e do número de rebanhos despovoados. De acordo com Ward et al. (2009), o retorno econômico para a detecção precoce de uma incursão é substancial: no caso de uma epidemia originada em um confinamento, a economia de custo pode chegar a ser, em média, US\$ 150 milhões.

Chen (2001) também propõe um modelo para simular a difusão da febre aftosa, considerando diferentes características do vírus, diferentes frequências de comunicação entre as fazendas e diferentes densidades de população de gado bovino. O estudo incorpora em pequenas redes tanto o modelo compartimental determinístico como o modelo espacial baseado em indivíduos. O alcance da transmissão local foi definido pela transmissão pelo ar e pelas comunicações locais, ao passo que o alcance da transmissão de longa distância foi definido pela movimentação de animais por todo o país e a aglomeração em mercados de animais.

A partir de 50 simulações, com dados empíricos sobre períodos de incubação do Reino Unido e Taiwan, reduzindo a densidade das fazendas de 30 para 10 animais por fazenda, a área média infectada passou de 100% para 71%, isto é, introduzindo um animal infectado em uma população suscetível, em média, 71 fazendas foram infectadas após a epidemia. Não houve diferença expressiva na porcentagem de bovinos infectados nas fazendas de alta densidade (100% dos animais foram infectados) e nas fazendas de baixa densidade (99,4% dos animais foram infectados). Isso significa que, uma vez infectada uma fazenda, praticamente todos os animais na mesma seriam infectados, independentemente da quantidade de animais (CHEN, 2001).

No entanto, o número de indivíduos infectados em uma fazenda de alta densidade cresceu muito mais rápido do que em uma de baixa densidade. Consequentemente, quando um animal é infectado em uma fazenda de alta densidade, maior será o número de animais infectados e, assim, maior será a proporção de transmissores do vírus em um curto período de tempo. Portanto, é mais provável ocorrer uma epidemia geograficamente extensa em locais onde as propriedades têm rebanhos maiores. Além disso, a propagação da doença anteriormente limitada em uma população de baixa densidade poderia se tornar uma grande epidemia apenas com o estabelecimento de rotas de movimentação de animais de longa distância (CHEN, 2001).

Em 50 simulações, a epidemia de febre aftosa com período de incubação menor registrou duração menor em relação a uma epidemia com período de incubação mais longo, sendo que essa diferença foi de mais de 30 dias. Todavia, a velocidade média de difusão da doença, com um período de incubação mais curto, foi quase duas vezes maior que a velocidade em um período de incubação mais extenso, dificultando o controle do foco. A vantagem da ocorrência de um período menor de incubação do vírus consiste no fato de que ele tem menor chance de infectar animais suscetíveis antes de ser clinicamente detectado e controlado – desde que não haja oportunidade de transmissão de longa distância, pois isso anula tal vantagem. A aplicação de uma estratégia rígida de sacrifício, em comparação com uma estratégia branda – abate somente de animais infectados –, mostrou que o alcance da epidemia pode ser reduzido em 55% para um período de incubação curto e 35%, para um período mais longo (CHEN, 2001).

Adicionalmente, Keeling et al. (2001) ressaltam que o atraso entre a decisão de vacinar os animais suscetíveis à febre aftosa e a proteção contra a infecção, supondo que esta ocorra em até 7 dias após a vacinação, somado à demora entre o início da infecção e a notificação, mostra que é muito difícil ficar “à frente” da doença e evitar sua propagação. Segundo os autores, isso evidencia a inviabilidade da substituição do abate pela vacinação em regiões onde a doença já se espalhou muito durante uma epidemia. Portanto, a vacinação, nessa situação, deve ser considerada como um complemento ao abate.

Em nível regional, a estratégia proposta com mais frequência na cauda de uma epidemia, de acordo com Keeling et al. (2001), é a promoção da vacinação do gado, sobreposta ao abate em toda a vizinhança, de maneira que se forme uma barreira, como um esforço para proteger áreas suscetíveis mais distantes. No entanto, as simulações feitas pelos autores, a partir de dados da epidemia no Reino Unido em 2001, apontaram que essas barreiras de vacinação não conseguem reduzir significativamente a propagação da doença quando a epidemia já se disseminou muito – justamente por conta do intervalo existente entre a vacinação e a proteção efetiva do animal. O estudo conclui que uma epidemia de febre aftosa se inicia com uma disseminação maciça, e a extensão dessa disseminação influencia fortemente o tamanho e a dispersão espacial da epidemia subsequente. Com isso, as restrições à movimentação de animais reduzem a propagação local da infecção e a dispersão de longo alcance.

De acordo com Kao (2002), para a epidemia de 2001 no Reino Unido, o período de incubação da febre aftosa foi estimado diretamente a partir da data de contato com instalações infectadas ou da idade das lesões mais antigas, e a taxa de transmissão foi estimada

diretamente a partir de uma combinação entre rastreamento de contato e informações espaciais detalhadas. Devido ao curto intervalo de infecção, a estrutura espacial foi uma característica chave da transmissão da doença. Sendo assim, Kao (2002) afirma que as redes de transporte de animais e a densidade de tráfego, embora difíceis de incorporar em modelos, devem ser consideradas, pois contribuem para a observação dos padrões e da extensão da propagação da doença.

Um dos obstáculos para construir um modelo epidemiológico da febre aftosa consiste no fato de que mudanças na política de controle da doença, mudanças no clima, procedimentos de biossegurança e o impacto de controles de movimentação de animais podem alterar o núcleo da transmissão espacial da doença ao longo do tempo, provocando vieses que afetam a estimativa de parâmetros globais e, consequentemente, a capacidade dos modelos para prever os impactos de mudanças na política sobre a trajetória da epidemia. É necessária a inclusão no modelo de uma taxa de transmissão variável no tempo, que faça com que os parâmetros epidêmicos variem no espaço e no tempo (KAO, 2002).

A sobreposição espacial, ou a conectividade, entre os grupos de animais suscetíveis afeta o comportamento da febre aftosa, particularmente seu estabelecimento e sua disseminação. Sendo assim, deve-se conhecer bem a distribuição geral dos animais em todo o território e a distribuição e conectividade das populações locais, dentro da distribuição mais ampla, para que seja possível compreender a disseminação potencial da doença. A densidade de animais suscetíveis também afeta a difusão da doença. Geralmente, quanto maior a densidade populacional, maior a probabilidade de transmissão, uma vez que as taxas de contato entre os indivíduos dentro da população provavelmente serão maiores (COWLED; GARNER, 2008).

Além disso, a presença de hospedeiros alternativos pode aumentar a taxa e a extensão da disseminação regional da febre aftosa, o que, por sua vez, pode levar a uma maior persistência da doença. Por fim, a movimentação de animais pode afetar a oportunidade de contato entre animais infectados e não infectados, e, portanto, a extensão e a velocidade de transmissão da doença para os animais suscetíveis (COWLED; GARNER, 2008).

De acordo com Alexandersen et al. (2003), o período de incubação da febre aftosa é altamente variável e depende do tipo e da quantidade de vírus, da via de transmissão, da espécie animal e das condições de criação. O período de incubação para a disseminação aérea ou por contato indireto de uma fazenda para outra varia de 4 a 14 dias. Já o período de incubação para a disseminação de uma fazenda para outra resultante do contato direto, pode variar de 2 a 14 dias. Por outro lado, no interior de uma fazenda, o período de incubação é

geralmente de 2 a 14 dias, mas pode durar apenas 24 horas dependendo das condições e das espécies criadas na propriedade. Ou seja, tipicamente, quando a propagação da doença ocorre dentro de um rebanho, o período de incubação dura entre 2 e 6 dias, embora, sob certas condições, possa ser de apenas 24 horas ou completar 14 dias. Estes intervalos foram obtidos a partir de observações experimentais e de campo realizadas durante o surto de 2001 no Reino Unido e também relatados em diversos outros trabalhos.

Em condições experimentais, o período médio de incubação da febre aftosa é de 3,5 dias para o contato contínuo e direto entre bovinos e de 2 dias para o contato intensivo entre ovelhas. Os suínos foram facilmente infectados pelo contato direto entre eles, com um período médio de incubação entre 1 e 3 dias, dependendo da intensidade do contato. Essas diferenças confirmam que quanto maior a dose de vírus ou a intensidade de contato, mais curto é o período de incubação (ALEXANDERSEN et al., 2003).

Sob condições de campo, a dose de vírus da febre aftosa é influenciada por diversos fatores, especialmente a densidade de animais – isto é, manejo intensivo ou extensivo –, se os animais estão alojados, e, se alojados, em ambientes bem ou mal ventilados. A frequência com que os animais são manipulados, principalmente em torno das narinas e da boca, também afeta o período de incubação. Outras práticas – como vacinação, transporte e comercialização – também aceleram a taxa de propagação do vírus em um rebanho infectado (ALEXANDERSEN et al., 2003).

Kitching, Hutber e Thrusfield (2005) baseiam-se em resultados obtidos a partir da epidemia de febre aftosa no Reino Unido em 2001 para definir os fatores clínicos e epidemiológicos na construção de modelos preditivos precisos da doença. De acordo com os autores, o ponto de partida para qualquer modelo de febre aftosa deve ser no nível da fazenda, com foco na transmissão intra-rebanho. Observam que: i) a transmissão pelo contato é o modo predominante de transmissão ao nível da fazenda; ii) a incidência no primeiro dia é um parâmetro dentro do rebanho baseado na disseminação pelo contato que prediz com precisão a prevalência da doença naquele rebanho; iii) a incidência na primeira quinzena é um parâmetro inter-rebanho que estende a capacidade preditiva sobre prevalência e duração para além do nível da fazenda.

Os valores tipicamente desconhecidos sobre um surto de febre aftosa são relacionados a fatores clínicos e altamente variáveis, como: a suscetibilidade das espécies, o período infeccioso, os níveis de excreção viral e o período de incubação. Quanto mais centrais esses parâmetros forem no modelo, mais provável que sua execução seja pouco precisa. Mesmo com a ponderação desses fatores, o modelo pode superestimar ou subestimar o nível

apropriado de controle da doença, provocando uma desnecessária drenagem econômica e logística sobre a indústria agropecuária e as autoridades responsáveis pelo controle da doença (KITCHING; HUTBER; THRUSFIELD, 2005).

Kitching, Hutber e Thrusfield (2005) também destacam o problema dos portadores da febre aftosa, que são animais, predominantemente ruminantes, o quais se recuperaram da infecção pelo vírus da doença ou que foram vacinados e posteriormente expostos ao vírus vivo, permanecendo infectados durante um período de tempo variável. Os bovinos podem levar o vírus por até três anos e meio, as ovelhas por até nove meses e as cabras por até quatro meses. Estes animais portadores mantêm um nível elevado de anticorpos neutralizados em seu organismo e mesmo assim ainda retêm e transmitem o vírus vivo.

O mecanismo pelo qual o vírus é protegido da resposta imune do hospedeiro permanece incompreendido. Também não se conhece o risco que esses animais portadores representam em termos do estabelecimento de novos surtos de febre aftosa. Um aspecto preocupante consiste no fato de que essa condição de portador do vírus não é uma exceção, ocorrendo em mais de 50% dos bovinos e ovinos expostos. Apesar da incerteza sobre o papel desses animais portadores, a existência de animais com vírus vivo combinada com uma dificuldade em identificá-los de forma confiável proíbe o comércio internacional de animais suscetíveis que se recuperaram ou foram vacinados contra a febre aftosa. Até que haja um teste para portadores que aborde a sensibilidade diagnóstica completa – animais que foram vacinados, mas que estiveram em contato com o vírus e se tornaram portadores e animais que se tornaram portadores depois de terem se recuperado da infecção –, eles continuarão a ser um entrave para o comércio internacional (KITCHING; HUTBER; THRUSFIELD, 2005).

Alexandersen, Zhang e Donaldson (2002) ressaltam que a taxa de prevalência de portadores do vírus da febre aftosa em uma população depende da espécie, da incidência da doença e do estado imunológico da população. A vacinação efetiva, mesmo que não proteja diretamente contra o desenvolvimento do estado portador em um animal exposto, pode reduzir a prevalência de animais portadores, diminuindo a chance de sua infecção no campo. De acordo com os autores, a cobertura da vacinação deve ser elevada durante um período de tempo suficiente para assegurar que a probabilidade de quaisquer portadores permaneça baixa; e isso deve ser acompanhado por uma vigilância clínica intensiva de espécies suscetíveis.

Nesse sentido, Tenzin et al. (2008) quantificaram a taxa de transmissão da infecção pelo vírus da febre aftosa de animais portadores para animais suscetíveis empregando um modelo matemático, sem especificar um país ou região para simulação. Primeiro foi calculada

a taxa à qual a proporção de portadores decresce com o tempo após a infecção, para fornecer uma estimativa sobre o parâmetro da taxa de recuperação. Depois, combinando os resultados de estudos experimentais da literatura, o modelo resultou em uma estimativa do parâmetro da taxa de transmissão, levando em consideração a interdependência biológica entre portadores e animais suscetíveis expostos ao contato.

O parâmetro de transmissão da infecção pelo vírus da febre aftosa de portadores para animais suscetíveis foi estimado em 0,0256 infecções por portador por mês, ou seja, um portador infecta, em média, cerca de 0,026 animais por mês. Além disso, a análise de dados experimentais publicados indica que a proporção de portadores do vírus da febre aftosa diminui a uma taxa de 0,115 por mês. Tenzin et al. (2008) afirmam que não é possível estabelecer se a infecciosidade dos portadores varia entre as espécies devido ao número reduzido de eventos de transmissão, relatados em literatura, de portadores para animais suscetíveis.

Esses parâmetros obtidos pelo estudo são úteis para análises de risco quantitativas para o comércio de animais provenientes de áreas infectadas com o vírus da febre aftosa, pois o risco de haver animais portadores após um surto da doença tem sido utilizado como argumento para fechar as fronteiras ao comércio internacional de animais e produtos de origem animal, o que prejudica a comercialização pecuária tanto dos países exportadores quanto dos importadores (TENZIN et al., 2008).

Sumariamente, na literatura da medicina veterinária, há uma série de trabalhos científicos que buscaram identificar os determinantes da disseminação da febre aftosa, assim como procuraram organizar modelos para sua análise. Por outro lado, já se evidencia, com esta literatura, porque a questão da distância e da identificação das redes socioeconômicas, proposta neste trabalho, é útil no contexto do problema analisado.

2.3. Impactos Econômicos da febre aftosa

A febre aftosa é a doença animal, que atinge a pecuária, mais importante do mundo em termos de impacto econômico. Isto se deve não somente à sua capacidade de causar perdas de produção, mas também pela amplitude da reação necessária dos serviços veterinários à sua presença e às restrições ao comércio de animais tanto a nível local como internacional (JAMES; RUSHTON, 2002).

O controle nacional de doenças animais exige grandes investimentos. Doenças altamente contagiosas, como a febre aftosa, não são facilmente contidas e geram significativas

externalidades negativas, pois criam problemas para todos os proprietários de animais conectados a uma população infectada (JEMBERU et al., 2016). A febre aftosa tem ramificações globais, custando entre US\$6 bilhões e US\$21 bilhões por ano em despesas com prevenção, controle e danos agropecuários para o mundo (SMITH et al., 2014).

A repercussão negativa da febre aftosa sobre a disponibilidade e a distribuição de produtos de origem animal provoca efeitos diretos sobre produtores, empresários e famílias rurais, além de incidir negativamente sobre as atividades comerciais do setor agropecuário, prejudicando o consumidor e a sociedade em geral, inclusive o governo, dada a queda de produtividade, de geração de divisas e de arrecadação e do choque sobre mercado de emprego (SMITH et al., 2014).

Ademais, a ocorrência de febre aftosa suscita a imposição de barreiras sanitárias pelo mercado internacional, podendo levar à perda de mercados e, conseqüentemente, a uma redução significativa das exportações. “A perda de confiança do importador em relação ao produto que compra tende a implicar custos significativos para os países exportadores” (LIMA; MIRANDA; GALLI, 2005, p. 6). Por fim, ela eleva os custos públicos e privados, por conta dos investimentos necessários para sua prevenção, controle do foco, erradicação, indenização – quando é necessário o sacrifício de animais – e retomada do status sanitário, conforme regras da OIE. No mercado internacional, atualmente, a febre aftosa representa a principal restrição ao comércio de animais vivos e de produtos animais (GALE et al., 2015).

Mesmo que a febre aftosa seja uma doença de baixa mortalidade, a presença de surtos e a significativa parcela de espécies e animais afetados em cada surto provocam um amplo e contínuo impacto sobre os países onde ocorre (JAMES; RUSHTON, 2002). Como os movimentos pecuários e o comércio desempenham um papel fundamental na propagação da febre aftosa, restrições ao movimento e ao comércio nacional e internacional são fundamentais para o controle da doença, mesmo que isso resulte em expressivas perdas econômicas (KNIGHT-JONES; RUSHTON, 2013).

Knight-Jones e Rushton (2013) dividem os impactos da febre aftosa entre diretos e indiretos. Os impactos diretos são divididos em duas categorias:

i) Perdas visíveis: perdas de produção, como redução da produção de leite – podendo chegar a uma queda na ordem de 80% –, contração das taxas de crescimento do gado – visto que a mortalidade entre os jovens e a chance de aborto são expressivas – e perda de potência de tração em setores que usam gado – principalmente em épocas de colheita. Tais perdas são mais proeminentes em sistemas de produção intensiva e de gado leiteiro.

ii) Perdas invisíveis: perdas relacionadas a problemas de fertilidade, decorrentes de abortos e baixas taxas de concepção, impondo a necessidade de uma maior proporção de animais reprodutores dentro do rebanho. “Essa perda invisível significa que, para cada quilo de carne ou leite produzido, há um custo fixo adicional para manter mais animais de raça para reprodução” (KNIGHT-JONES; RUSHTON, 2013, p. 163).

Já os impactos indiretos são divididos entre custos adicionais e receitas perdidas. Os custos adicionais consistem no custo do controle pelos serviços veterinários públicos e pelo setor privado. Cerca de 2,35 bilhões de doses de vacina contra febre aftosa são aplicadas no mundo a cada ano, com um dispêndio de, aproximadamente, US\$ 0,4 por dose, que pode chegar a US\$ 9, incluindo a entrega e aplicação. Como as vacinas garantem apenas um curto período de imunidade, os programas de controle precisam reaplicá-las repetidas vezes no mesmo ano, o que restringe os recursos disponíveis para o controle de outras doenças animais. Além disso, muitas vezes, é necessário levantar barreiras para manter os animais selvagens fora das zonas livres de febre aftosa, implicando em custos adicionais. Em países livres da febre aftosa, as medidas de prevenção da entrada da doença, como controles de importação e vacinação, em alguns casos, e a manutenção de programas para vigilância, detecção precoce e controle da doença também geram custos (KNIGHT-JONES; RUSHTON, 2013).

A perda de acesso a mercados e as externalidades provocadas pela febre aftosa levam a uma expressiva queda de receitas no país. Países infectados com febre aftosa não podem comercializar animais vivos e outros tipos de produtos pecuários com países livres da doença, nos quais, geralmente, os preços são mais elevados – como União Europeia, Estados Unidos e Japão –, o que, por sua vez, restringe o desenvolvimento da agropecuária comercial doméstica. Mesmo que o país esteja livre da doença, se ele comercializar com um país endêmico, também sofrerá restrições comerciais. A percepção de que existe um risco de ocorrência da febre aftosa, por si só, já reprime os investimentos no setor pecuário (KNIGHT-JONES; RUSHTON, 2013).

Dentre os países reconhecidos como livres de febre aftosa sem vacinação, e que, portanto, detêm um *status* sanitário superior no mercado internacional, destacam-se como compradores de carnes o Japão, Coreia do Sul e Canadá, de um lado; e como vendedores de carnes, Austrália e Nova Zelândia. Todos eles, mercados não acessíveis ao produto brasileiro atualmente, ou com um acesso marginal.

Os produtos sujeitos a proibições de importação compreendem, geralmente: animais vivos, carnes frescas, produtos à base de carne, produtos lácteos, couros, gorduras, lã e pelos. Por ocasião de um surto, estabelecem-se zonas dentro do país, de modo que aquelas

identificadas como livres da doença podem continuar exportando, conforme os procedimentos da OIE e os princípios estabelecidos no Acordo SPS. Entretanto, os países importadores nem sempre respeitam as orientações da OIE e podem manter o embargo por um longo período após o fim da epidemia, gerando impactos econômicos regionais e nacionais consideráveis. Por isso, as proibições de importação pelos países compradores desempenham um papel fundamental na avaliação das consequências econômicas de uma epidemia de febre aftosa (MAHUL; DURAND, 2000).

Como a febre aftosa é altamente contagiosa e afeta muitas espécies, ela não é facilmente contida dentro de uma fazenda ou população, gerando um impacto – por via geográfica ou por cadeias de mercado – sobre todos os proprietários de animais que estão ligados a locais onde a doença se manifestou. Pecuaristas que não vacinam seu gado provocam externalidades negativas em toda a cadeia produtiva, na ocorrência de um surto, ao passo que criadores que praticam a vacinação geram externalidades positivas, pois seus animais ficam menos propensos à infecção e transmissão da enfermidade. Consequentemente, a necessidade de investimentos públicos em programas de imunização, vigilância e controle fica evidente.

Os impactos causados pela febre aftosa diferem de acordo com as características do país e de suas populações de gado, ou seja, não dependem apenas do status da febre aftosa, da incidência ou do risco de incursão. Tais impactos são determinados pela genética do rebanho nacional, pelas práticas de administração do gado, pelos preços vigentes de insumos e produtos da produção pecuária e pela capacidade de fornecer gado para os mercados de exportação. Promover o controle da febre aftosa é mais fácil em propriedades maiores, com um nível de comercialização mais intenso, pois os produtores que comercializam menos são menos sensíveis às perdas indiretas provenientes do acesso limitado a mercados quando ocorre um surto (KNIGHT-JONES; RUSHTON, 2013).

O surto de febre aftosa no Reino Unido, iniciado em fevereiro 2001, é um dos maiores exemplos do efeito devastador dessa doença em países livres. Suspeita-se que a epidemia teve início em uma fazenda de suínos a 350 quilômetros do abatedouro e que a transmissão subsequente aconteceu para ovelhas de uma fazenda vizinha. Algumas dessas ovelhas foram compradas e movidas para várias feiras de animais, incluindo a feira de ovelhas mais movimentada da Europa, resultando na disseminação para locais diferentes, do sul da Escócia ao sudoeste da Inglaterra, e através de animais comercializados para a Irlanda, França e Holanda (SUTMOLLER et al., 2003).

Quatro dias após a confirmação do primeiro foco, houve a paralisação da movimentação de animais e as exportações de gado britânicas foram interditadas. No entanto, a infecção já havia sido transmitida a os outros países por meio de ovelhas ilegalmente importadas. Ressalta-se que as práticas ilegais envolvendo o movimento desses animais na Grã-Bretanha dificultaram significativamente o rastreamento da movimentação de animais. Ao final de março de 2001, a epidemia atingiu seu pico, sendo registrados mais de 50 casos por dia (SUTMOLLER et al., 2003).

As restrições ao movimento de animais fizeram com que cerca de 2,9 milhões de animais tivessem que ser abatidos por razões de bem-estar. Além disso, à medida em que a epidemia crescia, foram retirados animais das instalações adjacentes às infectadas de forma preventiva, resultando no abate de mais 3 milhões de animais. A epidemia durou cinco meses e centenas de instalações foram confirmadas infectadas (OXFORD ANALYTICA, 2012). De acordo com Sutmoller et al. (2003), o número verdadeiro de animais sacrificados pode ter chegado perto dos 8 milhões, já que ovelhas grávidas e filhotes sacrificados não foram contados.

A epidemia que se seguiu na Grã-Bretanha, em particular, teve consequências muito graves para a sociedade rural. As regras de exportação não permitiram o uso de vacinação, nem mesmo limitadas em torno do surto, e apenas o abate foi adotado para controlar a doença. O abate em grande escala atingiu muitas famílias de produtores rurais e despovoou grandes áreas caracterizadas pela atividade pecuária até então. Alguns criadores ofereceram voluntariamente seus animais para sacrifício e muitos outros solicitaram o abate de seu rebanho por questões de bem-estar, uma vez que as restrições à movimentação de animais resultaram em superlotação e condições próximas à morte por inanição (SUTMOLLER et al., 2003).

Duas equipes de pesquisadores desenvolveram modelos refinados para auxiliar no processo de tomada de decisão quanto às medidas de controle da epidemia (KEELING et al., 2001; FERGUSON et al., 2001) e concluíram que o sacrifício em massa era a melhor estratégia para controlar o surto de febre aftosa em curso na Grã-Bretanha. Os trabalhos basearam-se em informações sobre a localização de fazendas e sobre a sua densidade de animais, assim como sobre medidas de heterogeneidade animal dentro das propriedades (coexistência de diferentes espécies). Os dados sobre o número de fazendas infectadas e a quantidade de animais sacrificados foram disponibilizados para os pesquisadores (CHOWELL et al., 2005).

Em maio de 2001, a velocidade de transmissão do vírus caiu, mas uma “cauda” prolongada persistiu até o final de setembro. Mais de 70% do total de focos da epidemia foram considerados consequência de uma transmissão a longa distância, e não local. Os custos intangíveis da epidemia foram incorridos em termos de bem-estar psicológico dos envolvidos no controle do surto de febre aftosa durante esse período de crise. Um estudo com mais de 3.000 pessoas que tiveram experiência direta com o surto constatou que, para os agricultores e outros afetados, a vida após a epidemia foi acompanhada de angústia, sentimentos de luto, medo de um novo desastre e perda de confiança em autoridades e sistemas de controle (OXFORD ANALYTICA, 2012).

Devido à capacidade de transmissão do vírus por meio de objetos, as pessoas foram desencorajadas a visitar áreas rurais durante a epidemia. Isso resultou em uma significativa redução do turismo rural, gerando uma queda de 14,5% nas receitas do setor de turismo em 2001 com relação ao ano anterior. Estima-se que a perda de receita com turismo tenha chegado a £179 milhões por semana enquanto durante a epidemia (OXFORD ANALYTICA, 2012). Esse choque no setor induziu efeitos em outras atividades econômicas britânicas devido às estreitas ligações entre diferentes setores da economia. As perdas econômicas estimadas chegaram a £20 bilhões (ANDERSON, 2002). Observa-se, então, que a enfermidade teve seus impactos repercutidos sobre diversos setores além do agropecuário, reforçando a importância de investimentos em vigilância, controle e planejamento para potenciais surtos (GFRA, 2010).

No caso da Holanda, em 2001, a epidemia de febre aftosa foi relativamente limitada, com apenas 26 focos, mas o custo gerado chegou a US\$250 milhões, excluindo cerca de US\$100 milhões em perdas de renda para os pecuaristas afetados e quantidades substanciais de renda perdida em outros setores, dos matadouros ao comércio turístico (RWEYEMAMU; ASTUDILLO, 2002)

Ainda em 2001, houve um surto de febre aftosa no Uruguai, reportado próximo à fronteira com a Argentina no dia 23 abril. Acredita-se que este surto foi consequência de diversos acontecimentos anteriores. Para obter o *status* de livre de febre aftosa sem vacinação, o Uruguai suspendeu a vacinação em 1994, alcançando o reconhecimento do *status* desejado em 1996. Pela mesma razão, em 1999, a Argentina e o Paraguai pararam de vacinar contra a doença e, no ano seguinte, o estado brasileiro do Rio Grande do Sul.

O quadro acima expôs a região a severos riscos de entrada da febre aftosa, pois: i) houve uma perda progressiva de proteção de grandes rebanhos contra a doença em um curto período de tempo; ii) era evidente o perigo contínuo de propagação da febre aftosa das áreas

endêmicas regionais para o rebanho desprotegido; iii) havia uma grande movimentação de animais jovens para áreas de engorda nessa região; iv) eram latentes as falhas de vigilância epidemiológica e de controle de movimentação de animais, devido a limitações de recursos humanos e logísticos; v) não havia uma avaliação satisfatória de riscos nem planos de contingência completos de transição para a política de não-vacinação; vi) observava-se a predominância de interesses políticos e econômicos sobre os requisitos sanitários; vii) faltava transparência e veracidade nas informações sobre a situação sanitária real (SUTMOLLER et al., 2003).

Como consequência, a febre aftosa atingiu toda a região sul da América do Sul, exceto o Chile. Em agosto de 2000, os estados brasileiros de Santa Catarina e Rio Grande do Sul tiveram sua classificação de livres da febre aftosa suspensa por conta de focos da doença e, em outubro, a febre aftosa foi diagnosticada no Uruguai – que optou pelo abate dos animais infectados e, posteriormente, manteve seu *status* de livre sem vacinação. No mesmo ano, o governo do Paraguai, em vista da disseminação da doença em áreas adjacentes e da vulnerabilidade de sua infraestrutura sanitária, reintegrou a vacinação geral de seu rebanho (SUTMOLLER et al., 2003).

Em maio de 2001, o Rio Grande do Sul sofreu um novo surto, como consequência da epidemia iniciada na Argentina em abril desse mesmo ano, e restabeleceu a vacinação sistemática do seu rebanho, assim como foi feito na Argentina (SUTMOLLER et al., 2003). As restrições de movimentação associadas à regionalização, por conta do surto, impediram a movimentação normal de animais, interrompendo, assim, os padrões de produção. Estima-se que, se este surto não tivesse ocorrido, a oferta de carne bovina no Brasil poderia ter crescido 1% e as exportações poderiam ter sido 6% maiores (COUNTRYMAN; HAGERMAN, 2016).

Ainda em 2001, o Uruguai sofreu um novo surto, quando a doença se espalhou por regiões onde nunca fora encontrada antes e, em poucos dias, já havia tomado o país inteiro. Quando o primeiro foco foi registrado, a 70 quilômetros da fronteira com a Argentina (onde o vírus já havia sido identificado), estabeleceu-se um anel de vacinação, posteriormente estendido para formar uma barreira de proteção. Entretanto, alguns dias antes do reconhecimento do surto, bovinos se dispersaram para outras regiões do país por conta de um leilão, de modo que a epidemia já havia tomado o país, levando à proibição de toda movimentação, trânsito e comércio de animais em todo o território uruguaio (SUTMOLLER et al., 2003).

Entre abril e julho de 2001, 1.762 fazendas infectadas foram relatadas no Uruguai. O sacrifício de animais ocorreu apenas entre os dias 25 e 29 de abril, sendo que 5.295 bovinos,

1.481 ovelhas e 332 porcos foram eliminados. O movimento de pessoas nas fazendas não foi proibido, diferentemente do que se verificou no Reino Unido naquele mesmo ano (CHOWELL et al., 2005).

A criação de gado era (e ainda é) a principal atividade agrícola do Uruguai e o pilar da economia. Em 2001, a atividade representou mais de 65% das exportações uruguaias. Isto posto, como a extensão da epidemia de febre aftosa, em 2001, era muito grande, optou-se por aplicar uma medida de controle baseada na vacinação de emergência. Um total de 24 milhões de doses de vacinas contra febre aftosa foram distribuídas durante duas rodadas de vacinação para cobrir uma população de 10,6 milhões de animais em cada rodada (SUTMOLLER et al., 2003).

A primeira rodada de vacinação em massa ocorreu entre os dias 5 e 28 de maio de 2001 com a expectativa de 60 a 70% de eficácia. Não foram utilizadas vacinas de alta potência, com as quais a imunidade protetora é atingida em 3-4 dias; dessa forma, os níveis protetores máximos dos anticorpos séricos da vacina deveriam levar entre 14 e 28 dias. Essa medida não incluiu bezerros menores de 3 meses, nem suínos ou caprinos. A segunda rodada de vacinação – vacinação de reforço – foi aplicada com uma expectativa de 100% de eficácia entre os dias 15 de junho e 22 de julho. No mês de agosto, apenas casos específicos de febre aftosa foram identificados. O custo estimado de controle da epidemia foi de US\$13,6 milhões, dos quais US\$7,5 milhões foram gastos na compra de vacinas (CHOWELL et al., 2005).

No auge da epidemia, havia entre 40 e 60 novas fazendas infectadas por dia. Após a primeira rodada de vacinação, esse número caiu para menos de uma dezena e, depois da segunda rodada, apenas alguns casos esporádicos foram identificados. O último foco ocorreu em uma fazenda leiteira em 21 de agosto de 2001. Em outubro do mesmo ano, o Uruguai recuperou seu *status* de livre de febre aftosa, agora com vacinação (SUTMOLLER et al., 2003).

Para Naranjo e Cosivi (2013), surtos esporádicos na região do Cone Sul, em áreas reconhecidas como livres de febre aftosa, podem ser consequência de um nível de circulação viral muito baixo na população bovina, associados a níveis insuficientes de imunidade dos rebanhos para o bloqueio da circulação viral. Este cenário evidencia as deficiências na qualidade das intervenções e na sensibilidade dos sistemas de detecção e resposta.

De acordo com Mahul e Durand (2000), quanto mais cedo a campanha de vacinação de emergência for adotada, menor será o custo desta estratégia, pois quanto mais cedo ela é aplicada, mais eficiente. O adiamento da decisão de vacinar os animais é ótimo apenas se o ganho de esperar por novas informações sobre a propagação da doença supera o custo da

espera. A vacinação de emergência deve ser aplicada principalmente se as autoridades de sanidade animal não puderem controlar a epidemia de febre aftosa que esteja se espalhando em uma região com elevada densidade pecuária – como foi o caso do Uruguai em 2001. Os custos dessa estratégia são, então, compensados pelos ganhos de redução da duração da epidemia. Os custos totais da epidemia são determinados, essencialmente, por restrições ao comércio internacional, as quais dependem principalmente da duração das proibições de importação após o controle dos focos da doença (MAHUL; DURAND, 2000).

O trabalho de Chowell et al. (2005) mostra que a alta velocidade de propagação e a extensão da epidemia de febre aftosa no Uruguai em 2001 decorreram de fortes ligações dentro das regiões do país, as quais estavam fracamente interligadas umas às outras na forma de relações de longa distância. Em outras palavras, a infecção se enfraquecia com a distância, mas a epidemia foi sustentada porque a dispersão de longa distância era reconduzida por fortes dinâmicas locais de contato – de maneira que a dispersão de longa distância provocou focos secundários de infecção da doença dentro das regiões do país.

Sutmoller et al. (2003) ressalta que as forças armadas colaboraram fortemente para o controle das áreas fronteiriças durante a epidemia no Uruguai em 2001, com o intuito de impedir a movimentação ilegal de animais. Tal despesa nunca foi contabilizada nos custos de controle e erradicação do surto.

Na mesma lógica, o estudo de Rweyemamu e Astudillo (2002) estima que o surto de febre aftosa em Taiwan, entre 1997 e 1998 – que durou cinco meses e provocou o abate de 4 milhões de animais – tenha gerado custos diretos de US\$400 milhões e custos indiretos de, aproximadamente, US\$1,6 bilhão por ano; o impacto geral do surto foi estimado em US\$6,9 milhões.

Além disso, o surto que se iniciou na China, em 2010, e se espalhou para a Mongólia, Coreia do Sul e Japão levou ao abate de 3,5 milhões de animais e à vacinação de emergência na Coreia do Sul e no Japão, gerando perdas indiretas para a pecuária e custos de controle que somaram cerca de US\$2,8 bilhões (OXFORD ANALYTICA, 2012).

No Japão, o foco concentrou-se em uma das principais áreas de produção de carne, mas que não dependia de exportações; e, por isso, a vacinação de emergência foi aplicada quando se tornou evidente que o sacrifício de animais não conteria a epidemia (OXFORD ANALYTICA, 2012). A detecção da doença foi lenta. Estima-se que o custo direto do surto, dado pelo abate de animais, foi de US\$ 563 milhões, e o custo indireto, US\$ 281 milhões. Já os gastos com atividades de controle da doença foram estimados em US\$90 milhões, totalizando um gasto de US\$ 934 milhões por conta do surto (HAYAMA et al., 2017).

Com o intuito de conhecer melhor os impactos potenciais de uma eventual ocorrência de febre aftosa na Austrália, um estudo feito pela Comissão Australiana de Produtividade, em 2002, concluindo que um surto de febre aftosa resultaria no fechamento imediato de muitos dos principais mercados de exportação do país. A perda acumulada nas receitas de exportação e no mercado interno foi estimada em, aproximadamente, US\$ 5,7 bilhões para um pequeno surto e em US\$ 13 bilhões para um surto com diversos focos no território nacional (GARNER; BECKETT, 2005).

Foi simulado um surto de febre aftosa no Reino Unido, em 2017. A partir de uma política de abate/sacrifício dos animais infectados, os preços cairiam 7,9%, 24,7% e 17,3%, respectivamente, nos setores bovino, ovino e suíno, em 2017, para um foco de escala mediana. Se o surto tivesse grandes proporções, o impacto negativo sobre os preços seria ainda maior. Os preços da carne bovina, ovina e suína cairiam 9,3%, 31,4% e 22,2%, respectivamente (FENG et al., 2017).

O impacto negativo no preço pode ser atribuído à produção adicional absorvida no mercado doméstico devido à proibição de exportações, o que leva a um aumento na oferta doméstica. O setor de carne ovina apresenta maior declínio de preços devido ao seu alto nível de autossuficiência (FENG et al., 2017).

Um surto de febre aftosa resultaria em um rebanho menor para o ano seguinte, além de reduzir a produção de carne. Para reconstruir o rebanho reprodutor, alguns animais que seriam designados para produção de carne teriam que ser redirecionados para reprodução. Como resultado, a produção de carne seria menor e os preços, maiores em relação aos patamares antes do surto (FENG et al., 2017).

Entre os três setores (bovino, ovino e suíno), o processo de reabastecimento seria mais longo para o setor de carne bovina e, portanto, o preço da carne bovina demoraria mais para retornar aos níveis anteriores ao surto: os preços da carne bovina demorariam cinco anos para retornar ao normal, enquanto no setor de suínos não haveria mais impactos após dois anos do surto (FENG et al., 2017).

Já o estudo de Boisvert et al. (2012) estima as consequências econômicas de uma contaminação generalizada com base em um surto hipotético de febre aftosa nos Estados Unidos. Uma vez que o efeito imediato sobre o setor pecuário pode afetar toda a cadeia de suprimentos e as exportações da pecuária, carne e produtos lácteos desse país, foram medidos os impactos a partir de um modelo de equilíbrio geral computacional. Os choques imediatos para os setores de pecuária, leite cru e outros produtos de origem animal afetam indiretamente todos os setores da economia, bem como mercados e comércio internacionais.

Os resultados indicam que as perdas para a economia norte-americana seriam de cerca de US\$11,7 bilhões, com efeito propagado para o resto do mundo – o que somaria perdas da ordem de US\$14,1 bilhões, incluindo os países beneficiários (Argentina, Brasil, outros países da América Latina, Austrália e Nova Zelândia) e os prejudicados (Canadá México e União Europeia) (BOISVERT et al., 2012).

Se o surto ocorresse na costa leste dos Estados Unidos, estima-se que as perdas totais de valor agregado seriam de quase US\$800 milhões, enquanto as perdas na renda do trabalho totalizariam cerca de US\$565 milhões; seriam perdidos mais de 12 mil empregos. A demanda por subprodutos da pecuária cairia em 11%, ao passo que a demanda por leite e por laticínios, em 23% e 8%, respectivamente (BOISVERT et al., 2012).

Por outro lado, Carpenter et al. (2011) simulam um foco de febre aftosa na Califórnia. Com um atraso no diagnóstico de 7 a 22 dias, o número médio de animais abatidos poderia variar de 8.700 a 260.400 cabeças; sendo que o máximo seria de, aproximadamente, 419.300 animais. As perdas totais, estimadas a partir das simulações, em nível nacional, poderiam atingir entre US\$10,7 bilhões e US\$130,0 bilhões, se o prazo para diagnóstico for de 7 para 22 dias. Nesse contexto, a perda nacional do excedente agropecuário poderia variar de US\$2,3 bilhões a US\$69,0 bilhões, dependendo da demora na identificação do surto.

Estabelecendo um prazo de 21 dias para a confirmação do surto, estima-se que as perdas econômicas no estado da Califórnia chegariam a US\$55,4 bilhões: custos diretos representariam cerca de US\$53 bilhões e custos indiretos, US\$2,4 bilhões. Com base na suposição de que a febre aftosa só seria diagnosticada 21 dias após a infecção inicial, as perdas associadas a uma hora adicional de atraso seriam significativas: o número estimado de animais abatidos seria 3.550 e a perda nacional média no superávit agrícola total chegaria a US\$565 milhões, por hora de atraso (CARPENTER et al., 2011).

Outra análise foi conduzida para o Camboja, onde a criação de ruminantes grandes em pequenas propriedades é uma das principais atividades do país. Uma parcela significativa do comércio desses ruminantes é informal e, às vezes, ilegal, tornando difícil obter informações sobre a cadeia de valor destes animais. O estudo de Shankar et al. (2012) buscou relatar os impactos financeiros e sociais da febre aftosa no Camboja, utilizando dados de 59 famílias afetadas pela febre aftosa em 2006-2007, de um total de 117 famílias, e concluiu que o custo médio agregado da doença no gado bovino por domicílio infectado foi de US\$ 45 (por domicílio), o que equivalia a 10% da renda familiar anual para os domicílios de menor renda. Os riscos de transmissão da doença nesse país são associados ao contato direto do gado de diferentes remessas, ao contato indireto via cochos de água não limpa, caminhões que se

deslocam entre as fazendas e ao conhecimento limitado sobre biossegurança (YOUNG et al., 2016).

No trabalho de Young et al. (2016), o impacto financeiro médio da doença por animal, no Camboja, foi calculado com os seguintes custos médios: i) US\$ 216,32 para animais sobreviventes com tratamento; ii) US\$ 247,54 para animais que foram tratados e substituídos em sua função de tração; iii) US\$ 339,32 para animais que foram tratados e morreram; iv) US\$ 370,54 para animais que morreram depois que foram tratados e substituídos em sua função de tração. Estes custos foram ponderados com base na morbidade de 77,3%, na mortalidade de 7,3% e na frequência de 27% de substituição de animais que antes da infecção eram empregados para tração (YOUNG et al., 2016).

O impacto financeiro médio por ruminante de grande porte com sinais clínicos de febre aftosa, a partir de dados referentes ao surto da doença no Camboja em 2010, foi de US\$ 247,34 com base em um resultado ponderado pelos quatro resultados possíveis considerados acima. O impacto financeiro nacional foi estimado em US\$ 134.829.478, representando 10,6% do valor do produto gerado nas fazendas. O custo anual de vacinação do rebanho foi estimado em US\$ 25.827.373, ou US\$ 6,30 por animal. Os ruminantes grandes são importantes nos sistemas pecuários de pequenos proprietários nesse país e o crescimento sustentável desse mercado tem um potencial significativo para reduzir a pobreza rural e a falta de alimentos. Contudo, segundo Young et al. (2016), isso só é possível com um programa nacional eficiente de controle e erradicação da febre aftosa para o Camboja.

De forma semelhante, o Paquistão, um dos maiores produtores de leite do mundo, tem 95% de sua produção dominada por pequenos produtores. Nesse contexto, Ferrari et al. (2014) estimaram a relação benefício-custo de se promover a vacinação contra febre aftosa – considerada endêmica – no país, levando em conta o fato de não haver vacinação regular dos animais. Ou seja, os autores comparam o cenário de vacinação total do rebanho com o cenário atual de vacinação esporádica e irregular do rebanho. O modelo baseou-se na redução do rendimento do leite e no custo associado à administração de uma vacina de boa qualidade, assumindo que esta seria eficaz na prevenção do aparecimento de sinais clínicos e, consequentemente, reduziria a perda de leite.

A relação entre a perda econômica estimada com a infecção e o custo para prevenir a doença foi estimada em 5,7 – o que significa que um investimento de US\$ 1 para a vacina poderia economizar US\$ 5,7 em perdas de leite no Paquistão. O estudo, entretanto, não considerou outros custos, como os de tratamento dos animais, associados à ocorrência de casos clínicos ou outras perdas menos repentinas, como por exemplo a perda de peso. De

acordo com os autores, se esses custos fossem levados em consideração na análise, provavelmente a relação benefício-custo de vacinar seria superior à estimada (FERRARI et al., 2014).

Outro exemplo é o caso da Etiópia, país onde a febre aftosa é endêmica. Estima-se que o custo anual da doença no país é de, aproximadamente, US\$ 49,8 milhões, sem considerar impactos invisíveis e indiretos da doença – o que leva a uma estimativa conservadora desse custo (JEMBERU et al, 2016).

Em Uganda, cerca de 22% das famílias obtêm seus meios de subsistência da criação de gado e a presença de doenças infecciosas, como a febre aftosa, limita a capacidade do país de acessar os principais mercados de exportação. Surtos frequentes de febre aftosa e as subsequentes proibições de venda de animais e seus subprodutos, provenientes das áreas afetadas durante o período de quarentena, paralisam o mercado da pecuária. Além disso, a doença impõe grandes custos aos pecuaristas e reduz os incentivos para investir em raças de maior rendimento (BALUKA, 2016).

Baluka (2016) ressalta que, em Uganda, a febre aftosa afeta, principalmente, o montante, bem como o tempo e a certeza dos rendimentos dos pecuaristas – em especial, a partir de perdas de leite em grandes rebanhos. Além disso, a doença prejudica o potencial do setor pecuário, compromete a segurança alimentar, afeta os meios de subsistência, reduz o rendimento leiteiro e o peso dos animais; ao mesmo tempo em que aumenta as perdas devido à mortalidade dos animais e aos custos de controle da infecção (BALUKA, 2016).

Observa-se que a rápida expansão da produção pecuária em diversos países não foi acompanhada de investimentos proporcionais para o desenvolvimento de serviços veterinários adequados. Esse desequilíbrio criou um contexto em que as doenças animais podem se espalhar e se manter por um considerável período de tempo, gerando custos em termos de produção perdida e comércio reduzido, além de resultar na morte de animais. A febre aftosa não é uma zoonose – ou seja, não afeta a saúde dos humanos – mas gera custos de bem-estar humano por meio da instabilidade da oferta e dos preços da carne e dos impactos gerados sobre os outros setores da economia interligados à cadeia pecuária (OXFORD ANALYTICA, 2012).

Investimentos para o controle da febre aftosa são feitos com o intuito de reduzir ao máximo as perdas financeiras ocasionadas pela queda da produção e pelo acesso limitado a mercados em situações de surto. Para tanto, os governos devem promover investimentos em pesquisa, educação, serviços veterinários e infraestrutura – considerados custos fixos –, para desenvolver um sistema de saúde animal, e investimentos em programas específicos de

controle e gestão da febre aftosa – chamados de custos variáveis (KNIGHT-JONES; RUSHTON, 2013). A vigilância fornece inteligência vital para que os recursos sejam implantados de forma mais eficaz, pois permite determinar se as atividades de controle estão tendo o impacto desejado e identificar a introdução de doenças no país de forma mais rápida (OXFORD ANALYTICA, 2012).

Knight-Jones e Rushton (2013) reuniram diversos trabalhos relacionados aos impactos da febre aftosa e observaram que programas de controle, em países livres da enfermidade, geram retornos positivos à economia e que, na presença de um surto nesses países, o PIB cai entre 0,2% e 0,6%. Entretanto, os autores ressaltam a falta de estudos que calculem as perdas generalizadas e contínuas, que limitam o desenvolvimento do setor pecuário, para países endêmicos altamente dependentes da pecuária e com grande número de animais afetados.

No Brasil, no estado do Mato Grosso do Sul, 21 focos de febre aftosa foram registrados em 1994, dois em 1998 e dois em 1999, nos municípios de Porto Murtinho e Naviraí. Dois anos após os últimos focos, o estado foi classificado como uma zona livre de febre aftosa pela OIE. No entanto, em setembro de 2005, uma epidemia de febre aftosa irrompeu na região sul do estado – iniciada no município de Eldorado – e, posteriormente, espalhou-se para os municípios de Mundo Novo e Japorã, chegando a fazendas no Paraná (PR); ambas regiões fortemente dependentes da produção e exportação de carne bovina e suína, respectivamente. Esta reintrodução levou à suspensão da classificação de área livre de febre aftosa com vacinação do MS e também de outros estados do Brasil (AMARAL; GOND; TRAN, 2016). A zona de contingência no MS envolveu os três municípios que apresentaram focos e estendeu-se aos municípios de Iguatemi e Itaquiraí³.

Até novembro de 2005, 33 focos foram detectados e 33.741 animais suscetíveis à doença – 32.549 bovinos, 556 suínos e 626 ovinos e caprinos – foram sacrificados. O último foco foi registrado em fevereiro de 2006, totalizando 34 focos confirmados oficialmente durante o surto no estado. Entretanto, informações da Agência Estadual de Defesa Sanitária Animal e Vegetal do Mato Grosso do Sul (IAGRO) mostram que, entre fevereiro e julho de 2007, mais 43,565 bovinos foram abatidos, totalizando 77.671 animais da espécie bovina abatidos por conta do surto de febre aftosa. Avaliou-se que a rede de movimentação de animais entre fazendas influenciou a transmissão da febre aftosa (NEGREIROS et al., 2009).

O surto de 2005 fez com que diversos países proibissem a importação de carne do Brasil. A Rússia era o principal mercado das exportações brasileiras de carne e embargou o

³ Informações fornecidas pelo gerente de Inspeção e Defesa Sanitária Animal da Iagro, Rubens de Castro Rondon, durante reunião em Campo Grande no dia 24 de outubro de 2017.

produto nacional (CEPEA, 2005). O faturamento das vendas nacionais e internacionais sofreu uma forte queda, segundo Garcia et al. (2015), e diversos pecuaristas deixaram o setor. A perda de animais reprodutores subsequentemente levou a uma contração na produção de bezerros nos dois anos seguintes a 2005, com o mercado só voltando a se recuperar em 2008 (GARCIA et al., 2015).

Foi estabelecida uma zona de segurança, definida por um raio de 25 quilômetros em torno dos focos, dividida de acordo com as especificações do Anexo. O estado do MS agiu em cinco etapas para erradicar o vírus na zona de segurança: i) despovoamento, que consistiu no sacrifício do rebanho pecuário; ii) limpeza e desinfecção, dadas pela esterilização do ambiente com produtos químicos e fogo; iii) vazio sanitário, determinado por um período de trinta dias sem animais; iv) introdução de animais sentinelas para monitoramento e avaliação da desinfecção viral do ambiente; e v) repovoamento, ou seja, reintrodução gradativa de animais (GOULART, 2014).

A ação de despovoamento bovino, segundo Goulart (2014), foi a fase de maior impacto social, pois consistiu no ato denominado “rifile sanitário”, que extermina tanto os animais das áreas de foco como o rebanho da zona de segurança, infectados ou não. As carcaças desses animais foram enterradas em valas nos limites das propriedades às quais eles pertenciam.

Embora os proprietários dos animais sacrificados tenham recebido indenizações, elas não foram suficientes, tanto economicamente como emocionalmente, para abrandar os sentimentos de indignação da população. As famílias que ficaram na zona de segurança tiveram suas propriedades invadidas pelos agentes do governo e isso teve implicações no campo emocional delas e em sua relação com o território, como o medo de perder seu rebanho e o medo em relação às medidas de interdição das propriedades por um período de até dois anos após o surto (GOULART, 2014).

Nos municípios onde ocorreram focos no MS, os reflexos dos impactos econômicos devastadores apresentaram-se em todos os setores. Além da queda vertiginosa na pecuária de corte, outros sistemas de produção, principalmente na agricultura familiar, foram praticamente dizimados, como a produção leiteira e de laticínios e até mesmo a produção agrícola, como a melancia. O comércio municipal foi uma das atividades econômicas mais atingidas, vários

estabelecimentos comerciais fecharam e muitas pequenas propriedades foram vendidas a preços irrisórios⁴.

Tal situação já havia sido observada na ocorrência do surto de febre aftosa em Jóia, no Rio Grande do Sul, em 2000. Pettres et al. (2007) relatam que os pecuaristas tinham grande apego a seus animais e que o sacrifício destes causou transtornos emocionais, sendo necessário o amparo psicológico das famílias, que, em grande parte, apresentaram sintomas de estresse e depressão.

As ações de inspeção e vigilância no MS continuaram até a restauração da condição sanitária da região, em agosto de 2008. Os custos foram imensos e não há estimativa para eles – apenas para o total destinado a indenizações. Mas houve despesas com hotéis e combustível para o deslocamento de agentes, e a realização das ações específicas de erradicação dos focos e restabelecimento da condição sanitária perdida. Estes custos foram pagos pelo governo do estado do Mato Grosso do Sul, MAPA e pelo fundo de reserva que era abastecido por taxas cobradas no abate de bovídeos – uma parte por produtores e outra pela indústria frigorífica⁵.

As agências públicas envolvidas nas ações para conter e erradicar o surto foram – além da IAGRO – MAPA, Secretaria de Justiça e Segurança Pública do estado de Mato Grosso do Sul, Secretaria do Meio Ambiente do estado de Mato Grosso do Sul, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), Defesa Civil dos municípios envolvidos, Secretaria de Estado da Produção, Secretaria de Estado da Fazenda, Procuradoria Geral do Estado, Federação de Agricultura e Pecuária do Mato Grosso do Sul (FAMASUL) e associações de classe representantes dos produtores rurais. Apenas da IAGRO, cerca de 500 servidores públicos estiveram envolvidos com o surto direta e indiretamente⁶.

Evidências da persistência de circulação viral da febre aftosa no MS, em fevereiro de 2007, provocaram uma intensificação da vigilância nos municípios de Eldorado, Japorã e Mundo Novo, cujos rebanhos já estavam interditados desde outubro de 2005. Naquele mês também foi promovida uma vacinação reforço de bezerros com até 12 meses. Além disso, o MAPA estabeleceu o cadastramento dos rebanhos e foi criada uma zona tampão no estado para que o vírus não se disseminasse para outras regiões. Nesse contexto, pecuaristas e autoridades sanitárias decidiram realizar um abate sanitário (CEPEA, 2007b).

⁴ Informações fornecidas pelo gerente de Inspeção e Defesa Sanitária Animal da Iagro, Rubens de Castro Rondon, durante reunião em Campo Grande no dia 24 de outubro de 2017.

⁵ Informações fornecidas pelo gerente de Inspeção e Defesa Sanitária Animal da Iagro, Rubens de Castro Rondon, durante reunião em Campo Grande no dia 24 de outubro de 2017.

⁶ Idem.

Em agosto de 2008 houve o reestabelecimento da condição sanitária de zona livre de febre aftosa com vacinação no MS, com exceção da zona de fronteira com o Paraguai, que compreende 11 municípios – Porto Murtinho, Caracol, Bela Vista, Antônio João, Ponta Porã, Aral Moreira, Coronel Sapucaia, Paranhos, Sete Quedas, Japorã e Mundo Novo. Atendendo o acordo estabelecido entre a OIE e o Comitê Veterinário Permanente do Cone Sul (CVP), estabeleceu-se uma região denominada Zona de Alta Vigilância (ZAV) – delimitada entre março e junho de 2007 –, que abrangia os 11 municípios limítrofes com o Paraguai e mais dois municípios na fronteira com a Bolívia (Corumbá e Ladário) – área delimitada entre junho e setembro de 2008 (Figura 3) (MAPA, 2010). Atualmente, esta região tem em torno de 500 mil cabeças de bovinos, podendo chegar a 700 mil em algumas épocas do ano⁷.

A ZAV compreendia todas as propriedades rurais estabelecidas em um raio de ação de até 15 quilômetros a partir da linha de fronteira – linha hipotética para referência na definição da zona. A OIE determinou o cumprimento de uma série de ações, conforme descrito abaixo, que deveriam ser tomadas pelo serviço de defesa animal oficial do estado que, posteriormente, seriam auditadas pelo MAPA e pela própria OIE, e serviriam de base para possibilitar o reestabelecimento da condição sanitária àquela região (BRASIL, 2008). A condição de zona livre de febre aftosa com vacinação foi recuperada em março de 2013. Entretanto, até hoje a OIE mantém algumas das exigências mais rígidas, em relação ao resto do país, para a zona de fronteira do MS:

- Cadastro georreferenciado de todas as propriedades rurais com animais suscetíveis à febre aftosa;
- Identificação individual de longa duração para aplicação de vacina em todos os bovinos e bubalinos;
- Sistema de fiscalização e acompanhamento oficial da vacinação contra a febre aftosa.
- O trânsito e o comércio de animais e produtos de origem animal de risco para febre aftosa, com origem na zona de fronteira, devem considerar os mesmos requisitos exigidos para regiões de origem classificadas como BR-3 (risco médio) para essa doença, de acordo com a condição sanitária do destino.

⁷ Informações fornecidas pelo gerente de Inspeção e Defesa Sanitária Animal da Iagro, Rubens de Castro Rondon, durante reunião em Campo Grande no dia 24 de outubro de 2017.

Figura 3 - Representação geográfica do Estado do Mato Grosso do Sul, com destaque para a ZAV
Fonte: BRASIL (2010)

Esse quadro descrito acima permite afirmar que os efeitos de um surto de febre aftosa são muito significativos. A expressiva perda de mercado como a do MS, em 2005 e 2006, a redução brusca dos preços no período e os altos custos e esforços do serviço de defesa sanitária oficial mostram as proporções que a doença pode tomar, ainda que seja controlada de forma rápida dentro de uma região. O Uruguai, por exemplo, não conseguiu controlar tão rapidamente o surto, em 2001, e passou a vacinar os animais ao invés de abatê-los, tamanha a dimensão que a epidemia havia tomado. O exemplo do Reino Unido, também em 2001, mostra que os impactos da doença vão além do setor pecuário, pois os prejuízos do surto estenderam-se até o setor de turismo. Avaliando esses efeitos, conclui-se, então, que é fundamental conhecer os riscos e desafios do Brasil para o controle da movimentação de animais e para a manutenção de seu *status* de país livre de aftosa.

2.4. Desafios e riscos

Estudos da Aliança Mundial para Pesquisa da Febre Aftosa (Global Foot-and-Mouth Disease Alliance – GFRA) identificaram os maiores obstáculos para prevenção, detecção e controle da febre aftosa no mundo. Em primeiro lugar, destacam-se a educação e formação

precárias de veterinários e criadores de gado para a detecção de sinais precoces de febre aftosa. Poucos veterinários tiveram a oportunidade de observar lesões de febre aftosa e, em sua maioria, agricultores e pecuaristas não são treinados para reconhecer a doença. Além disso, a febre aftosa pode ser confundida com outras doenças vesiculares e apenas testes laboratoriais podem confirmá-la (GFRA, 2010).

A falta de conscientização da população leva à ineficácia de programas de prevenção e erradicação da febre aftosa. Fornecer informações adequadas sobre a transmissão da doença e convencer as pessoas a tomarem as devidas precauções não é uma tarefa simples. Isso é especialmente desafiador quando um ganho econômico individual de curto prazo pode ser obtido ao se ignorar tais precauções. Desafios também podem surgir da falta de cooperação entre funcionários dos órgãos oficiais e pecuaristas, bem como da falta de cooperação entre os departamentos do governo e entre os governos de diferentes países – a propagação de um surto é melhor controlada quando os países fronteiriços se comunicam e cooperam (SMITH et al., 2014).

Em seguida, os estudos discutem sobre a falta de kits de teste comerciais (portáteis ou de campo) de qualidade para o controle da doença; a falha de métodos sorológicos para determinar se o animal está infectado ou não, quando ele já foi vacinado; a ausência de um sistema de vigilância para o reconhecimento precoce de sinais ou para encontrar provas de infecção; e a carência de sistemas internacionais de vigilância confiáveis para coletar e analisar informações sobre a febre aftosa (KNIGHT-JONES et al., 2016).

No Brasil, por exemplo, em 2007, por recomendação da OIE, foi criada uma zona de alta vigilância no MS, que consiste em uma área de 15 quilômetros ao longo de cada lado da fronteira entre o Paraguai, o Brasil e a Bolívia. A implementação de tal zona deveu-se à instabilidade epidemiológica observada na região, com ocorrências frequentes de surtos de febre aftosa em áreas de fronteira, mas sem esclarecer a origem do agente viral (MAPA, 2010).

No trabalho de Amaral, Gond e Tran (2016), os dois fatores considerados de maior risco para a introdução da febre aftosa no MS foram a entrada de animais nas fazendas e a distância das mesmas em relação à fronteira. A distância da fronteira com o Paraguai foi considerada um dos fatores de risco mais importantes, pois, embora o país tenha o mesmo status sanitário que o Brasil – livre de febre aftosa com vacinação –, em 2011, apresentou um surto da doença, mostrando que ainda havia alguma fragilidade no controle e erradicação da febre aftosa.

Além disso, Amaral, Gond e Tran (2016) afirmam que os assentamentos consistem no tipo de fazenda que representa maior risco de entrada da febre aftosa no MS, principalmente porque a maior parte deles está localizada ao longo de áreas fronteiriças do lado brasileiro. O estudo foi realizado a partir de três municípios-chave no estado ao longo da fronteira com o Paraguai e a Bolívia: Porto Murtinho (no extremo norte do estado), Ponta Porã (no centro) e Mundo Novo (no sul do estado). Os riscos considerados pelos autores para a introdução da febre aftosa no estado foram: densidade de animais (cabeças por hectare), presença de animais jovens (de 0 a 24 meses), presença de outras espécies suscetíveis, distância das rodovias principais, distância da fronteira, distância de matadouros e laticínios, distância de leilões, entrada de animais, envio de animais e tipo de propriedade.

O estudo dos autores supracitados indicou que, dentre os três municípios, Ponta Porã apresentou maior risco de introdução da febre aftosa, considerando todos os fatores de risco elencados, levando-se em conta que 86% dos estabelecimentos presentes no município são caracterizados como assentamentos. O trabalho concluiu que a grande quantidade de fazendas familiares ao longo dessa ampla fronteira, caracterizada por 700 quilômetros de fronteira seca entre Paraguai, MS e Bolívia, dificulta o controle sanitário na região (AMARAL; GOND; TRAN, 2016).

No entanto, estudos mostram que os modelos matemáticos atualmente empregados para a análise de surtos de febre aftosa e de seu controle foram elaborados de uma forma que não permite avaliar em tempo real a relação custo-benefício de estratégias alternativas de vigilância, controle e amostragem. Evidenciando a relevância da proposta desta dissertação no âmbito econômico, reconhece-se que existe necessidade patente de melhores ferramentas analíticas para apoiar as decisões de controle da doença. Por fim, diversos aspectos da epidemiologia e da transmissão da febre aftosa ainda não foram decifrados, como a influência de fatores virais sobre a persistência e a disseminação do vírus dessa enfermidade (KNIGHT-JONES et al., 2016).

A vacinação, tanto de emergência quanto de rotina, faz parte de todos os programas existentes de controle da febre aftosa. Entretanto, não houve qualquer mudança significativa nas vacinas tradicionais contra a doença nas últimas três décadas. Tais vacinas proporcionam uma imunidade limitada contra os diferentes tipos de vírus e, por isso, requerem um esforço contínuo para manter a proteção efetiva (KNIGHT-JONES et al., 2016). O vírus da febre aftosa apresenta sete sorotipos diferentes, mas cada sorotipo apresenta diversos subtipos que são difíceis de classificar, porque dispõem de antígenos diferentes e complexos (CHEN, 2001).

Ademais, as vacinas são caras, envolvem certo risco em sua produção – uma vez que esta exige a cultura de grandes quantidades de vírus ativo para posterior inativação – e, depois de formuladas, precisam de armazenamento na cadeia de frio até o momento da aplicação (KNIGHT-JONES et al., 2016). Aliás, variações significativas nos métodos de produção dos fabricantes e nos testes de controle de qualidade podem afetar o desempenho das vacinas contra a febre aftosa no campo (GFRA, 2010).

Embora as vacinas estejam disponíveis, elas podem ser custo-proibitivas e limitadas em disponibilidade para muitas regiões endêmicas. Em uma análise custo-benefício para a erradicação da febre aftosa no Sudão, por exemplo, estimou-se que 81% dos custos de erradicação da doença seriam atribuídos à compra da vacina (SMITH et al., 2014).

Outro problema reside no fato de que as vacinas disponíveis não podem proteger os animais da condição de portador. Depois de recuperados da infecção por febre aftosa, aproximadamente 50% dos ruminantes tornam-se portadores da doença, com uma infecção subclínica persistente. Estes animais apresentam um risco preocupante para animais suscetíveis, pois permanecem como reservatórios de infecção. Nenhuma vacina atualmente ofertada proporciona a chamada “imunidade estéril”, isto é, a vacinação não necessariamente impede uma infecção subsequente e/ou o desenvolvimento de portadores persistentes do vírus da febre aftosa (GFRA, 2010). Esta consiste em uma das fragilidades do sistema com vacinação e um dos riscos também em um processo de retirada da vacinação.

Por outro lado, quando uma política de controle baseada no sacrifício e eliminação dos animais é adotada, surge um obstáculo logístico significativo. Devido à persistência do vírus, mesmo em tecidos mortos, as carcaças devem ser descartadas de forma a prevenir uma transmissão posterior, mas para alguns países essa eliminação/destruição pode ser economicamente inviável. Além disso, colocar os animais em zonas de quarentena pode se tornar um obstáculo, já que muitas das regiões endêmicas da febre aftosa têm uma estrutura governamental limitada para impor tais zonas. Mesmo que uma quarentena seja imposta, sem testes e vigilância completos ao final do período de isolamento, animais infectados podem ser liberados de volta ao rebanho (SMITH et al., 2014).

A necessidade de ferramentas analíticas para apoiar o processo de tomada de decisão em contextos endêmicos torna imperativo o desenvolvimento de: modelos epidemiológicos para prever a severidade, duração e probabilidade de transmissão da doença; modelos para avaliar o grau de sucesso das intervenções de controle e prevenção; modelos que projetem a propagação da doença em determinada região sob várias estratégias de controle e que podem ser adotados no desenvolvimento de programas de controle da doença; e modelos de

amostragem de vigilância que identifiquem uma combinação ótima entre o tamanho da amostragem, a frequência e a segmentação para a probabilidade de detectar a circulação do vírus da febre aftosa, ao invés de detectar apenas a doença (GFRA, 2010).

Ademais, de acordo com Sumption, Rweyemamu e Wint (2008), muitas análises sobre a ocorrência da febre aftosa são limitadas pela quantidade e qualidade dos dados reportados à OIE. Além da incidência da doença, existem outros fatores que afetam a probabilidade de surtos e o movimento da enfermidade de um país para o outro, como: a) a ineficiência de notificação da doença à OIE; b) a presença de animais selvagens capazes de atuar como portadores; c) a eficácia do controle da circulação através das fronteiras do país; e d) a observação de casos da doença nos últimos anos dentro do país.

Vários fatores que influenciam a disseminação da doença podem provocar um surto que se sobreponha às medidas de controle, mas três deles são cruciais de acordo com Gale et al. (2015): um surto pode começar antes da detecção do primeiro rebanho infectado; podem faltar os recursos necessários para o despovoamento; e pode ocorrer um prolongado período infeccioso antes do aparecimento dos sinais clínicos. No Reino Unido, em 2001, a transmissão a longa distância teve papel crucial na epidemia de febre aftosa, mostrando que a movimentação de animais foi responsável pela difusão da doença. Segundo Chen (2001), a febre aftosa já havia se espalhado por toda a rede de comercialização de animais antes de ser detectada.

Na região da América do Sul, vários programas nacionais de ação contra a febre aftosa não levam em conta a avaliação de riscos e ameaças externas. Para Saraiva (2004), os programas destes países devem conter uma estratégia orientada para o enfoque regional, baseada em um método de análise de risco, e a vacinação em cada país deve ser aplicada de forma homogênea a fim de equalizar a imunização em todo o subcontinente. Tais programas devem incluir atividades conjuntas entre os países que envolvam a prevenção primária, como vigilância, e a execução e avaliação do controle e da erradicação. Devem também priorizar as áreas fronteiriças, com cobertura territorial bem definida. Dessa forma, é possível criar uma “fronteira epidemiológica” para proteger as áreas livres da febre aftosa contra a reintrodução da doença.

Para o Reino Unido, Delgado et al. (2016) apresentam uma avaliação de risco sistêmica para a introdução da febre aftosa na região, utilizando uma rede para representar o sistema pecuário do país, possibilitando uma análise de todas as vias de exposição disponíveis. A avaliação do risco sistêmico pode destacar áreas fora do controle da doença que são diretamente relevantes para a disseminação da enfermidade. Por conseguinte, pode

revelar-se uma poderosa ferramenta adicional para demonstrar a necessidade de implementar controles da doença nos casos que anteriormente não faziam parte do sistema (DELGADO et al., 2016).

A rede é uma representação do sistema que descreve todos os fatores que influenciam a transmissão, que, por interagirem com o vírus da febre aftosa, estabelecem uma conexão que liga a fonte da doença a um receptor suscetível, e que também descreve os controles e regulamentos em vigor, aos quais esses fatores devem ser submetidos para interromper as conexões entre a fonte e os receptores e, assim, evitar a exposição (DELGADO et al., 2016).

A fundamentação do modelo apresentado por Delgado et al. (2016) é a rede representada por uma matriz de iteração, que evidencia todas as conexões adjacentes possíveis no sistema, para criar todos os caminhos possíveis de exposição, e considera três formas de contribuição para o risco de exposição à doença no caso daquele trabalho considerando: os países da União Europeia com casos confirmados de febre aftosa, países fora da União Europeia e laboratórios. A partir dessas redes foram geradas 544.066 vias teóricas de exposição à febre aftosa para todas as espécies suscetíveis (bovinos, suínos e caprinos) e formas de produção (intensiva, extensiva, produção de carne, produção de leite e fazendas com espécies misturadas), considerando as três fontes de exposição citadas anteriormente. Isso permitiu uma melhor compreensão sobre o comportamento dos componentes do sistema e sua influência sobre a vulnerabilidade do mesmo durante uma potencial incursão de febre aftosa no Reino Unido (DELGADO et al., 2016).

Os resultados da análise de sensibilidade da rede mostraram que as ações humanas têm papel importante na introdução do agente da doença vindo de outros países. Além disso, observou-se que a população humana também desempenha um papel significativo na exposição de animais do rebanho ao vírus da febre aftosa, assim como o ambiente, os animais selvagens e os agropecuaristas vizinhos. O estudo apresentou uma redução do risco residual da ordem de 83% a partir de melhorias na capacidade de prevenção da transmissão da doença por meio de movimentos legalizados de animais e produtos animais, enquanto a análise sobre os movimentos ilegais, considerando uma melhor prevenção de transmissão da febre aftosa, revelou uma redução no risco residual de exposição de apenas 0,06% (DELGADO et al., 2016).

O trabalho de Donaldson (1997), por sua vez, ressalta o risco de disseminação da febre aftosa a partir do movimento de leite não tratado entre fazendas, dado que o leite do animal que incuba a febre aftosa pode conter o vírus por até quatro dias antes do aparecimento dos sinais clínicos da doença. Existe uma chance de transmissão da febre aftosa por meio da

transferência do vírus existente no leite contaminado do caminhão-tanque para o chão quando é feita a transferência do leite para o tanque da fazenda – geralmente próximo ao local de ordenha –, considerando que o leite infectado pode ser derramado durante o acoplamento ou o desacoplamento no tanque. Também existem três mecanismos possíveis pelos quais os animais podem ser infectados com leite contaminado. Os animais podem ingerir o leite, inalar gotículas infecciosas ou o leite pode contaminar as pessoas que, subsequentemente, lidam com eles. O estudo foi realizado considerando que relações epidemiológicas foram encontradas entre as rotas de tanques de leite e a disseminação da febre aftosa durante as epidemias de 1967-68 no Reino Unido e de 1982 na Dinamarca (DONALDSON, 1997).

Portanto, as normas de prática em fazendas e na indústria de laticínios devem ser levadas em consideração, dado o contexto de possível contaminação de um produto a partir do leite não tratado. O risco de contaminação com a febre aftosa pelo leite deve ser considerado até pela indústria farmacêutica, pois ela utiliza alguns componentes do leite – os quais podem ser injetados em animais suscetíveis à doença ou incorporados em culturas laboratoriais onde o vírus poderia se replicar. No entanto, Donaldson (1997) adverte que este risco só é válido para o leite sem tratamento, pois o risco de um produto lácteo ser veículo para a transmissão do vírus da febre aftosa após um processo envolvendo tratamento a altas temperaturas, ou pasteurização seguida de um tratamento com ácido, é remoto.

Todos os fatores aqui elencados mostram que existe a ausência de uma integração entre a economia que rege o movimento de animais e os produtos de origem animal com a biologia da transmissão da febre aftosa, tornando mais difícil desenvolver estratégias de mitigação de riscos. Neste sentido, é importante que a elaboração de novas regulamentações – sejam elas sobre administração da segurança alimentar ou sobre comércio – seja acompanhada por consultas a atores das cadeias de valor da pecuária. Aumentar os custos de transação sem o apoio dos agentes afetados pode impulsionar o desenvolvimento de redes comerciais informais/ilegais pelas quais as doenças podem ser transmitidas (OXFORD ANALYTICA, 2012).

3. METODOLOGIA

3.1. Redes socioeconômicas

Este estudo da dinâmica econômica dos fluxos da pecuária sul-mato-grossense é conduzido essencialmente por meio da análise das chamadas redes socioeconômicas. A análise de redes socioeconômicas tem a sua origem na sociologia (SCOTT, 1988) e permite a avaliação de dados relacionais assim como a modelagem de estruturas resultantes da interação entre agentes inseridos em um sistema complexo, por meio da utilização de medidas e algoritmos formais advindos da teoria dos grafos (JACKSON, 2010).

As relações são importantes porque podem contribuir para o exame de comportamentos, bens, informações, epidemias etc. Dessa forma, a análise de tais redes oferece a metodologia apropriada para descrever e explorar relações socioeconômicas, permitindo detectar e interpretar os padrões que emergem nas relações sociais e econômicas entre os agentes que compõem a estrutura da rede (DE NOOY et al., 2005).

Assim, a utilização de redes socioeconômicas neste trabalho viabiliza a inserção da dimensão estrutural e o efeito de propagação na análise, ao considerar a interdependência entre os agentes que compõem as estruturas (NEWMAN, 2010). Além dessa interdependência, a heterogeneidade dos agentes e das próprias relações assim como a alta dimensionalidade ou complexidade do problema são fatores que acabam naturalmente sendo considerados pelas redes, potencializando ainda mais a adequação desse instrumento ao problema aqui tratado.

A aplicação da análise de redes socioeconômicas em epidemiologia veterinária é relativamente recente, sendo que a técnica foi apresentada, pela primeira vez, em uma conferência em 2002 (WEEB; SAUTER-LOUIS, 2002) e os primeiros trabalhos foram publicados em 2003 (CHRISTLEY et al., 2003; CORNER et al., 2003).

Desde então, a análise de redes tem sido amplamente utilizada para analisar movimentos de animais, como por exemplo, nos trabalhos de GREEN et al., 2006; KISS et al., 2006; WEBB, 2006; KAO et al., 2007; ROBINSON et al., 2007; NATALE et al., 2009; AZNAR et al., 2011; NÖREMARK et al., 2011; MWEU et al., 2013; BROOKS-POLLOCK et al., 2014; VANDERWAAL et al., 2016. Isto porque a análise da estrutura da rede permite identificar alvos de vigilância, intervenção e controle.

Um dos principais usos da análise de redes socioeconômicas na epidemiologia veterinária é como uma ferramenta de análise para avaliar as movimentações de animais que

já ocorreram, extrapolando para o que poderia acontecer no futuro. Isso permite avaliar o impacto das medidas de controle de doenças de acordo com a estrutura da rede e tentar prever o tamanho potencial da epidemia após a introdução de uma doença altamente contagiosa (DUBÉ et al., 2011).

Uma rede é uma coleção de unidades de interesse que podem ou não estar conectadas. A estrutura da rede é representada por um grafo, que consiste em um conjunto de vértices – também chamados de nós – e um conjunto de linhas – denominadas *links* –, onde cada linha conecta dois vértices. Um nó é a menor unidade de uma rede e indica um ator da mesma, sendo que, no presente estudo, cada ator consiste em um município. O tamanho de uma rede é representado pelo número total de nós nela presentes (DUBÉ et al., 2011). Já o *link* representa a relação ou o vínculo entre dois atores – neste trabalho, ele é dado pela movimentação de animais entre os municípios (DE NOOY et al., 2005).

Um *link* pode ser direcionado ou não direcionado. Se direcionado, ele é chamado de arco. Fundamentalmente, um arco é um par de vértices ordenados no qual o primeiro vértice é o remetente (cauda do arco) e o segundo, o receptor (cabeça do arco), de tal maneira que o arco aponta do remetente para o receptor. Sendo assim, um grafo direcionado contém um ou mais arcos (DE NOOY et al., 2005).

Dessa forma, a rede é definida por um grafo e informações adicionais sobre os nós e os *links* do grafo. Ressalta-se que essas informações adicionais são irrelevantes para a estrutura da rede, já que tal estrutura é definida pelo padrão das relações. Contudo, as informações adicionais – chamadas de atributos – permitem, por exemplo, neste estudo, identificar qual município é representado por determinado vértice. Além disso, elas possibilitam associar o peso de cada relação aos *links* – peso que, aqui, é representado pelo volume do fluxo de animais entre dois municípios.

As redes socioeconômicas geralmente apresentam grupos densos de relações entre agentes. Tais grupos são considerados coesos e a hipótese inicial é de que os agentes se agrupam por motivos que vão além da simples interação entre eles. Em outras palavras, a coesão significa que a rede possui muitas ligações, o que se traduz em uma estrutura mais estreita. A densidade da rede é a medida que expressa a ideia de coesão e consiste na quantidade de relações em uma rede, expressa como uma proporção do número máximo possível dado o número de agentes que a constituem (DE NOOY et al., 2005).

Entretanto, a densidade de uma rede depende do seu tamanho, impossibilitando a comparação entre redes de tamanhos diferentes. Uma alternativa é observar o grau médio dos vértices, designado pelo número de relações em que cada vértice está envolvido

proporcionalmente ao total de relações da rede (JACKSON, 2010). Em uma rede direcionada, quando se trata do grau de um nó, cabe fazer uma distinção entre o número de arcos que apontam para um vértice, chamado de *indegree*, e o número de arcos que saem do vértice, valor denominado *outdegree* (MARTÍNEZ-LÓPEZ et al., 2009b).

Uma análise interessante para esta pesquisa é a identificação de agentes centrais e periféricos na rede. Isto porque, o que quer que seja transmitido em uma rede socioeconômica terá maior probabilidade de chegar mais rapidamente a um agente central, em função da sua maior conectividade local. Sendo assim, o indicador mais simples de centralidade local de um vértice é o seu número de nós vizinhos (DE NOOY et al., 2005).

No caso de uma rede direcionada, quanto maior o *indegree* de um vértice, mais rápida será a transmissão até ele, e quanto maior o *outdegree*, mais rápido o vértice impulsionará a transmissão – e, logo, o vértice será mais central (DE NOOY et al., 2005). No caso deste estudo, a movimentação de entrada cria oportunidades para adquirir animais infectados, o que pode fazer dos municípios altamente conectados importantes sentinelas para vigilância. De forma semelhante, níveis elevados de envio de animais significam que, se infectados, os municípios têm o potencial de espalhar a doença amplamente dentro da rede (VANDERWAAL et al., 2016). Tais medidas são apresentadas para as redes discutidas nos resultados obtidos.

Além disso, é interessante considerar a centralidade de intermediação, ou *betweenness centrality*. Esse terceiro tipo de centralidade é fundamentado na ideia de que um nó é mais central se ele é mais importante na intermediação da transmissão dentro da rede. Ou seja, trata-se de uma medida de centralidade global, já que considera tanto as relações diretas como indiretas do nó. Isso significa que os vértices mais centrais, conforme essa medida, são aqueles cuja remoção interromperia mais facilmente o processo de difusão na rede, pois isso a fragmentaria ou reduziria significativamente sua conectividade ao eliminar, com sua retirada, uma quantidade expressiva de caminhos entre nós; diminuindo, assim, a acessibilidade de um nó ao outro (DUBÉ et al., 2011). Dessa forma, a centralidade de intermediação mede a influência que um vértice possui sobre a velocidade da difusão e comunicação entre os outros vértices (NEWMAN, 2010).

Espera-se que níveis mais altos de conectividade sejam indicadores importantes da vulnerabilidade das redes comerciais a doenças infecciosas (KEELING; EAMES, 2005; MARTÍNEZ-LÓPEZ et al., 2009a). As medidas de centralidade adotadas neste trabalho foram selecionadas porque sua associação com a difusão de doenças infecciosas já foi demonstrada em outras análises (KISS et al., 2006; ORTIZ-PELAEZ et al., 2006; NATALE

et al., 2009; VOLKOVA et al., 2010; VANDERWAAL et al., 2016). Grau e número de animais enviados e recebidos são medidas que quantificam diretamente a proporção em que os nós individuais e seus vizinhos imediatos se envolvem em movimentações (VANDERWAAL et al., 2016).

As métricas de conectividade ou centralidade de um município dentro da rede, como o número de municípios com os quais está conectado, correlacionam-se com a probabilidade de ele se infectar e o tempo até a infecção. Essas métricas geralmente exibem níveis extremos de heterogeneidade entre os municípios, evidenciando estruturas de rede complexas, com alguns municípios funcionando como hubs⁸ de movimentação. Esses municípios têm o potencial de espalhar a doença mais rapidamente dentro da rede e, por isso, podem ser desproporcionalmente relevantes para o espalhamento de patógenos (VANDERWAAL et al., 2016).

A alta centralidade pode facilitar ou impedir a disseminação do vírus, dependendo de quais municípios se contaminam no início de um surto. Surtos de uma doença infecciosa podem ser limitados se forem introduzidos em um nó periférico, uma vez que o vírus pode ter poucas oportunidades para se espalhar. No entanto, a transmissão pode ser explosiva se a doença atingir um nó altamente conectado, demonstrando que redes nas quais se observam altos graus de centralidade são mais vulneráveis a surtos de grande extensão e com rápida velocidade de disseminação (VANDERWAAL et al., 2016).

A análise de redes tem sido amplamente empregada para explorar estratégias de vigilância e controle baseadas em risco, a partir da identificação de nós que se encontram em pontos de estrangulamento dentro da rede ou que estão altamente conectados. Tais medidas específicas são muito mais eficazes para limitar a propagação da doença do que os esforços não-direcionados (VANDERWAAL et al., 2016).

Os movimentos de gado, geralmente, são locais, embora os nós com alta centralidade tenham maior probabilidade de se envolverem em movimentações de longa distância. Assim, os movimentos feitos por grandes municípios podem ser veiculadores importantes pelos quais o vírus chega até regiões anteriormente não infectadas. Durante um surto, a vigilância direcionada de municípios centrais em regiões não afetadas tem maior chance de detectar a introdução do patógeno. Da mesma forma, as restrições de movimentação direcionadas a estes municípios podem ser mais propensas a evitar uma disseminação espacial ampla do vírus (VANDERWAAL et al., 2016).

⁸ Um hub é um nó muito conectado dentro da rede (DE NOOY et al., 2005).

Para construir as redes propostas neste trabalho, com a finalidade de dar suporte a uma discussão econômica sobre potenciais impactos de focos de febre aftosa na pecuária bovina, foram usados os dados de movimentação de bovinos relativos às Guias de Trânsito Animal (GTAs) do Mato Grosso do Sul, para os anos de 2014 e 2015. A GTA é o documento oficial para o transporte de animais no Brasil, contendo as informações sobre a origem, o destino, as condições sanitárias e a finalidade do transporte animal; com o propósito de fiscalizar o trânsito de animais dentro do país (MAPA, 2017).

A emissão da GTA é de atribuição exclusiva de representantes do serviço veterinário oficial, quais sejam, médicos veterinários do MAPA (veterinários federais), médicos veterinários dos órgãos executores de defesa sanitária animal estaduais (veterinários estaduais) e funcionários autorizados dos órgãos executores de defesa sanitária animal (MAPA, 2007b). De forma geral, as GTAs são de responsabilidade direta de cada estado, sendo reguladas em nível nacional pelo MAPA.

As GTAs utilizadas mostram registros diários do número de animais movimentado no MS, e fornecem o município de origem e de destino dentro do estado e em outros os estados destinatários de animais do MS. Ademais, elas contêm informações sobre a finalidade para a qual houve essa movimentação. Na base de dados original, estas finalidades eram: abate, engorda, reprodução, esporte, leilão, exportação, exposição e serviço. Para fins de simplificação, tais finalidades foram agregadas em quatro grupos: abate, reposição (inclui engorda e reposição), eventos (inclui esporte, leilão e exposição) e outras (inclui exportação e serviço). É importante considerar as diferentes finalidades, pois animais movimentados para reposição ou para participação em leilões e outros eventos continuam vivos e podem ter maior influência no processo de difusão da infecção dentro da rede.

As GTAs são informações sigilosas e foram obtidas, em 2017, por meio do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, grupo de pesquisa vinculado à Universidade de São Paulo.

Em 2014, o MS emitiu 451.773 GTAs, enquanto em 2015 foram registradas 416.743. As informações dessas GTAs foram processadas utilizando o software R para condensar os fluxos de animais entre os municípios, de modo que as redes construídas não apresentassem múltiplos arcos entre dois municípios, mas um único arco que representasse a soma de todo o fluxo de animais entre esses municípios.

A construção de redes socioeconômicas associadas à produção pecuária tem dois propósitos neste estudo. O primeiro é a avaliação mais específica de quais são os municípios

que oferecem maior risco de disseminação da febre aftosa em caso de reintrodução do vírus no país. O segundo refere-se à análise de risco econômico.

Com os dados disponíveis, em uma primeira etapa realizou-se uma avaliação da movimentação de animais em 2014 e 2015 e, logo em seguida, foram construídas redes diárias de movimentação de bovinos. A partir das redes obtidas, procedeu-se com a análise da dinâmica dos fluxos registrados e a qualificação do estado com base em estatísticas descritivas próprias de redes socioeconômicas. Em uma segunda etapa, realizou-se uma análise preliminar de simulação da difusão de febre aftosa, assumindo períodos de tempo distintos para a identificação de um surto. Na terceira etapa, partindo de municípios centrais e periféricos nas redes de movimentação animal do estado sul-mato-grossense, buscou-se explorar diferenças no padrão de difusão da doença. Tais etapas são apresentadas no capítulo a seguir. Os dados foram processados no software R e todas as análises e simulações referentes às GTAs também foram realizadas utilizando esse programa.

De acordo com Dubé et al. (2009), o estudo da movimentação de animais no contexto da análise de redes traz informações de qualidade para o desenvolvimento e a modelagem de políticas. Há a necessidade de entender os padrões de contato das populações suscetíveis antes de implementar qualquer estratégia de controle da doença. A modelagem de simulação consiste em uma ferramenta adequada para preparar a avaliação das possíveis consequências das incursões da doença e testar estratégias de controle (DUBÉ et al., 2009).

Além disso, a movimentação de animais dentro de um país geralmente está relacionada a diferenciais nos preços da pecuária e da carne e, conseqüentemente, a epidemiologia da febre aftosa não pode ser separada da economia da movimentação de gado (RUSHTON, 2008). Portanto, é imprescindível conduzir análises sobre os impactos econômicos da febre aftosa dentro do contexto da movimentação de animais.

3.2. Avaliação de impactos econômicos de um surto de febre aftosa

Nesse sentido, posteriormente às análises da movimentação de animais e das simulações de potenciais surtos de febre aftosa no MS, buscou-se investigar os potenciais impactos econômicos, para o estado, do último surto da doença, em 2006. Impactos indiretos da doença são mais difíceis de serem quantificados, como já apontado na literatura. Neste trabalho foram analisados, então, dois tipos de impactos diretos: impactos sobre o comércio exportador e gastos de controle sanitário. Ressalta-se que tal análise foi limitada à disponibilidade de dados. Para tanto, foram consideradas as informações referentes a:

i) exportações do MS e do Brasil, em volume e receita, obtidas no sistema AliceWeb do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC, 2018), para o período de 1997 a 2017;

ii) índice de preços da carne bovina no mundo, calculado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2018), entre 2003 e 2010;

iii) preço unitário de exportação de produtos de origem bovina, calculados a partir do volume e receita das exportações, obtidos no sistema AliceWeb (MDIC, 2018), para os períodos de 2003 a 2010 e de 2016 a 2017;

iv) importações mundiais, em volume e receita, obtidas no COMTRADE, para o período de 1997 a 2016;

vi) preço do boi e do bezerro nos estados de São Paulo (SP) e MS, obtidos no Cepea/USP (CEPEA, 2018), para os anos de 1999 a 2010;

vii) preços da carne no atacado na Grande São Paulo, também do Cepea/USP (CEPEA, 2018), entre 2005 e 2008;

viii) animais abatidos no Brasil, obtidos no IBGE.

iv) gastos com indenizações de animais sacrificados por questões sanitárias e com medidas de controle e erradicação do surto em 2006, no MS, obtidos em reunião presencial na Iagro e apresentação do MAPA (2007c).

Uma análise descritiva é feita, com base no volume e receita das exportações e importações e do seu valor unitário, que é calculado pela divisão dessa receita pelo volume. São avaliadas as exportações e importações agregadas e desagregadas de produtos de origem bovina, considerando os seguintes códigos da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM):

- 02.01.1000 – Carcaças e meias carcaças de bovino, frescas ou refrigeradas
- 02.01.2010 – Quartos dianteiros não desossados de bovino, frescos ou refrigerados
- 02.01.2020 – Quartos traseiros não desossados de bovino, frescos ou refrigerados
- 02.01.2090 – Outras peças não desossadas de bovino, frescas ou refrigeradas
- 02.01.3000 – Carnes desossadas de bovino, frescas ou refrigeradas
- 02.02.1000 – Carcaças e meias-carcaças de bovino, congeladas
- 02.02.2010 – Quartos dianteiros não desossados de bovino, congelados
- 02.02.2020 – Quartos traseiros não desossados de bovino, congelados
- 02.02.2090 – Outras peças não desossadas de bovino, congeladas

- 02.02.3000 – Carnes desossadas de bovino, congeladas
- 02.06.1000 – Miudezas comestíveis de bovino, frescas ou refrigeradas
- 02.06.2100 – Línguas de bovino, congeladas
- 02.06.2200 – Fígados de bovino, congelados
- 02.06.2910 – Rabos de bovino, congelados
- 02.06.2990 – Outras miudezas comestíveis de bovino, congeladas
- 05.04.0011 – Tripas de bovinos, frescas, refrigeradas, congeladas, salgadas ou em salmoura, secas ou defumadas
- 16.02.5000 – Preparações alimentícias e conservas, da espécie bovina

Também se calculou a taxa de crescimento histórica para o período entre 1997 e 2005, das exportações brasileiras dos produtos listados acima, bem como das importações mundiais desses mesmos produtos. A taxa de crescimento foi calculada da seguinte forma:

$$tx\ cresc = \left(\left(\frac{Tf}{Ti} \right)^{\frac{1}{a}} - 1 \right) \times 100$$

onde, Tf é o total exportado pelo Brasil (ou o total importado mundial) no período f , Ti é o total exportado pelo Brasil no ano inicial (ou o total importado no ano inicial) e a é o número de anos.

Calculou-se também a variação entre 2005 e 2006 a partir da expressão:

$$\Delta\% = \left(\frac{T_{2006}}{T_{2005}} \right) - 1$$

onde, T_{2006} é o total exportado pelo Brasil (ou o total global importado pelo mundo) em 2006, T_{2005} corresponde às mesmas variáveis em 2005.

Além disso, para avaliar se o surto de febre aftosa afetou os preços das exportações da carne bovina brasileira em relação aos preços internacionais, realizou-se uma comparação com o índice de preços mundiais da carne bovina, calculado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). Este índice é baseado nos preços da carne bovina nos Estados Unidos, Brasil e Austrália, de acordo com o valor unitário das exportações desses países. Ele considera o período entre 2002 e 2004 como base e consiste em uma forma geral do Índice de Laspeyres:

$$IL_{\tau} = \sum_{i=1}^n s_{i0} \left[\frac{P_{i\tau}}{P_{i0}} \right],$$

onde, $\tau = jan/1990, \dots, dez/2017$, e s_{i0} é a participação do valor de exportação do produto i no valor total das exportações (que engloba todos os produtos considerados pelo

índice), calculada como uma média para o período-base; $P_{i\tau}$ é preço do produto i no período τ ; e P_{i0} é a média dos três anos considerados como período-base para o preço do produto i (FAO, 2014). Com relação ao índice de preços da carne bovina, a FAO menciona apenas que considera o preço unitário das exportações de carne bovina congelada dos países, não especificando se leva em conta somente carne desossada ou também carnes com osso.

Para proceder à comparação com o Índice de preços mundiais da FAO, um índice de preços de carne para o Brasil foi calculado, empregando-se também o índice de Laspeyres, e com base em todos os tipos de carne congelada comercializados com o exterior, incluindo, assim, os NCMs: 02021000, 02022010, 02022020, 02022090 e 02023000⁹. O índice para o Brasil foi calculado especificamente para o período de 2003 a 2010, com periodicidade mensal.

Para avaliar os impactos do surto sobre os preços internos, foram considerados dados relativos ao preço do boi, do bezerro e da carne no atacado (CEPEA, 2018). Ademais, foram analisados os Indicadores ESALQ/BM&F do Bezerro no MS e do Boi Gordo em SP, também calculados pelo Cepea, de modo a buscar identificar se houve efeitos da crise sanitária de 2005/2006 sobre os preços no mercado doméstico. Estes preços são calculados pelo Cepea a partir de coletas feitas nas principais praças de negociação do setor pecuário nos estados considerados: Campo Grande, Dourados e Três Lagoas, no MS; e Araçatuba, Bauru/Marília, Presidente Prudente e São José do Rio Preto, em SP.

Além disso, foram calculados o Índice de Sazonalidade e o Índice de Estacionalidade para os preços do boi gordo e do bezerro nos estados de SP e MS. Esses índices foram calculados porque os preços dos produtos agropecuários apresentam, em geral, grande variabilidade. Esses preços podem ter variações de longo prazo, causadas por mudanças no câmbio e na renda, por exemplo, e de curto prazo, derivadas da estacionalidade da produção, clima, e por outros fatores eventuais como surtos de doenças, choques nos mercados de insumos entre outras causas. Dessa forma, os preços dos produtos agropecuários, e, particularmente dos produtos pecuários, resultam de uma variação cíclica, ao longo de vários anos, e de uma variação sazonal ao longo de um ano, além de outros choques resultantes de variáveis de curto prazo, em geral, exógenas.

⁹ Como as exportações de carne com osso representam uma parcela muito pequena das exportações brasileiras de carne bovina congelada, sua inclusão no índice não tem impacto expressivo, visto que ele foi calculado excluindo a carne com osso e, não havendo diferença significativa, manteve-se o preço considerando os dois tipos de carne congelada. Dessa forma, caso a FAO considere apenas carnes congeladas desossadas em seu índice, o índice calculado para o Brasil não estará muito discrepante por considerar carnes congeladas com osso e desossadas.

Considerando os preços mensais do produto analisado (boi ou bezerro em SP ou MS), de janeiro a dezembro, entre 1999 e 2010, o componente estacional da série pode ser eliminado a partir do cálculo da média geométrica móvel centralizada de 12 meses:

$$G_t = \sqrt[12]{P_{t-6}^{0,5} \times P_{t-5} \times \dots \times P_t \times P_{t+5} \times P_{t+6}^{0,5}}$$

onde: G_t é a média móvel centralizada e P_t é o preço observado em determinado mês (HOFFMANN, 2006).

A seguir, é possível determinar os índices estacionais, dados por:

$$IE = 100 \times \left(\frac{P_t}{G_t} \right)$$

Calcula-se, então, a média geométrica dos IEs para cada mês (de janeiro a dezembro), denominada D_j , onde $j = 1, 2, \dots, 12$. Depois, calcula-se um fator de correção (C) para a média geométrica dos IEs de cada mês, dado pela média geométrica de todos os D_j . Por fim, o Índice Sazonal de cada mês é obtido da seguinte forma (HOFFMANN, 2006):

$$IS = \frac{D_j}{C} \times 100$$

Em relação aos gastos provocados pelo surto de febre aftosa no MS, foram considerados os gastos dos governos estadual e federal, do fundo de emergência para febre aftosa e dos frigoríficos com o controle e erradicação do surto, obtidos em um material de apresentação feita pela Superintendência do MAPA no Mato Grosso do Sul (MAPA, 2007c), bem como de material apresentado em reunião na Iagro¹⁰.

¹⁰ Informações fornecidas pelo gerente de Inspeção e Defesa Sanitária Animal da Iagro, Rubens de Castro Rondon, durante reunião em Campo Grande no dia 24 de outubro de 2017.

4. A PECUÁRIA BOVINA NO MS E SUA REDE DE MOVIMENTAÇÃO DE ANIMAIS

4.1. Distribuição geográfica do rebanho

Um dos fatores que influencia a disseminação do vírus da febre aftosa é a distribuição geográfica de animais suscetíveis. Dessa forma, é necessário identificar áreas geográficas que apresentam grandes concentrações de animais. Em caso de uma infecção com o vírus da doença, quanto mais animais suscetíveis concentrados, maior o risco de difusão entre eles. Ou seja, locais com alta concentração de animais suscetíveis requerem vigilância intensiva e, por conseguinte, indicam onde o serviço oficial de defesa deve alocar mais veterinários e recursos, assim como, onde as ações de conscientização e educação sanitária devem ser realizadas de forma mais intensiva.

Nesse sentido, a figura abaixo (Figura 4) mostra a distribuição do rebanho no MS nos anos de 2014 e 2015, sendo que as áreas mais escuras representam aquelas com maior quantidade de bovinos. Esses dois anos foram escolhidos para esta discussão tendo em vista que coincidem com o período de disponibilidade de informações sobre a circulação dos animais. Ainda, vale ressaltar que a lógica epidemiológica requer considerar outros animais suscetíveis, mas neste estudo, o foco limita-se à análise da pecuária bovina.

Figura 4 - Distribuição do rebanho bovino no Mato Grosso do Sul, em número de animais: 2014 e 2015
Fonte: Elaborado a partir de dados do IBGE (2017c)

No geral, não é possível notar mudanças significativas na distribuição espacial do rebanho bovino sul-mato-grossense de um ano para o outro. Corumbá é o maior município do estado, tanto territorialmente como em tamanho do rebanho – como já mencionado –, e faz fronteira com a Bolívia; enquanto Porto Murtinho, Bela Vista, Ponta Porã e outros municípios localizam-se na fronteira com o Paraguai. A área fronteiriça – constituída por Corumbá, Aquidauana, Porto Murtinho, Miranda, entre outros – e a área próxima à divisa com os estados de São Paulo e Minas Gerais – formada por Paranaíba, Água Clara, Três Lagoas, Ribas do Rio Pardo, por exemplo – são regiões onde, predominantemente, há grande concentração do rebanho bovino estadual.

A alta concentração de animais suscetíveis à febre aftosa na fronteira internacional eleva a chance de infecção por eventuais animais contaminados que atravessem a fronteira. A região fronteiriça do MS destaca-se como a mais vulnerável a falhas de inspeção ou eventuais movimentações ilegais, e deve receber atenção redobrada durante as ações de vigilância – por haver possibilidade de entrada de animais suscetíveis de outros países em uma extensão de mais de 600 quilômetros de fronteira seca.

De fato, desde a determinação da Zona de Alta Vigilância (ZAV) em 2007 – que passou a ser chamada de zona de fronteira a partir de 2013 –, o estado tem promovido atividades de vigilância mais vigorosas na área das divisas internacionais – até por conta de exigências da OIE. Entretanto, não existe ainda uma avaliação ou estudo que analise a eficiência e a eficácia dessas ações do serviço de defesa oficial na área. O único indicativo de eficácia evidente seria a ausência de surtos no estado desde 2007.

4.2. Caracterização da movimentação de animais

Um dos fatores mais relevantes para a difusão do vírus da febre aftosa é a movimentação de animais, como visto anteriormente na seção que trata da epidemiologia da doença. Por isso, é fundamental analisar os fluxos de animais entre municípios. A partir dos dados das GTAs diárias é possível realizar tal análise. Dessa forma, a movimentação analisada inclui animais enviados e recebidos de municípios sul-mato-grossenses e animais enviados do MS para outros estados. Não são incluídos animais enviados por outros estados ao MS.

Em 2014, o MS movimentou cerca de 13,04 milhões de bovinos, dos quais 62,6% foram para reposição, 33% para abate, 4,3% para eventos e 0,1% foram destinados a outras finalidades. Já em 2015, a movimentação de animais bovinos foi ligeiramente menor,

totalizando cerca de 12,35 milhões de cabeças. Destas, 65% destinaram-se à reposição, enquanto 30,3% foram para abate e 4,7% para eventos; apenas 95 animais foram movimentados para outras finalidades.

Para fins de simplificação e viabilidade das simulações, não se considerou, na análise das redes de movimentação de animais, o trânsito entre estados, envolvendo o MS. No entanto, é relevante salientar a importância do estado como fornecedor de animais para o resto do país, assim como o recebimento de animais no MS advindos de outros estados – principalmente para questões de risco epidemiológico. Logo, esta introdução da seção aborda alguns aspectos que, a título de complementação, podem enriquecer a discussão final dos resultados.

Ao longo de 2014, o MS enviou um total de 494.350 bovinos a outros 19 estados, sendo que, desse total, 65% foi para abate e 34,5%, para reposição. No mesmo ano, o estado recebeu 385.545 animais de 17 diferentes estados; 98,7% destinaram-se à reposição. Os principais parceiros comerciais do MS foram os estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Mato Grosso (Tabela 1).

Em 2015, o estado sul-mato-grossense manteve-se como exportador líquido de bovinos para outras unidades da federação, enviou 484.527 animais para 21 outros estados, enquanto recebeu 280.422 cabeças de 17 estados. Quase 58% do total enviado destinaram-se ao abate, enquanto foram recebidos apenas dois animais para tal finalidade. Do restante dos animais transportados para outros estados, 42% foram destinados para reposição; ao passo que essa finalidade respondeu por cerca de 92% do total recebido. Os principais parceiros comerciais permaneceram os mesmos do ano anterior (Tabela 2). O principal receptor de animais para abate e reposição é o estado de São Paulo, enquanto Minas Gerais é o principal fornecedor de animais para reposição do MS.

Nesse sentido, observa-se que o MS, apesar de ser conhecido historicamente como fornecedor de animais para reposição a outros estados, mostrou-se como um receptor líquido de animais para tal finalidade em ambos os anos analisados. Isso pode significar uma mudança na organização do setor pecuário no estado sul-mato-grossense.

Esses fluxos são importantes porque mostram, em parte, que qualquer ocorrência de febre aftosa no MS eleva-o a um papel estratégico no que tange à difusão da doença no Brasil, em termos de uma melhor compreensão do tempo e velocidade desse processo – principalmente porque o estado é um importante produtor e fornecedor de bezerros para outros estados brasileiros (DA CUNHA et al.; 2016).

É possível que MS se encontre em uma situação de maior vulnerabilidade com relação à introdução e disseminação do vírus da febre aftosa por receber muitos animais para reposição, predominantemente. Isto porque animais para reposição advindos de outros estados poderiam estar infectados, em caso de reintrodução do vírus da doença no Brasil, e permaneceriam vivos quando ingressassem nas propriedades sul-mato-grossenses – apresentando uma chance de difusão da infecção dentro do rebanho estadual.

Tabela 1 - Quantidade de bovinos enviados e recebidos pelo MS de outros estados: 2014

2014				
Finalidade	Destinatários	Quantidade de animais	Remetentes	Quantidade de animais
Reposição	Total	170.765	Total	380.480
	Acre	0,113%	Acre	0,172%
	Alagoas	0,005%	Bahia	3,485%
	Amazonas	0,086%	Distrito Federal	0,002%
	Bahia	0,043%	Espírito Santo	0,048%
	Distrito Federal	0,008%	Goiás	3,174%
	Espírito Santo	0,009%	Maranhão	0,488%
	Goiás	4,450%	Mato Grosso	10,779%
	Maranhão	0,068%	Minas Gerais	46,310%
	Mato Grosso	2,844%	Pará	10,263%
	Minas Gerais	1,707%	Paraíba	0,007%
	Pará	0,164%	Paraná	4,862%
	Paraná	16,838%	Rio de Janeiro	0,118%
	Pernambuco	0,001%	Rio Grande do Sul	2,067%
	Rio de Janeiro	0,095%	Rondônia	0,331%
	Rio Grande do Norte	0,002%	Santa Catarina	0,395%
	Rio Grande do Sul	0,060%	São Paulo	14,348%
	Rondônia	0,442%	Tocantins	3,151%
	São Paulo	72,832%		
	Tocantins	0,233%		
Abate	Total	321.458	Total	674
	Minas Gerais	0,079%	Maranhão	0,297%
	São Paulo	99,921%	Mato Grosso	83,383%
			Pará	16,320%
Eventos	Total	2.126	Total	4.259
	Goiás	7,338%	Distrito Federal	0,211%
	Mato Grosso	3,904%	Espírito Santo	0,399%
	Minas Gerais	23,848%	Goiás	8,382%
	Paraná	27,611%	Mato Grosso	9,040%
	Rio de Janeiro	0,047%	Minas Gerais	16,741%
	São Paulo	37,253%	Paraná	6,668%
			Rio Grande do Sul	1,362%
Outros	Total	1	Total	132
	São Paulo	100%	Goiás	12,121%
			Minas Gerais	19,697%
			Santa Catarina	28,788%
			São Paulo	39,394%
TOTAL		494.350		385.545

Fonte: Elaboração própria a partir das GTAs

Tabela 2 - Quantidade de bovinos enviados e recebidos pelo MS de outros estados: 2015

2015				
Finalidade	Destinatários	Quantidade de animais	Remetentes	Quantidade de animais
Reposição	Total	202.439	Total	270.040
	Acre	0,091%	Acre	1,092%
	Alagoas	0,003%	Alagoas	0,003%
	Amazonas	0,072%	Bahia	1,014%
	Bahia	0,495%	Espírito Santo	0,702%
	Distrito Federal	0,013%	Goiás	2,137%
	Espírito Santo	0,002%	Maranhão	0,587%
	Goiás	1,393%	Mato Grosso	16,742%
	Maranhão	0,029%	Minas Gerais	39,569%
	Mato Grosso	2,655%	Pará	9,414%
	Minas Gerais	1,737%	Paraná	5,216%
	Pará	0,323%	Piauí	0,020%
	Paraná	19,556%	Rio de Janeiro	3,402%
	Pernambuco	0,003%	Rio Grande do Sul	3,759%
	Piauí	0,001%	Rondônia	2,128%
	Rio de Janeiro	0,040%	Santa Catarina	0,354%
	Sergipe	0,010%	São Paulo	10,631%
	Rio Grande do Sul	0,124%	Tocantins	3,229%
	Rondônia	0,541%		
	Roraima	0,042%		
	São Paulo	72,763%		
	Tocantins	0,107%		
Abate	Total	280.155	Total	2
	Goiás	0,214%	Maranhão	100%
	Paraná	0,012%		
	São Paulo	99,774%		
Eventos	Total	1.933	Total	8.630
	Espírito Santo	0,052%	Goiás	4,809%
	Goiás	12,261%	Mato Grosso	6,952%
	Mato Grosso	13,088%	Minas Gerais	69,432%
	Minas Gerais	27,367%	Paraná	3,337%
	Paraná	12,002%	Rio Grande do Sul	1,008%
	Rondônia	0,103%	São Paulo	14,461%
Outros	São Paulo	35,127%		
	Total	0	Total	1.750
			Mato Grosso	0,229%
			Minas Gerais	64,057%
			São Paulo	35,714%
TOTAL		484.527	280.422	

Fonte: Elaboração própria a partir das GTAs

4.2.1. Trânsito intraestadual

Conforme mencionado anteriormente, para fins de simulação, é considerado somente o trânsito de animais dentro do estado. Na Tabela 3, observa-se que o número de animais movimentados entre os municípios sul-mato-grossenses, nos anos de 2014 e 2015, não evidencia padrões muito distintos entre os meses, no geral, não somente em quantidade de guias emitidas (dada pela quantidade de transações) como em termos de cabeças movimentadas mensalmente. As tabelas a seguir mostram algumas estatísticas descritivas referentes ao total de animais transportados por guia de trânsito emitida no mês, totalizando na última coluna o total de animais movimentados naquele mês.

Tabela 3 - Estatísticas descritivas do número de animais movimentados por guia de trânsito: Mato Grosso do Sul: 2014

Mês	Média	Mediana	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Mínimo	Máximo	Quantidade de transações	Total de animais
1	126,24	50	269,66	2,14	1	6405	9857	1244392
2	123,17	49	268,30	2,17	1	7453	9658	1189576
3	123,61	49	258,26	2,09	1	5613	9447	1167742
4	138,75	51	432,81	3,11	1	23843	10541	1462528
5	137,21	54	305,33	2,23	1	7524	8579	1177106
6	136,41	54	298,59	2,19	1	9343	10961	1495209
7	126,46	50	284,70	2,25	1	6943	10823	1368655
8	129,00	48	422,49	3,28	1	28985	10524	1357641
9	126,16	45	365,97	2,90	1	18847	10887	1373490
10	139,76	48	390,59	2,79	1	15476	10677	1492213
11	124,27	44	304,47	2,45	1	10225	8189	1017618
12	138,98	50	353,66	2,54	1	12187	10608	1474342

Fonte: Elaboração a partir das GTAs

Tabela 4 - Estatísticas descritivas do número de animais movimentados por guia de trânsito: Mato Grosso do Sul: 2015

Mês	Média	Mediana	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Mínimo	Máximo	Quantidade de transações	Total de animais
1	125,02	46	284,21	2,27	1	5974	9701	1212857
2	128,35	46	334,98	2,61	1	11383	8782	1127201
3	125,39	45	378,21	3,02	1	17162	10806	1354930
4	134,51	51	343,43	2,55	1	10861	10251	1378868
5	132,48	51	324,43	2,45	1	8204	8167	1081954
6	138,98	51	329,95	2,37	1	8105	11287	1568705
7	144,36	48	480,35	3,33	1	22030	10763	1553775
8	136,30	49	401,25	2,94	1	18966	9930	1353485
9	126,52	45	319,67	2,53	1	7434	9782	1237650
10	136,40	48	370,38	2,72	1	10782	10205	1391975
11	126,15	44	328,30	2,60	1	7355	8139	1026721
12	140,47	48	388,04	2,76	1	10450	9562	1343133

Fonte: Elaboração a partir das GTAs

Pela discrepância entre os valores médios e medianos, assim como entre os valores extremos (máximos e mínimos), nota-se uma grande assimetria na distribuição da quantidade de animais transportados por guia de trânsito emitida: muitas guias referem-se a um volume pequeno de animais e poucas guias, a um volume expressivo de animais movimentados. O alto desvio-padrão indica que os dados variam longe da média; e o coeficiente de variação na

ordem de 200-400% capta essa dispersão existente, que também se reflete na amplitude dos valores observados (máximo menos mínimo).

O mês de junho se destaca por uma maior quantidade de GTAs emitidas e maior movimentação de animais. Isso também pode ser observado na Figura 5, que evidencia picos de movimentação nos meses de junho (2014 e 2015) e julho (2015). Uma movimentação mais intensa pode resultar em maior chance de espalhamento do vírus da febre aftosa, nesses meses, em caso de reintrodução. Portanto, pode-se inferir que a vigilância e a fiscalização devem ser reforçadas nesse período, sob a ótica de um planejamento preventivo para a política sanitária.

Além disso, é possível identificar dois meses de queda mais expressiva na movimentação de animais em ambos os anos analisados: maio e novembro. A causa mais provável disso são as campanhas de vacinação contra a febre aftosa. Nesse período, os produtores reúnem seus animais para aplicar a vacina e, portanto, há menor movimentação entre propriedades.

Figura 5 – Total mensal de animais movimentados em 2014 e 2015 conforme GTAs emitidas no MS
Fonte: Elaboração a partir das GTAs

Pode-se observar também a participação relativa de cada finalidade na movimentação de animais, ilustrada na Figura 6. Os números na figura representam a participação relativa (%) de cada finalidade ao longo do mês. Nota-se uma intensificação da movimentação de animais para abate nos meses de maio e novembro. Possivelmente, isso é mais um reflexo das

campanhas de vacinação contra febre aftosa, já que durante os dois meses de campanha a movimentação de animais que permanecerão vivos é reduzida.

No geral, ao longo do ano, a maior parcela de bovinos movimentados tem fins de reposição. Isso é importante no âmbito da epidemiologia da febre aftosa, pois animais destinados à reposição permanecem vivos (ao contrário daqueles destinados ao abate) e, portanto, sua movimentação pode contribuir para uma eventual disseminação do vírus (no caso de uma reintrodução).

Figura 6 - Composição de animais por finalidade na movimentação mensal de bovinos no MS: 2014 e 2015
Fonte: Elaboração a partir das GTAs

De forma geral, nota-se que as finalidades predominantes nas movimentações de animais são abate e reposição, que ao longo dos trimestres se distribuem conforme ressaltado nos dados do Quadro 1, para 2014 e 2015. A análise trimestral dos fluxos de animais pode evidenciar elementos relevantes relacionados aos sistemas de produção e ao seu ciclo, em termos de nascimento, desmama, engorda e abate. A sazonalidade, inferida pela observação dos dados trimestrais, relaciona-se à época de seca, ao período de confinamento e à época usual de comercialização desses animais confinados, de nascimento de bezerros e idade de desmama. Dissertar sobre os efeitos desses fatores sobre a movimentação dos bovinos não é objetivo desta avaliação, mas pode oferecer elementos relevantes para futuros estudos com foco nas estratégias da política sanitária.

Período	2014		2015	
	ABATE (em milhões)	REPOSIÇÃO (em milhões)	ABATE (em milhões)	REPOSIÇÃO (em milhões)
1º trimestre	1,16	1,69	1,04	1,75
2º trimestre	1,11	2,18	0,93	2,16
3º trimestre	0,99	2,26	0,88	2,23
4º trimestre	1,04	2,04	0,89	1,88

Quadro 1 - Total de bovinos enviados para abate e reposição no MS: 2014 e 2015

Fonte: Elaboração própria a partir das GTAs

A pecuária bovina apresenta certa sazonalidade ao longo do ano, dividida em dois períodos: favorável e desfavorável. No caso de um clima tropical, como o observado no Centro-Oeste do Brasil, a primavera e o verão (de setembro a fevereiro) são favoráveis para a pecuária, pois caracterizam a estação chuvosa, favorecendo o crescimento das pastagens. Por outro lado, outono e inverno (de março a agosto) são desfavoráveis à atividade, pois a falta de chuvas faz com que as pastagens fiquem secas, reduzindo, assim, a oferta de alimento para o rebanho (SANTOS, 2017). Isso implica na taxa de abate mais alta, geralmente, antes do período de seca e na intensificação da movimentação de animais durante tal período.

Isto posto, observa-se que, no 1º trimestre de ambos os anos analisados, a taxa de abate é maior do que nos outros trimestres; isso deve-se à precedência quanto ao período de seca. No trimestre seguinte, a movimentação de animais, considerando as duas finalidades principais, aumenta, uma vez que o período de seca se inicia. Já a movimentação de animais para reposição é maior no segundo semestre, possivelmente porque a época de monta (ou inseminação) acontece em dezembro e janeiro, fazendo com que a demanda de animais para tal finalidade se eleve nos últimos meses do ano. Além disso, no mês de maio, inicia-se o processo de desmama dos bezerros, o que também justifica o aumento da movimentação para reposição no segundo e terceiro trimestres. As tendências sazonais e a variação temporal na movimentação animal não são incomuns em redes de gado já construídas para vários outros países (MARTÍNEZ-LOPEZ et al., 2009a; NATALE et al., 2009; AZNAR et al., 2011; NÖREMARK et al., 2011; MWEU et al., 2013; VANDERWAAL et al., 2016).

Os quadros do Anexo B destacam os dez principais municípios na movimentação de animais para abate e reposição, apresentando também a participação dos respectivos rebanhos bovinos no total estadual. Os dez municípios com os maiores rebanhos do estado são: Aquidauana, Camapuã, Campo Grande, Corumbá, Coxim, Porto Murtinho, Ribas do Rio Pardo, Rio Verde de Mato Grosso, Santa Rita do Pardo e Três Lagoas. Estes municípios estão entre os dez maiores receptores e remetentes de animais dentro do estado. De fato,

VanderWall et al. (2016) afirmam que municípios com rebanhos maiores tendem a enviar e receber um maior número de animais.

Ao analisar-se a concentração do transporte de animais com finalidade de abate, durante os anos de 2014 e 2015, observa-se que os dez municípios que mais recebem animais concentram significativa parcela do volume total transportado – 76,65% e 73,93%, respectivamente. Entretanto, tais municípios não chegam a representar 14% do rebanho bovino estadual. Considerando o envio de animais para abate, os fluxos são menos concentrados, sendo que os dez principais municípios somam menos de 33% do total enviado para tal finalidade, apesar de responderem por uma parcela maior do rebanho bovino estadual – mais de 32% em ambos os anos analisados.

Por outro lado, comparativamente ao abate, o transporte com finalidade para reposição mostra-se mais pulverizado. No que concerne à concentração do volume de animais recebidos para reposição, os dez principais municípios destinatários não chegaram a representar 31% do fluxo total. Analisando o envio de animais, nota-se que os maiores remetentes concentram menos de 40% do fluxo de animais dentro do MS. Entretanto, tanto no envio quanto no recebimento de animais, observa-se que os principais municípios concentram cerca de 32-35% do rebanho estadual – ao contrário do que ocorre no trânsito com a finalidade de abate.

O MS possui 36 unidades frigoríficas registradas no Serviço de Inspeção Federal (SIF), dentre as quais 22 operam, distribuídas em 24 municípios: Anastácio, Iguatemi, Juti, Naviraí, Coxim, Amambaí, Aparecida do Taboado, Chapadão do Sul, Terenos, São Gabriel do Oeste, Guia Lopes da Laguna, Ponta Porã, Rochedo, Campo Grande, Nova Andradina, Aquidauana, Batayporã, Paranaíba, Cassilândia, Iguatemi, Bataguassu, Dourados, Chapadão do Sul e São Gabriel do Oeste (MAPA, 2017b). A capital, Campo Grande, conta com as duas maiores unidades em atividade no estado; seguida pelas unidades localizadas em Naviraí, Nova Andradina e Bataguassu (MASCARENHAS et al., 2015), o que é um indicativo de porquê tais municípios estão entre os maiores receptores de animais para abate. A localização deles pode ser observada no mapa ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Mapa do Mato Grosso do Sul dividido em sistemas naturais
Fonte: Iagro (2017)

4.3. Redes de movimentação diária de animais no Mato Grosso do Sul

A partir dos dados fornecidos pelas GTAs, construíram-se redes diárias para a movimentação de animais dentro do estado. Tais redes são compostas pela totalidade de municípios do estado ($n=79$) e pelos fluxos de animais entre eles.

Considerando as GTAs para cada dia de 2014 e 2015, a Figura 8 ilustra a evolução da densidade (%) das redes ao longo de cada ano – dada pela proporção de *links*, de todos os que são possíveis, que existem de fato entre os municípios¹¹. É importante ressaltar que, para o cálculo da densidade, as GTAs com os mesmos municípios de origem e destino foram agregadas, ou seja, não há multiplicidade de relações entre os nós.

De forma geral, nota-se um período menos intenso na dinâmica da rede no tempo e outro de maior movimentação – quando a rede mostra uma densidade de 5% a 7,5%, em média. Observa-se que há um padrão sazonal, que pode ser resultado do simples efeito de calendário – dias úteis apresentam movimentação mais intensa.

¹¹ Os *links* potenciais são todos os *links* que poderiam ser formados em uma rede. Dessa forma, a densidade pode variar de 0 a 1, onde 1 significaria que todos os nós da rede estão conectados diretamente – todos os *links* possíveis existem (DUBÉ et al., 2011).

Ademais, esta análise temporal permite identificar dois períodos de quebra: maio e novembro. As redes diárias desses meses apresentam uma densidade menor, o que pode ser causado pela menor movimentação de animais em função das campanhas de vacinação contra febre aftosa, como já mencionado anteriormente. Isso pode ser um indicativo de que os fluxos de animais nestes meses concentram-se entre um menor número de municípios. Logo, existe a possibilidade de que o risco de difusão dentro da rede no referido período seja ligeiramente inferior em relação ao resto do ano.

Figura 8 - Evolução temporal da densidade da rede de movimentação de bovinos no MS: 2014 e 2015
Fonte: Elaboração própria a partir das GTAs

4.3.1. Medidas de centralidade das redes diárias de movimentação

Além disso, é importante explorar algumas medidas de centralidade da rede, pois elas indicam quais são os principais nós dentro das relações estabelecidas, evidenciando aqueles que estão mais conectados e aqueles que participam dos fluxos mais densos, além de permitirem identificar o papel que cada nó exerce dentro da estrutura das relações (central, periférico, intermediador).

Nesse sentido, foram analisados três indicadores de centralidade dos municípios sul-mato-grossenses: a centralidade de grau (entrada e saída), a centralidade de grau ponderada (entrada e saída) e a centralidade de intermediação, baseados nas redes diárias construídas

para 2014 e 2015. Foram criadas distribuições para cada uma dessas medidas de centralidade, que podem ser observadas nas Figuras 9 a 11 e no Anexo C.

Quanto à centralidade de grau, observa-se que, nos dois períodos, Campo Grande, Naviraí, Nova Andradina e Terenos representam os municípios com maior grau de entrada (Figura C.1 do Anexo C), o que significa que há uma densidade local maior na vizinhança dos mesmos, já que há um número maior de vizinhos diretos (ou municípios), atuando como os principais receptores de animais. Dentre eles, Campo Grande destaca-se por ter uma mediana de vizinhos diretos superior à dos outros municípios (acima de 20).

Nota-se ainda que, para este caso, a variabilidade também é alta se comparada à observada nos outros municípios. Assim, a mediana e os valores observados no último quartil mostram-se significativamente superiores àqueles observados para outros municípios, o que pode ser um indício de que Campo Grande é, na média, mais vulnerável a um surto de febre aftosa, pois recebe animais de municípios diversos, apresentando, assim, uma probabilidade maior de receber animais infectados no caso de um surto.

Por outro lado, quando se observa o grau de saída (Figura C.2 do Anexo C), nota-se que os valores médios observados, ao longo de 2014 e 2015, não são tão heterogêneos. Estes valores mostram uma dispersão entre os municípios, mas não são tão discrepantes como no caso da centralidade de entrada. Neste caso, Aquidauana, Campo Grande, Corumbá e Ribas do Rio Pardo destacam-se, apresentando valores medianos superiores a 15 vizinhos diretos. Em outras palavras, estes municípios atuam como os principais fornecedores de animais dentro da rede de movimentação, pois enviam para uma variedade maior de municípios. Em termos epidemiológicos, eles poderiam funcionar como grandes espalhadores do vírus da febre aftosa, no caso de infecção – difundindo o vírus para uma expressiva parcela dos municípios sul-mato-grossenses.

Já a centralidade de grau ponderada é similar à centralidade de grau; é baseada também no número de conexões de um nó, mas ponderada pelo peso de cada *link*. Ou seja, esta medida considera a intensidade dos fluxos entre os municípios (DE NOOY et al., 2005).

No caso do grau de entrada ponderado (Figura 9¹²), os municípios que se destacam por receber mais animais, em valores medianos, são Campo Grande, Dourados, Glória de

¹² O *boxplot* (ou gráfico de caixa) é uma ferramenta gráfica que permite avaliar a distribuição empírica de dados, representando a variação destes dados por meio de quartis. Ele é formado pelo primeiro e terceiro quartis e pela mediana. Também apresenta uma reta que se estende horizontalmente a partir da caixa, indicando a variabilidade fora do quartil superior e do quartil inferior. Os valores atípicos ou *outliers* (valores discrepantes) são plotados como pontos individuais. Os espaços entre as diferentes partes da caixa indicam o grau de dispersão, a assimetria nos dados e os outliers. Em resumo, o *boxplot* identifica onde estão localizados 50% dos valores mais prováveis, a mediana e os valores extremos.

Dourados e São Gabriel do Oeste, nos dois anos analisados. Destaca-se também nessa figura a quantidade de valores atípicos, em que cada um dos pontos fora do *boxplot* representa um dia específico em que houve uma movimentação (em número de animais) extrema quando comparada aos valores predominantes na amostra. Estes municípios, portanto, estariam mais vulneráveis a um surto de febre aftosa por receberem maior quantidade de animais em relação ao resto do estado.

Figura 9 - Grau de entrada ponderado (*weighed indegree*) para o fluxo de bovinos em municípios do Mato Grosso do Sul: 2014 e 2015

Fonte: Resultados do modelo a partir de dados das GTAs

Por outro lado, ao analisar-se o grau de saída ponderado, destacam-se os de Corumbá, Glória de Dourados, Ivinhema, Jateí e Ribas do Rio Pardo, conforme a Figura 10. Novamente, há significativa quantidade de valores atípicos nas distribuições observadas para cada município. Estes nós mais centrais, de acordo com esta medida de centralidade, constituem também potenciais grandes espalhadores do vírus da febre aftosa – em caso de infecção – por enviarem grande quantidade de animais para outros municípios dentro do estado.

Figura 10 - Grau de saída ponderado (*weighed outdegree*) para o fluxo de bovinos em municípios do Mato Grosso do Sul: 2014 e 2015

Fonte: Resultados do modelo a partir de dados das GTAs

Ademais, calculou-se a centralidade de intermediação, a qual – como ressaltado anteriormente – mostra quais vértices provocariam a redução da conectividade da rede caso fossem removidos, desacelerando, assim, o processo de difusão. Ao analisar a Figura 11, verifica-se que Campo Grande, Nova Andradina, Ribas do Rio Pardo e Terenos são os nós

que exercem papel principal na intermediação de fluxos entre os diferentes municípios da rede, em ambos os anos analisados. Encontrar estes nós com alta intermediação ajuda a entender quem pode controlar o fluxo de animais de uma parte da rede para outra. Como a remoção desses nós fragmenta a rede, ela torna mais fáceis as atividades de controle de uma crise sanitária – em um cenário de reintrodução do vírus da febre aftosa.

Figura 11 - Centralidade de intermediação (*betweenness*) para o fluxo de bovinos em municípios do Mato Grosso do Sul: 2014 e 2015

Fonte: Resultados do modelo a partir de dados das GTAs

De forma geral, as distribuições métricas de conectividade dos nós da rede são distorcidas, com a maioria dos nós com apenas algumas conexões e uma pequena minoria deles com um grande número de conexões. Em alguns casos, os níveis médios de conectividade foram maiores que a faixa interquartil dos dados, destacando a presença de valores atípicos (*outliers*).

Além disso, os municípios com maior número de vizinhos diretos (tanto de saída como de entrada) são os que movimentam o maior número de animais – atuando como maiores fornecedores ou receptores de animais, no geral. Os municípios que mais intermediam relações dentro das redes também estão entre os mais centrais quanto ao número de vizinhos e ao volume movimentado. De fato, de acordo com VanderWall et al. (2016), os nós com muita entrada e saída de animais tendem a ter alta intermediação e apresentam alta probabilidade de serem importantes condutores de fluxos de patógenos dentro de uma rede.

É possível observar uma heterogeneidade nas medidas de entrada de animais mais forte do que nas medidas de saída, o que já foi observado em redes de movimentação de animais na França, Argentina e Reino Unido nos trabalhos de Volkova et al. (2010), Aznar et al. (2011) e Lal Dutta et al. (2014).

Se o vírus da febre aftosa é introduzido aleatoriamente em um município, as consequências não são necessariamente dramáticas; no entanto, se ele encontrar o caminho para um nó altamente conectado na rede, muitos municípios podem se infectar antes que as autoridades estejam cientes da circulação do vírus. Isso pode dificultar o controle da propagação da infecção pelas autoridades, e levar a uma explosão do surto.

Nesse sentido, o fato de que as medidas de centralidade apontam, via de regra, os mesmos municípios é uma sinalização de que os nós mais centrais nas redes são vulneráveis de diferentes formas e têm maior potencial de infectar grande parte da rede em caso de surto. Logo, esses resultados evidenciam a importância de investir em fiscalização e vigilância nesses municípios.

Como não foram encontradas diferenças expressivas nas redes de movimentação de animais entre os anos de 2014 e 2015, optou-se por representar uma visualização das redes diárias analisadas somente para 2015. O mapa mostra um dia do ano, apresentando os fluxos mais intensos na cor vermelha e o tamanho do rebanho na escala em cinza (Figura 14). Ao se examinar as redes para todos os dias do ano de 2015, de forma geral, nota-se que, independente do mês de análise, há um processo de “abastecimento” nos municípios, que antecede movimentações mais intensas entre municípios centrais – considerando as redes para todos os dias do ano, não apenas as representadas aqui.

Nesse sentido, a circulação de animais é predominantemente local, embora grandes municípios tenham maior probabilidade de se envolverem em movimentações de longa distância. Há fluxos de animais interligando todas as regiões do estado, embora os mais densos concentrem-se em regiões próximas – os fluxos mais densos não atravessam o estado, ocorrem entre municípios mais próximos. Em alguns momentos, estes fluxos que cruzam o estado são intensificados; em outros, são menos expressivos. A frequência com que animais são movimentados por longas distâncias é um fator que eleva o risco tanto de infecção como de disseminação da febre aftosa em uma eventual reintrodução do vírus no estado.

Mais uma vez, ressalta-se que movimentos realizados por municípios mais centrais nas redes podem ser importantes condutores pelos quais o vírus se difunde para novas regiões geográficas. Durante um surto, a vigilância direcionada para municípios centrais localizados em regiões não afetadas pode ter maior chance de detectar a introdução do vírus em novas áreas. Da mesma forma, restrições de movimento direcionadas a tais municípios podem ser mais propensas a evitar uma disseminação espacial mais ampla da doença (VANDERWALL et al., 2016).

Figura 12 - Representação das redes diárias de movimentação de bovinos no MS, 2015
Fonte: Resultados do modelo a partir de dados das GTAs e do IBGE (2017c)

Cabe ressaltar que todas essas medidas de centralidade foram calculadas com o intuito de identificar os principais agentes – neste trabalho, municípios – nas redes diárias de movimentação do MS, de forma a determinar quais deles exercem maior influência sobre os fluxos animais e, a partir dessa informação, analisar a velocidade e intensidade desse impacto em eventuais ocorrências relevantes do ponto de vista sanitário. Nesse sentido, a próxima seção traz uma avaliação do risco de difusão da febre aftosa dentro da rede de movimentação de animais no MS.

4.4. Simulação de um eventual processo de difusão de febre aftosa no Mato Grosso do Sul

Fazendo uso da estrutura das redes diárias, analisou-se um processo de difusão de febre aftosa dentro do MS. Para tanto, algumas pressuposições foram adotadas de forma a viabilizar a execução das simulações:

- i) Assume-se um cenário em que não há vacinação dos animais contra febre aftosa e que o nível de imunização é zero;
- ii) Todos os animais têm 100% de probabilidade de se infectar a partir do contato com um animal portador do vírus;
- iii) Supõe-se que, ao receber pelo menos um animal infectado, o município tem seu rebanho totalmente afetado;
- iv) Admite-se que não é adotada qualquer medida de contenção do surto.

Nessa perspectiva, considera-se o pior cenário possível em termos de danos, levando em conta os principais fatores de transmissão do vírus, assumindo situações extremas a fim de evidenciar os impactos potenciais máximos, o limite superior, de um eventual surto de febre aftosa no estado.

Para realizar as simulações, supõe-se que um animal doente foi encontrado em determinado município e que este animal foi infectado alguns dias antes. Dois cenários são construídos: um cenário em que o animal foi infectado três dias antes de ser descoberto e um cenário em que a infecção ocorreu sete dias antes dessa descoberta.

Após a definição do tempo de demora na detecção do animal doente, são analisados os fluxos de animais do município em que o animal se encontra nos dias anteriores, de forma a realizar a contagem de animais e municípios potencialmente afetados. O total de animais

afetados nos municípios receptores é dado pelo seu rebanho total, que nas simulações é mantido constante ao longo do tempo.

A Figura 13 ilustra o histograma de frequências do impacto potencial, dado pelo percentual do rebanho do estado, em 2015, que seria afetado em função da infecção pelo vírus da febre aftosa durante um surto, com simulações baseadas nos dados diários de GTA e do tamanho do rebanho, medido pelo IBGE. Neste cenário de simulação, assume-se um período de defasagem de três dias entre a primeira infecção e a identificação do surto. Para a construção destes histogramas considerou-se a simulação do foco da doença para cada município e para cada dia dos 365 de um ano.

A figura apresenta um comparativo entre dois tipos de simulação. O quadro superior considera a movimentação de animais para todos os tipos de finalidade, enquanto o inferior exclui animais movimentados para abate, pois assume-se interrompe-se o processo de difusão por estes animais ao serem abatidos, em um cenário construído a partir dos fluxos de movimentação de animais. O intuito dessas simulações é verificar se há mudanças significativas nos impactos potenciais de acordo com o total de animais e municípios afetados.

Figura 13 – Simulação do percentual de animais afetados por mês diante de um surto de febre aftosa (com e sem animais para abate): Mato Grosso do Sul, 2015. Cenário: 3 dias de defasagem
Fonte: Resultados do modelo a partir de dados das GTAs

No quadro superior, que inclui a finalidade de abate, os meses de janeiro (1) e junho (6), por exemplo, apresentam impactos potenciais diferentes. Em janeiro, as simulações distribuíram-se de forma quase uniforme sobre a proporção do rebanho possivelmente afetada pelo surto, sendo que o eixo vertical representa o número de simulações que resultaram em determinada proporção afetada do rebanho, variável esta representada no eixo x. Por outro

lado, em junho, muitas simulações apontam uma proporção significativa do rebanho que seria afetado no caso de uma crise sanitária, observando-se que muitas delas resultaram em um impacto sobre 100% do rebanho bovino do MS.

É notável a diferença do impacto potencial de um cenário para outro, considerando que se passaram três dias do ingresso de um animal infectado na rede até a descoberta da doença. De forma geral, observa-se uma grande dispersão na distribuição desse impacto, havendo possibilidade de contágio variando de 0 a 100%, o que depende da origem do surto. Isto porque a difusão a partir de um nó central é mais rápida do que de um nó periférico (com poucos vizinhos diretos e fluxo de animais menos significativo).

O processo de disseminação do vírus e os impactos potenciais serão diferentes se o contágio se iniciar em Corumbá ou em Sete Quedas, por exemplo. Se o surto tem início em Corumbá, que é um município central, logo no primeiro estágio do processo de difusão haverá o contágio de, pelo menos, 20 municípios diferentes em média ao longo do ano (ver centralidade de grau). Já Sete Quedas, por ser um município periférico na rede, terá um papel menos significativo nesse processo.

Entretanto, quando se desconsideram os animais movimentados para abate, exceto nos meses de junho e agosto, a dispersão do tamanho do impacto potencial tende a ser menor e a concentrar-se mais no limite inferior da proporção do rebanho afetado. Nota-se uma suavização da distribuição, o que, ao estimar uma função de densidade de probabilidade, apontaria com maior probabilidade a ocorrência de cenários com impactos menores, fato representado nos gráficos pela assimetria à direita do histograma de frequências absolutas (gráficos de todos os meses, exceto junho e agosto, para simulações que excluem animais destinados ao abate). Ao passo que, ao se levar em conta todas as finalidades, essa dispersão aumenta, mostrando que impactos potenciais mais expressivos têm probabilidade de ocorrência similar à dos cenários em que os impactos são de menor magnitude.

Nota-se ainda o efeito do calendário de vacinação, pois, para os meses de maio e novembro, observam-se decréscimos mais acentuados; possivelmente porque nestes meses a movimentação de animais para abate é proporcionalmente maior e, com sua retirada da simulação, a redução dos impactos potenciais é mais expressiva no referido período.

Figura 14 – Simulação do total de municípios infectados diante de um surto de febre aftosa (com e sem animais para abate): Mato Grosso do Sul, 2015. Cenário: 3 dias de defasagem
 Fonte: Resultados do modelo a partir de dados das GTAs

Já a Figura 14 apresenta a distribuição do total de municípios que seriam infectados em caso de surto. O número de municípios potencialmente infectados, para uma defasagem de três dias, varia entre 1 e 79 (total de municípios do estado), dependendo da origem do surto. Novamente, destaca-se o papel central dos municípios com maiores índices de centralidade, que provocariam a aceleração do processo de difusão da doença em um maior número de

municípios no estado. A frequência, no eixo das ordenadas, mostra em quantas simulações determinada quantidade de municípios foi infectada, considerando as redes diárias de movimentação de cada mês.

O quadro superior da figura mostra uma dispersão maior do que o quadro inferior, que desconsidera animais para abate. De forma semelhante ao rebanho afetado, o segundo quadro apresenta-se mais concentrado no limite inferior, mostrando maior chance de impactos potenciais mais brandos, ao contrário do primeiro.

Repetiu-se a simulação considerando, desta vez, um total de sete dias até a identificação do surto da doença, obtendo resultados ainda mais próximos ao limite superior – mais extremos –, como mostram as Figuras 15 e 16. Ainda que haja dispersão na distribuição do impacto da infecção sobre o rebanho, a chance de contágio passa a variar de 75 a 100% - levando em consideração a concentração da distribuição estimada nesse intervalo. A quantidade de municípios infectados também varia menos entre 1 e 79, concentrando-se entre 60 e 79 municípios.

Figura 15 - Simulação do percentual de animais afetados por mês diante de um surto de febre aftosa (com e sem animais para abate): Mato Grosso do Sul, 2015. Cenário: 7 dias de defasagem
 Fonte: Resultados do modelo a partir de dados das GTAs

Figura 16 - Simulação do total de municípios infectados diante de um surto de febre aftosa (com e sem animais para abate): Mato Grosso do Sul, 2015. Cenário: 7 dias de defasagem

Fonte: Resultados do modelo a partir de dados das GTAs

Com uma defasagem maior – sete dias –, mesmo desconsiderando animais para abate, o rebanho e os municípios potencialmente afetados demonstram comportamento semelhante aos resultados da simulação que leva em conta todas as finalidades, o que se reflete na assimetria à esquerda, observada em todos os histogramas de ambas as figuras.

Os potenciais impactos no cenário com uma defasagem maior entre o ingresso de um animal contaminado na rede e sua descoberta ampliam-se, de modo que a probabilidade de ampliação da extensão e magnitude do surto é maior do que em um cenário em que se leva somente três dias para identificar o foco e os animais doentes. Naturalmente, estes resultados reforçam o conhecimento dos epidemiologistas e agentes de defesa agropecuária de que o tempo é uma variável determinante para mensurar a amplitude de impactos, inclusive, econômicos da febre aftosa, e um indicador essencial para direcionar as prioridades em termos de política sanitária preventiva e em casos de emergência.

As simulações que excluem animais para abate mostram uma diferença expressiva de impacto se a defasagem até a identificação do surto é curta – três dias. Para uma defasagem maior, não é possível notar diferenças expressivas, o que significa que, independentemente da finalidade de movimentação dos animais, diferença que se configura tanto em um número adicional de animais em circulação quanto um número maior de municípios e fluxos cobertos, um surto de febre aftosa terá maior chance de provocar impactos bastante expressivos dentro do MS quanto maior for tempo de demora para identificá-lo. Isso ocorre porque, em sete dias, ocorre um grande fluxo de movimentações dentro do estado, que interliga a maior parte dos municípios; dessa forma, mesmo que animais para abate sejam excluídos, grande parte da rede já é atingida.

4.4.1. Simulação de um surto em município central e periférico

Após estudar as medidas de centralidade de todas as redes construídas e observar as nuances de potenciais impactos evidenciadas nas simulações, Corumbá foi selecionado como o município de partida para um foco de febre aftosa na simulação do processo de difusão da doença dentro do MS.

Além de aparecer como uma das cidades mais centrais, Corumbá é o maior município do estado e da região Centro-Oeste em termos de extensão territorial, e concentra o segundo maior rebanho bovino do país. Ademais, Corumbá está localizada na fronteira entre o Brasil e a Bolívia, caracterizando-se como uma cidade de alto risco com relação à entrada de animais (legal e ilegal) pela fronteira.

Por fim, Corumbá é principalmente uma cidade fornecedora de animais tanto para outros municípios do MS, quanto para outros estados – sobretudo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Paraná e São Paulo. Portanto, esse município é de grande importância, tanto

econômica como epidemiológica, para o dimensionamento dos impactos de uma difusão eventual da febre aftosa no MS.

Como o objetivo é analisar a estrutura de transmissão da rede, é necessário considerar a interdependência entre os municípios, a qual inclui relações indiretas, dada sua relevância para a transmissão. Para isso, analisa-se a vizinhança de um nó, que consiste em todos os nós que podem ser alcançados por ele através de um caminho (JACKSON, 2010). Quanto menor o caminho percorrido de um nó ao outro, maior é a velocidade de transmissão dentro da rede (DE NOOY et al., 2005).

A epidemiologia matemática auxilia na compreensão desse processo. Tal área de estudo surgiu há mais de 80 anos com a criação do modelo SIR (Suscetível-Infeccioso-Removido), o qual ainda é utilizado como base para a maioria dos modelos que tratam de doenças infecciosas. De acordo com esse modelo, quando ocorre uma epidemia, seu curso previsível é caracterizado por um crescimento logístico (WATTS, 2003).

Quando a doença está no estágio inicial, a população infectada é pequena e, portanto, também é a taxa de novas infecções. Essa fase de crescimento lento é o estágio mais efetivo para prevenir uma epidemia; o problema está em distinguir uma epidemia, em sua fase inicial, de um grupo aleatório de casos não relacionados (focos separados, sem conexão entre si). No momento em que a densidade de animais infectados se torna muito grande, a epidemia normalmente entrou na fase explosiva do crescimento logístico (WATTS, 2003).

A partir deste momento, então, a taxa à qual novas infecções ocorrem é maximizada, tornando quase impossível conter a epidemia. Essa foi a situação na crise de febre aftosa na Inglaterra em 2001, e no Uruguai, no mesmo ano, neste último, optou-se por vacinar os animais ao invés de abatê-los, devido à alta velocidade da transmissão do vírus. Entretanto, eventualmente, mesmo que a epidemia esteja fora de controle, ela chegará ao fim, pois, no limite, todos os animais são infectados, não restando mais nenhum para que o processo de infecção continue. Assim, a trajetória da doença desaparece novamente. Essa fase do crescimento logístico é conhecida como *burnout* (WATTS, 2003).

Portanto, do início ao fim, o curso de uma epidemia apresenta uma curva caracteristicamente em forma de S, conhecida como curva de difusão e discutida por De Nooy et al (2005). No caso da febre aftosa, o eixo x mostra o momento em que a doença foi detectada no município e o eixo y representa a prevalência da doença, que é definida pela soma de todos os municípios que apresentaram a doença naquele período em relação ao total. O padrão de difusão é característico de uma reação em cadeia, na qual um município

contamina seus vizinhos diretos, os quais, por sua vez, contaminam seus vizinhos diretos no próximo estágio, e assim por diante (DE NOOY et al., 2005).

Nesse modelo, algumas hipóteses são levantadas: i) em uma rede densa, a difusão da doença é mais fácil e rápida do que em uma rede esparsa; ii) em uma rede desconectada, a difusão será mais lenta e menos abrangente do que em uma rede conectada; iii) quanto maior a vizinhança de um nó dentro da rede, mais rápido ele será infectado; iv) uma posição central aumenta a chance de infecção; v) a difusão a partir de um vértice central é mais rápida do que a partir de um vértice periférico (DE NOOY et al., 2005).

Essas hipóteses evidenciam o impacto da estrutura da rede no processo de difusão, ressaltando um escopo de discussão sobre como utilizar tais conhecimentos para estabelecer estratégias de prevenção e de controle de uma crise e para o planejamento de uma estrutura de serviços sanitários para gerenciar os riscos.

Assim, observando-se as Figuras 17 e 18, é possível comparar processos de difusão com diferentes pontos de partida, respectivamente, um surto com início em Corumbá e o outro, em Sete Quedas. Tal comparação foi feita justamente para demonstrar a variação na velocidade da difusão quando o processo tem como origem um nó central e quando, alternativamente, se inicia em um nó periférico. A primeira figura apresenta curvas de difusão mensais, enquanto a segunda, curvas de difusão acumuladas para o ano – as curvas são formadas por pontos médios, determinados pelas distribuições diárias de focos iniciados no município analisado. No geral, a curva acumulada para o ano, referente a cada município, mostra o mesmo padrão das curvas mensais.

Verifica-se que ambos os processos de difusão ocorrem de forma acelerada; no entanto, o processo iniciado em Corumbá ocorre de forma mais rápida comparado a Sete Quedas, constatado pelas curvas médias mais inclinadas, do primeiro, que demonstram a alta velocidade de difusão da doença a partir de um nó central. A velocidade é tão alta que tais curvas médias não chegam a formar um S efetivamente. Nota-se que, em dez dias, na média, 100% dos municípios do estado estariam infectados.

Figura 17 - Curvas de difusão mensal no MS para simulações de focos iniciados em Corumbá e Sete Quedas, com base em dados de 2015

Fonte: Resultados do modelo a partir de dados das GTAs

Entretanto, há uma dispersão notável, principalmente, no estágio inicial do surto – evidenciada pelos pontos fora da curva média. Logo, ao considerar as curvas de dispersão diárias – ao invés de apenas a curva média – é possível que se encontre curvas com formato em S; mostrando diferenças na velocidade de dispersão de acordo com o dia observado.

Figura 18 - Curvas de difusão anual no MS simulações de focos iniciados em Corumbá e Sete Quedas, 2015
 Fonte: Resultados do modelo a partir de dados das GTAs

Analisando agora as curvas de difusão de um surto iniciado no município de Sete Quedas, observam-se curvas médias mais suaves, ainda que o processo continue bastante rápido. O formato em S é mais evidente neste caso, mostrando um início mais lento e uma velocidade menor na fase de explosão da taxa de infecção. Em média, dentro de 14 dias a infecção atingiria 100% dos municípios sul-mato-grossenses. Neste caso, nota-se maior

dispersão, elevando a chance de se obter curvas mais ou menos inclinadas que as curvas médias ao levar em conta todos os dados diários.

O fato de que as curvas médias não chegam a ter um formato em S pode ser um sinal de que o processo de difusão na rede é muito rápido, mesmo para o município de Sete Quedas, que é periférico dentro da estrutura – ainda que se possa encontrar curvas menos acentuadas (com velocidade menor) ao observar dados diários. Isso mostra que, na média, a estrutura das redes de movimentação de animais no MS é bastante conectada, o que suscita uma aceleração na velocidade de propagação da febre aftosa dentro do estado. Essa rápida difusão tem substanciais impactos econômicos, discutidos em mais detalhe na próxima seção.

Em outras palavras, nesta simulação teórica, sob fortes pressuposições, ao se considerar um processo de difusão com origem no município mais central (Corumbá), sua velocidade é tão alta que, na média, dentro de dez dias, este processo já teria fim – a infecção teria tomado toda a rede. Ao passo que o processo iniciado na periferia apresenta uma velocidade mais lenta e só atinge 100% dos municípios quatro dias mais tarde, em média, em comparação com o surto iniciado em Corumbá. Nesse sentido, é possível concluir, de acordo com VanderWaal et al. (2016), que surtos de doenças infecciosas podem ser limitados se forem introduzidos na periferia, uma vez que a doença pode ter poucas oportunidades para se espalhar; no entanto, a transmissão pode ser explosiva se a doença atingir um município altamente conectado.

As pressuposições iniciais para realizar as simulações superestimam os potenciais impactos da febre aftosa no estado, pois não levam em consideração alguns fatores epidemiológicos, como a velocidade de transmissão do vírus e a taxa de prevalência da doença no rebanho. Entretanto, os resultados referentes à identificação de municípios mais vulneráveis, levando em consideração o seu rebanho e a movimentação animal, não têm viés. Além disso, a dinâmica da estrutura de fluxos de movimentação também independe desses fatores, conduzindo à identificação de regiões e períodos de maior densidade e, portanto, períodos em que todos os municípios se encontram em uma situação de maior vulnerabilidade. Estes resultados, portanto, não mudariam com o aprimoramento e a incorporação de outros parâmetros epidemiológicos da simulação.

Estas são limitações do modelo que evidenciam a dificuldade de se mensurar de forma mais realista os potenciais impactos de um surto de febre aftosa. Entretanto, a escassez de estudos sobre o assunto faz com que, apesar de preliminares, estas simulações aqui expostas sejam um passo inicial para o que pode ser desenvolvido a fim de explorar um tema de tanta importância para o estado e para a economia brasileira como um todo.

É possível realizar uma parametrização dos fatores considerados nas simulações para que as curvas de difusão dos municípios sejam suavizadas. Uma flexibilização das hipóteses iniciais permitiria comparar cenários com diferentes parcelas de rebanho infectado, graus de imunização e probabilidade de infecção. Contudo, esta parametrização requer uma revisão das rotinas de programação para as redes de movimentação dos animais e um levantamento de elementos da área epidemiológica que possam fundamentar a escolha desses parâmetros de simulação, o que foge do objetivo deste trabalho. Esta revisão, no entanto, abre perspectivas para desdobramentos do presente modelo.

Ademais, a probabilidade de transmissão da febre aftosa não depende apenas da movimentação de animais, como assumido nas simulações aqui apresentadas. Seu contágio ocorre de diferentes formas e depende de diversos fatores, tais como o nível de imunização do rebanho, ações de vigilância e controle, densidade de animais nas propriedades, forma de criação (extensiva ou intensiva), velocidade de transmissão do vírus, taxa de prevalência e período de incubação do vírus. Estes fatores podem ser incluídos nas simulações a fim de aproximá-las a cenários mais reais. A densidade de animais nas propriedades é um dos principais determinantes da difusão da doença, mas não foi incluída neste trabalho pela falta de dados detalhados para o Brasil em um nível tão desagregado.

5. HISTÓRICO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS DO SURTO DE FEBRE AFTOSA DE 2005/2006 NO MS

O último surto de febre aftosa no Mato Grosso do Sul, entre 2005 e 2006, fez com que diversos países proibissem a importação de carne bovina do Brasil; em especial, dos estados atingidos diretamente pela crise. A literatura sugere que tais restrições levaram a uma queda no faturamento das vendas nacionais e internacionais e, em seguida, a um excesso de oferta interna, que, por sua vez, provocou uma redução no preço da carne no mercado doméstico e, assim, a saída de pecuaristas do setor, como mencionado por Garcia et al. (2015).

De fato, o estado do MS, particularmente, só começou a recuperar seus níveis de produção e exportação a partir de 2009 – quatro anos após o início da crise sanitária. Nesse sentido, a seguir, é apresentada uma análise descritiva das exportações brasileiras e sul-mato-grossenses à procura de evidências de impactos do surto. Da mesma forma, o comportamento dos preços internos é examinado em busca de indícios de que os mesmos tenham sido afetados pela reintrodução da doença. São apresentados também alguns gastos de contenção do surto, que foram estimados pelo governo do MS e pela superintendência do MAPA no estado.

5.1. Exportações brasileiras

A partir da notificação oficial feita à OIE sobre a ocorrência do foco, em outubro de 2005, 58 parceiros comerciais do Brasil impuseram restrições à carne brasileira, principalmente sobre produtos de origem sul-mato-grossense. Alguns deles estabeleceram extensas restrições, as quais incluíam a importação de carne de áreas ainda consideradas livres de febre aftosa pela OIE. Tais países representavam cerca de 87% do mercado importador de carne bovina do país. Embora não se possa afirmar que todas as variações discutidas abaixo são atribuídas à crise da febre aftosa, elas permitem, adicionadas a outras informações veiculadas em notícias e na literatura, identificar que, de fato, a crise sanitária provocou efeitos econômicos para a cadeia da carne bovina.

O Chile, que estava entre os principais mercados compradores em 2004 e 2005, importou 97% a menos, no período de outubro de 2005 a setembro de 2006, em comparação aos 12 meses anteriores (de outubro de 2004 a setembro de 2005), passando a importar um volume reduzido de produtos de todo o Brasil nos anos seguintes à crise sanitária – mesmo

que esta tenha atingido o *status* sanitário de apenas alguns estados. Em 2006, Vietnã, Coreia do Norte e Indonésia não importaram qualquer tipo de produto de origem bovina do Brasil, sendo que nos dois anos anteriores estes países eram compradores. O Vietnã voltou a importar logo em 2007 e os outros dois países, em 2008.

Outros mercados, ainda que minoritários, também reduziram suas importações de origem brasileira, no período de outubro de 2005 a setembro de 2006, comparativamente ao mesmo período entre 2004 e 2005. Por exemplo: a Coreia do Sul importou 99% a menos; Argentina, 95%; África do Sul, 92%; China, 68%; Canadá, 58%; Uruguai, 60%; Peru, 42%; Espanha, 40%; Japão, 33%; Alemanha, 26%; Austrália, 18%; França, 6%. Grandes mercados também reduziram suas aquisições do Brasil, como Rússia, Irã, Países Baixos e Argélia, que compraram 4%, 10%, 11% e 33% a menos, respectivamente, no mesmo período de comparação.

Considerando os 12 meses que se seguiram ao registro do primeiro foco de febre aftosa, em outubro de 2005, mesmo que alguns mercados tenham aumentado suas importações, as vendas externas brasileiras de carne bovina e seus derivados, apresentaram uma queda de 4,8% em relação ao mesmo período anterior, em termos de volume (Gráfico 1), computando-se os NCMs listados na Metodologia.

Ao se examinarem as exportações agregadas para o Brasil, de produtos cárneos bovinos, ao se comparar os totais comercializados em 2005 e 2006, não se identificaram mudanças significativas em relação ao período anterior e, inclusive, em 2006 verificou-se uma variação positiva em relação ao ano anterior. Logo, aparentemente, não se evidenciam impactos do surto de febre aftosa sobre as vendas internacionais do Brasil. Situação, esta, distinta da observada quando se analisam as estatísticas de exportação do estado do MS, onde os focos foram registrados.

Gráfico 1 - Exportações de produtos cárneos bovinos (em volume): Brasil, outubro/2004 a setembro/2006
 Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

Em 2006, Rússia e Egito mantiveram o 1º e 2º lugar, respectivamente, no ranking de importadores do Brasil, com seus *market-shares* praticamente constantes entre 2005 e 2006. Ao se considerar um período mais amplo, abrangendo os anos da crise sanitária, de 2003 a 2010, não houve mudanças significativas na participação dos seis maiores importadores de carne bovina e derivados do Brasil no total exportado (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Market-share dos seis principais importadores de carne bovina e derivados no total exportado pelo Brasil: 2003-2010¹³

Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

As exportações de carne *in natura* desossada, que respondem pela grande maioria das carnes bovinas comercializadas no exterior, aumentaram 10% em 2006, em volume, comparativamente a 2005; ao passo que as exportações de carne industrializada cresceram 14% no mesmo período. Da mesma forma, as exportações de miúdos tiveram uma expansão de 20% entre 2005 e 2006. As exportações de carne bovina *in natura* com osso mais do que dobraram, embora seus níveis absolutos sejam bastante baixos, (Gráfico 3).

Pelo Gráfico 2, nota-se que, quando ocorreu a crise sanitária, o volume de vendas de carne bovina brasileira no mercado internacional apresentava uma nítida tendência de elevação, principalmente nos produtos *in natura*, e que a mesma se manteve até 2007.

A participação de cada produto no total exportado não apresentou fortes mudanças entre 2004 e 2009. A carne *in natura* desossada permaneceu representando entre 74% e 80%

¹³ Considerando os NCMs descritos na Metodologia.

das exportações brasileiras e, da mesma forma, a carne industrializada correspondeu entre 13% e 14,5% neste período. Os miúdos também continuaram representando entre 5% e 6% das exportações no mesmo período. As tripas, por outro lado, aumentaram sua participação, passando de 1,6%, em média, entre 2004 e 2007, para 5%, em média, nos anos de 2008 e 2009 – provavelmente pelo aumento da participação de Hong Kong como país destinatário.

Gráfico 3 - Exportações do Brasil e importações mundiais de produtos cárneos de origem bovina (em volume): 1997-2017

Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018) e COMTRADE (2018)

A partir do Gráfico 3, observa-se que as exportações brasileiras permaneceram acompanhando a tendência das importações mundiais de produtos cárneos de origem bovina mesmo com a ocorrência do surto de febre aftosa no MS. Entre 2005 e 2006, as exportações brasileiras cresceram 12,21% e as importações mundiais, 5,23%, em volume. Os dados do Gráfico 3 indicam uma taxa de crescimento anual média das exportações brasileiras de carnes bovinas – de 30,8% ao ano, entre 1997 e 2005; ao passo que as importações mundiais cresceram, nesse mesmo período, somente 2,5% ao ano.

Analisando-se as exportações em nível estadual em 2006, observa-se que os estados de Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará, Rio Grande do Sul e Rondônia apresentaram um aumento em suas exportações de produtos cárneos de origem bovina acima da taxa de crescimento média dos oito anos anteriores (1997-2005). Por outro lado, quatro estados

apresentaram variações negativas em seus volumes exportados no mesmo período da crise sanitária, entre 2006 e 2005, que foram Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo e Santa Catarina (GARCIA et al., 2015). Atenta-se que, enquanto MS e PR foram atingidos pela presença de focos de febre aftosa, SP e SC eram importantes parceiros no comércio de animais dos primeiros e, por isso, tiveram parte de seu comércio restringido (Quadro 2).

Estado	Taxa de crescimento 1999-2005	Variação 2006/2005
Goiás	44,66%	96,38%
Mato Grosso	28,33%	113,05%
Mato Grosso do Sul	60,76%	-80,57%
Minas Gerais	68,71%	121,29%
Pará	-0,89%	1194,71%
Paraná	32,36%	-67,70%
Rio Grande do Sul	32,69%	59,82%
Rondônia	13,17%	145,36%
Santa Catarina	81,88%	-64,51%
São Paulo	29,32%	-7,72%

Quadro 2 - Crescimento e variação das exportações estaduais de produtos cárneos bovinos (em volume): 1997-2006

Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

Buscando verificar, ainda, se há evidências de que a crise sanitária tenha tido efeitos sobre os patamares de preços negociados pelos exportadores brasileiros, observa-se que o índice de preço das exportações brasileiras de carne bovina – construído com base nos valores unitários médios das exportações, uma *proxy* para preços de exportação, conforme explicado na Metodologia – permaneceu acompanhando as tendências do índice de preço de carne bovina internacional, calculado pela FAO (Gráfico 4).

Nota-se, por sua vez, que a partir do início de 2006, o índice de preços de exportação da carne bovina brasileira teve um descolamento do índice de preços mundiais de carne bovina da FAO, apontando variações do primeiro em comparação às variações do índice mundial, mas ambos com tendência crescente. Não se pode identificar, graficamente, evidências de que a evolução dos preços unitários de exportação de carne bovina brasileira tenha sido afetada pelo choque sanitário da crise do MS.

Gráfico 4 - Índice de preço da carne bovina exportada pelo Brasil e índice de preço da carne mundial calculado pela FAO: janeiro/2004 a dezembro/2009*

Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018) e da FAO (2018)

*Base: 2002-2004

No geral, o preço médio das exportações brasileiras de produtos de origem bovina não se reduziu nos últimos meses de 2005 e nem em 2006, comparado ao primeiro. Exceto o preço médio das exportações de carne *in natura* desossada, que apresentou reduções na ordem de 5%, 11% e 2% em janeiro, fevereiro e março de 2006, respectivamente, com relação ao mesmo período no ano anterior (Gráfico 5). Nota-se, ainda, que a partir de abril o preço unitário médio dessas exportações voltou a subir. Uma análise mais detalhada requer uma modelagem econométrica ou de séries temporais que permita, de fato, afirmar se a crise provocou um choque sobre os níveis e o perfil dos preços, cabendo, contudo, lembrar que o sistema de contratos¹⁴ de exportação provê uma rigidez aos preços no curto prazo. Ademais, há outros elementos, como aqueles relacionados ao ciclo pecuário que afetam o mercado do boi gordo e do bezerro, e consequentemente, a disponibilidade de animais e de carne, e cuja variação conjunta só seria viabilizada, de fato, pelo uso de um instrumental econométrico.

¹⁴ Miranda (2001, p. 72) menciona que o prazo entre fechamento do contrato e o embarque das carnes bovinas varia entre 15 e 60 dias, mas podendo chegar a 120.

Gráfico 5 - Preço médio de exportação da carne *in natura* desossada (US\$/tonelada): Brasil, outubro/2004 a setembro/2006

Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

A observação do comportamento dessas séries de dados não provê indícios de que a crise sanitária tenha provocado impactos significativos sobre as exportações brasileiras, em termos agregados, para o país. Isso pode ser um indicativo de que alguns estados absorveram o potencial de exportações daqueles afetados diretamente pelo surto, que ficaram impedidos de atender o mercado externo durante a suspensão do seu *status* de área livre de febre aftosa.

As constatações permitem, ainda, inferir que o princípio da regionalização estabelecido no acordo SPS foi observado por grande parte dos mercados importadores do Brasil. Ou seja, a regionalização pode ter contribuído para a manutenção das exportações. Adicionalmente, parece haver indicações de que a estabilidade dos preços mundiais durante a crise sanitária no MS contribuiu para evitar impactos expressivos sobre os preços das exportações brasileiras.

Embora não haja, na literatura, registros sobre o impacto da crise da febre aftosa de 2005 sobre a reputação da carne brasileira no mercado internacional, sabe-se que esse tem sido um impacto intangível geralmente associado a crises sanitárias nos países exportadores. Contudo, é um efeito difícil de ser medido e, consequentemente, valorado.

5.2. Exportações sul-mato-grossenses

Neste item são analisados dados de exportação referentes ao período de 1997 a 2017, com ênfase no período de crise sanitária, entre 2005 e 2006, estendendo-se a 2009, quando se verifica uma recuperação do volume exportado de carnes bovinas pelo MS.

As exportações de carne bovina do MS, no geral, caíram 81% entre 2005 e 2006, tanto em termos de volume como de receita. Especificamente, as exportações de carne *in natura* com osso recuaram 21%; de carne *in natura* desossada, 84%; de carne industrializada, 17,6%; de miúdos, 39%; e de tripas, 36%¹⁵ (Gráfico 6). Nota-se a importância relativa da carne *in natura* desossada (congelada e resfriada) na quantidade exportada pelo estado do MS. Até 2010, o volume exportado ainda não havia alcançado o nível registrado em 2005, apesar de em 2008 a receita já ter ultrapassado aquela obtida em 2005 (Gráfico 7).

Gráfico 6 - Exportações de produtos cárneos de origem bovina (em mil toneladas): MS, 1997-2017
Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

¹⁵ Salgados só passaram a ser exportados pelo MS em 2007 e, por isso, não são considerados.

Gráfico 7 - Exportações de produtos cárneos de origem bovina (em US\$ milhões): MS, 1997-2017
 Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

Dessa forma, ao considerar os três produtos exportados pelo MS mais representativos dentro das exportações nacionais, observa-se que a participação das exportações sul-matogrossenses de carne *in natura* com osso no total exportado pelo Brasil caiu de 57,1%, em 2005, para 20,1% em 2006. Quanto à carne *in natura* desossada, as exportações do estado representavam 11,7% das exportações nacionais, em 2005, participação esta que caiu para apenas 1,6% no ano seguinte. Por fim, a participação das exportações de miúdos reduziu-se de 11,9%, em 2005, para 6,15% das exportações brasileiras em 2006. A participação das exportações de carne *in natura* desossada do MS nas exportações brasileiras deste produto só voltou ao nível de 2005 em 2009 (Anexo D, Gráfico D.1).

As exportações de carne bovina e derivados do MS recuaram 75,4% entre outubro de 2005 e setembro de 2006, comparativamente ao mesmo período entre 2004 e 2005 (Gráfico 8), e nesse mesmo período, apenas a Arábia Saudita aumentou suas importações. Em contraposição, houve uma forte queda nas importações dos demais mercados: o Reino Unido reduziu suas importações em 97%; Argélia, 96%; Itália, 94%; Países Baixos, 90%; Cingapura, 87%; Israel, 74%; e Hong Kong, 19%.

Gráfico 8 - Exportações de produtos cárneos de origem bovina (em mil toneladas): MS, outubro/2004 a setembro/2006

Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

Chile, França, Suíça, Venezuela, Irlanda e Líbano – mercados importantes em 2005 – suspenderam 100% de suas compras de produtos bovinos do MS em 2006, além de outros 24, de menor importância relativa, que deixaram de importar do estado naquele ano. O Chile voltou a comprar carne bovina do MS em 2010, e a Irlanda, em 2011 somente. Já a França, Suíça e Venezuela voltaram a importar, em 2007, mas não ultrapassaram, respectivamente, 2%, 3% e 6% dos volumes vigentes antes da crise, em 2005. O Líbano retornou suas compras em 2008, mas também a um nível 97% inferior ao praticado em 2005.

Até 2005, a Rússia era líder nas compras de carne bovina e derivados do MS, entretanto, em 2006 e 2007, não aparece entre os principais mercados importadores do estado, voltando ao seu posto apenas em 2008 (Gráfico 9). Suas aquisições em 2006 e 2007 limitaram-se a cerca de 1% do que importava até 2005, e somente em 2008 o país voltou a importar volumes, aí, então, maiores dos de 2005. O Egito também deixou de aparecer entre os principais importadores do MS em 2006 e 2007, retornando somente em 2008.

A partir de 2008, observa-se uma tendência de maior concentração das exportações sul-mato-grossenses entre três países, Rússia, Egito e Hong Kong. A Rússia, principalmente, mostrou-se substancialmente reativa à crise sanitária, deixando de importar quase totalmente os produtos do MS. Dessa forma, o aumento da dependência do estado em relação a este país poderia significar uma amplificação de potenciais impactos em futuras crises sanitárias.

Gráfico 9 - Market-share dos seis principais importadores de carne bovina e derivados no total exportado (em volume): MS, 2003-2017

Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

Nota-se, ainda, que alguns países europeus – Itália, Reino Unido, Espanha e Alemanha – importavam um volume significativo de carne bovina do MS e, após o surto, fecharam quase totalmente seus mercados. Apenas a Itália voltou a importar uma parcela maior das exportações do estado, em 2007.

Comparando-se as variações dos preços em reais e em dólares das exportações de carne bovina *in natura* desossada do MS, é possível observar que elas mantiveram um ritmo parecido no período estudado. Não se verifica descolamento significativo nas variações dos preços medidos em diferentes moedas, o que mostra que mudanças no câmbio (em relação ao dólar) não interferiam de forma expressiva na variação do preço em reais (Gráfico 10).

Por outro lado, quanto ao preço de exportação da carne bovina *in natura* desossada, o preço do MS, quando comparado ao preço do Brasil como um todo, tendeu a ser menor no período que se seguiu à crise sanitária, principalmente em 2007, como pode ser visto no Gráfico 11. Em especial, entre novembro de 2005 e janeiro de 2006, o preço unitário das exportações sul-mato-grossenses reduziu-se mais fortemente quando comparado ao mesmo preço das exportações do Brasil.

Gráfico 10 - Variação do preço médio das exportações de carne in natura desossada, em R\$/Kg e US\$/Kg: MS, janeiro/2003 a dezembro/2010

Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

Gráfico 11 - Preço médio de exportação da carne bovina *in natura* desossada (em US\$/tonelada): MS e Brasil, janeiro/2003 a dezembro/2010

Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

Observando-se o preço médio das exportações de carne bovina *in natura* desossada, no MS, é possível notar que este foi 6% maior em 2006, com relação a 2005. Contudo, nos três primeiros meses do ano, houve reduções da ordem de 13%, 10% e 5% comparado ao mesmo período no ano anterior. A carne industrializada, que apresentou expansão na variação do preço médio em 2005 – em relação a 2004 –, mostrou uma queda de 39% no valor unitário da tonelada exportada em 2006 em relação a 2005. Ao final de 2005, seu preço médio de

exportação caiu 50%, comparando dezembro daquele ano a dezembro de 2004. Ademais, o preço no mês de janeiro de 2006 foi 84% mais baixo, comparado ao mesmo mês no ano anterior. Novamente, não se pode afirmar que a magnitude e a direção dessas variações são resultantes integralmente da crise sanitária, o que só se poderia confirmar por meio de um estudo econométrico.

O preço médio da carne bovina *in natura* com osso, em 2005, por sua vez, foi 13% mais baixo que em 2004 e, em 2006, foi 16% menor com relação a 2005. Em dezembro de 2005, houve uma queda de 23% no preço de exportação deste produto, comparado a dezembro de 2004. Já no mês de janeiro de 2006, especificamente, houve uma queda de 36% em relação ao mesmo período do ano anterior. No entanto, no mês seguinte a redução do preço foi menor, cerca de 9%, comparado a 2005.

Ao mesmo tempo, as exportações de miúdos e tripas apresentaram aumento em seu preço médio em 2006, com relação a 2005, não demonstrando possíveis efeitos negativos do surto de febre aftosa em nenhum mês daquele ano. Sendo assim, é importante fazer uma análise mais detalhada sobre os impactos nas exportações sul-mato-grossenses de cada produto.

De acordo com Garcia et al. (2015), em 2006, a queda do preço unitário de exportação de carne bovina *in natura* do MS foi de 83%. Além disso, os autores afirmam que os mercados importadores minoritários, que em 2005 representavam 32% do volume exportado desse produto, compraram carne a um valor 60% mais baixo que no ano anterior. Tais afirmações não foram confirmadas no presente estudo, que mostra uma variação positiva no preço das exportações de carne bovina *in natura* desossada do MS nesse mesmo período, registrando como a queda mais significativa a de 16% no preço unitário das exportações, entre 2005 e 2006, mas para a carne bovina com osso, tipo de produto de pouca relevância no total exportado pelo estado à época.

5.2.1. Carne *in natura* desossada¹⁶

Em 2004 e 2005, as exportações de carne *in natura* desossada do MS somaram 50 mil toneladas e 126,6 mil toneladas, respectivamente. A Rússia era o principal importador do estado, concentrando uma parcela significativa das exportações do produto (Figura 19). Em 2006, o estado exportou 20,03 mil toneladas de carne – 84,2% a menos que em 2005. No

¹⁶ Para este item, foram considerados os NCMs 02013000 e 02023000.

mesmo ano, 34 países que importaram carne do MS, em 2005, deixaram de comprar do estado; dentre eles alguns mercados relevantes compradores, como Estados Unidos, França, Chile e China. Os cinco principais compradores do MS mudaram entre os dois anos, e o principal importador deixou de ser a Rússia, passando o posto à Arábia Saudita.

No ano de 2007, as exportações somaram 30,08 mil toneladas, observando-se, ainda, uma tendência de concentração do volume exportado entre os cinco principais importadores. Em 2008, o volume total exportado chegou a 92,3 mil toneladas. A Rússia voltou a representar o principal importador, e o Egito também retornou para o ranking dos cinco maiores mercados compradores. Por fim, em 2009, as exportações deste produto totalizaram 119,72 mil toneladas e, nesse ano, a Rússia representou 51% do volume exportado pelo estado.

No geral, o que se pode observar é que, em 2005, houve uma forte expansão do volume exportado e do número de países importadores de carne *in natura* desossada do MS. Expansão esta que logo se dissipou por conta do surto de febre aftosa, no final desse mesmo ano, que, conforme a análise realizada neste trabalho, provocou efeitos negativos sobre as exportações de 2006, principalmente. O volume exportado mostrou melhoras ao longo do tempo, mas a recuperação, mesmo após quatro anos dos focos, ainda não havia permitido alcançar o volume exportado vigente antes da crise.

Além disso, após 2006, nota-se uma tendência de aumento da concentração de exportações entre os cinco principais importadores. Os impactos observados em relação à carne *in natura* desossada são mais significativos porque esta era (e permanece) o produto bovino mais exportado pelo MS. O volume total de exportações sul-mato-grossenses deste produto em 2005 só foi recuperado oito anos após a crise sanitária, em 2013.

Figura 19 - Principais importadores de carne bovina *in natura* desossada do MS: 2004-2009
 Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

5.2.2. Outros cárneos de origem bovina¹⁷

Em 2004, as exportações de carne *in natura* com osso do MS somaram 172,3 toneladas; a França concentrou quase 90% do volume exportado (Figura 20). No ano seguinte, o volume total exportado foi de, aproximadamente, 946 toneladas – 5,5 vezes maior que em

¹⁷ Para este item, foram considerados os seguintes NCMs: 02011000, 02012010, 02012020, 02012090, 02021000, 02022010, 02022020 e 02022090 (carne *in natura* com osso); 16025000 (carne industrializada); 02061000, 02062100, 02062200, 02062910 e 02062990 (miúdos); 05040011 (tripas); 02102000 (salgados).

2004 e a França permaneceu como maior importador. Já em 2006, as exportações de carne *in natura* com osso somaram 746 toneladas, uma redução de 21% com relação ao ano anterior, perdendo-se mercados importantes para esses produtos – Alemanha, França e Angola.

No ano de 2007, o volume exportado totalizou 427,6 toneladas – 57% a menos que em 2006. Em 2008, Angola voltou a importar o produto, posicionando-se como o principal mercado, concentrando mais de 50% do volume total exportado – que foi de 627,8 toneladas naquele ano. Já no ano de 2009, o MS exportou 335,6 toneladas do produto – redução, com relação a 2008, que pode ter sido consequência da crise econômica mundial. Naquele ano, os Emirados Árabes Unidos foram incluídos na pauta de exportações. Entretanto, o estado perdeu seis mercados que tinha em 2008; dentre eles, a Malásia, que se encontrava entre os principais importadores.

Em 2006, houve redução do valor pago pela tonelada de carne *in natura* com osso, bem como a saída da França e Angola, o que pode ter sido consequência do surto de febre aftosa iniciado em outubro de 2005. Angola voltou a importar carne *in natura* com osso do MS em 2008, no entanto, até 2009 o estado ainda não havia recuperado o mercado da França, o que ocorreu apenas em 2013.

Figura 20 - Principais importadores de carne bovina *in natura* com osso do MS: 2004-2009
 Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

Em 2004, o MS exportou carne bovina industrializada para apenas três países: Japão, Rússia e Espanha (Figura 21). Tais exportações somaram 120,6 toneladas de carne. Já em 2005, apenas Japão e Hong Kong importaram o produto, sendo que o primeiro representou quase a totalidade do volume total exportado pelo estado – o qual totalizou 263,4 toneladas. Entretanto, em 2006, o volume exportado teve uma redução de 17,5%, caindo para 217,4 toneladas. O Japão permaneceu como principal importador, mas sua participação foi reduzida em 20%. Todas essas mudanças podem ter sido consequência do surto de febre aftosa.

No ano seguinte, 2007, as exportações voltaram a crescer, aumentando em 81% com relação a 2006 – totalizando 393,8 toneladas e, assim, superando o volume exportado em 2005. O número de importadores aumentou para seis países. Em 2008, a expansão das exportações teve continuidade, somando 668,2 toneladas – variação de 69,7% em relação ao ano anterior. Hong Kong foi o principal importador, superando o Japão – que antes dominava o mercado. Entretanto, observa-se uma redução da concentração da participação dos dois países no total exportado pelo MS.

Em 2009, a Arábia Saudita e a Bolívia tiveram uma pequena participação no total exportado, e o Japão voltou a ser o principal importador de carne industrializada do MS, concentrando 89% do volume exportado pelo estado. Foram exportadas 856 toneladas desse tipo de carne naquele ano – um aumento de 28% em comparação a 2008. No geral, portanto, o ano de 2006 refletiu os impactos do surto de febre aftosa, que se dissiparam nos anos seguintes e as exportações de carne industrializada do MS voltaram a crescer.

Cabe ressaltar que, como aponta Miranda (2001), as exportações de carne industrializada não estariam sujeitas a impactos de crises sanitárias relacionadas à febre aftosa, tendo em vista que os processos industriais eliminam o risco de transmissão do vírus. Contudo, sabe-se que, diante de crises sanitárias, cada país pode reagir não apenas com base em conhecimentos técnicos e científicos, mas, muitas vezes, por outros interesses comerciais, o que poderia configurar o uso dessas restrições comerciais como barreiras não tarifárias pelo país importador. De qualquer modo, este tipo de produto não tinha um volume muito significativo de comércio pelo estado de MS, mas dentro do diagnóstico geral, vale a pena evidenciar que apesar de não oferecer risco, acaba sendo afetado pela crise sanitária.

Figura 21 - Principais importadores de carne industrializada do MS: 2004-2009
 Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

Em 2004, o MS exportou 7,3 mil toneladas de miúdos. Hong Kong concentrou 33% do volume exportado naquele ano (Figura 22), situando-se como principal importador. No ano seguinte, Hong Kong permaneceu liderando o ranking dos principais mercados. Foram exportadas 7,5 mil toneladas – um aumento de, aproximadamente, 29% no volume exportado. O estado conquistou o mercado japonês, além da Coreia do Sul, Chile e Estados Unidos – ainda que tenham representado uma parcela pequena das exportações.

Figura 22 - Principais importadores de miúdos do MS: 2004-2009
 Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

Entretanto, em 2006, o estado perdeu 11 mercados importadores de miúdos, entre eles: Japão, Suíça, Emirados Árabes Unidos, França, Egito, Coreia do Sul e Alemanha. Naquele ano, o volume exportado foi de 4,6 mil toneladas, com redução de 38% em relação a 2005.

Em 2007, o estado exportou 6,2 mil toneladas de miúdos; 35% a mais que no ano anterior. Perdeu um importante mercado, a China, que em 2005 representou 8% da receita obtida com as exportações. Além disso, os mercados perdidos em 2006 também não foram

recuperados em 2007. A partir de 2007, a concentração do volume e da receita das exportações passou a ser maior entre os cinco principais importadores.

Já em 2008, as exportações aumentaram com relação a 2007, mas nesse mesmo ano, o estado perdeu um importante mercado, a Rússia. Por outro lado, recuperou três mercados que havia perdido em 2006: Emirados Árabes Unidos, França e Egito. Em 2009, o MS exportou 6,9 mil toneladas – uma leve redução em relação a 2008 de 1,5%.

Dessa forma, verifica-se que uma das maiores consequências do surto de febre aftosa foi a perda de importantes mercados de miúdos em 2006 e 2007. Até 2009 o MS ainda não havia recuperado os mercados da China e da Rússia, no que tange à exportação deste produto. O volume total de exportações sul-mato-grossenses de miúdos em 2005 só foi recuperado sete anos após o início da crise sanitária, em 2012.

Em 2004, o MS exportou 280 toneladas de tripas. A Itália era o principal importador deste produto, concentrando 45% do total exportado; no ano seguinte, as exportações desse produto pelo estado aumentaram 4,8 vezes (1.340 toneladas) e novos mercados foram conquistados – como França, Holanda, Alemanha, Espanha e Peru, sendo estes dois últimos, juntos, representando 23% do volume exportado. Em 2005 e 2006, a Itália perdeu sua participação como maior comprador de tripas do MS para Hong Kong (Figura 23). A redução nas vendas de tripas pelo MS foi de 36% em 2006.

No ano de 2007, as exportações voltaram a crescer, superando o volume exportado em 2005, alcançando 2 mil toneladas, com a recuperação do Peru como destino das exportações de tripas. Em 2008, outros países passaram a integrar os destinatários desse produto – Estados Unidos, Grécia, Portugal e Emirados Árabes Unidos, mas Hong Kong voltou a responder por sua maior parte, 64%. Ainda no ano seguinte, esse país asiático permaneceu como maior comprador de tripas do MS, representou 92% do volume exportado.

Figura 23 - Principais importadores de tripas do MS: 2004-2009
 Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)

Como o estado só passou a exportar carne salgada com frequência a partir de 2007 – sendo este o produto menos representativo em sua pauta de exportações – não foi possível avaliar se o surto de febre aftosa iniciado em 2005 teve impactos sobre suas exportações.

No geral, mercados importantes, como Chile, França e Líbano, além de países de menor relevância nesse comércio, proibiram totalmente as compras de carnes e derivados bovinos do MS por conta da crise sanitária. Outros, como países europeus e Hong Kong,

importaram volumes consideravelmente menores do estado em 2006. Em sua maioria, voltaram a importar do estado logo, no ano de 2007, embora a níveis mais baixos do que antes da crise. O nível de exportações do MS só começou a demonstrar sinais de recuperação a partir de 2008, quando a maior parte de seus mercados já havia voltado a comprar volumes expressivos. Contudo, alguns países ainda levaram dois ou três anos para voltar a importar desse estado. Portanto, a dinâmica de recuperação dos mercados perdidos com a crise foi bastante distinta entre os diferentes países, não apresentando um padrão específico.

5.3. Preços internos

A hipótese inicial deste estudo era de que o surto de febre aftosa e as consequentes restrições às exportações brasileiras levaram a um excesso de oferta interna de carne bovina e, com isso, a uma redução no preço da carne no mercado doméstico. Para verificar esta hipótese, foram analisados dados referentes ao preço do boi e do bezerro, no MS e no Brasil como um todo, e da carne no atacado em SP, para os anos de 2005 e 2006.

De acordo com o boletim Agromensal, publicado pelo Cepea ao final do mês de outubro de 2005, aquele mês iniciou-se com elevação dos preços da carne no atacado por conta de uma oferta menor em relação à demanda. Entretanto, com a notícia sobre a suspeita de um foco de febre aftosa no município de Eldorado, no MS, o mercado passou a atuar de forma cautelosa, apresentando um comportamento especulativo (CEPEA, 2005a). A confirmação do foco, seguida pelos embargos à carne brasileira no mercado internacional, mostrou forte impacto no mercado interno segundo esta fonte, inclusive com movimento de baixa nos preços no mercado atacadista de carne da Grande São Paulo (CEPEA, 2005a).

Ao final de outubro de 2005, este cenário foi agravado com as suspeitas de novos focos no Paraná. Com isso, os movimentos ficaram ainda mais cautelosos em todos os segmentos da pecuária, de forma que os poucos negócios efetivados refletiam a perda de referência do mercado. Apesar disso, mesmo com o aumento das incertezas quanto às proporções da crise sanitária, os preços da carne começaram a reagir ainda nos últimos dias do mês. Segundo as notícias veiculadas pelo Cepea, à época, com o fechamento do mercado paulista à carne e ao boi vivo do MS, as ofertas mantiveram-se reduzidas em SP, contribuindo para a manutenção das cotações nesse estado (CEPEA, 2005a).

Em novembro de 2005, a instabilidade ainda caracterizava o mercado pecuário, cuja crise sanitária era agravada por notícias sobre denúncias de cartel. A alta volatilidade dos preços nas principais regiões consultadas do Brasil mostrava a indefinição generalizada do

mercado, caracterizado por forte especulação, indefinição de preços e de ofertas, com poucos negócios sendo realizados (CEPEA, 2005b).

Em 2006, as incertezas no mercado interno, assim como no externo, permaneceram dificultando o planejamento da comercialização, de modo que janeiro ainda foi marcado por poucos negócios (CEPEA, 2006a). Em fevereiro, persistiram os impasses quanto à reabertura dos mercados externos e às irregularidades nos envios de carne para a Rússia, situação agravada pela confirmação de novos focos de febre aftosa no Paraná. Diante desse cenário, houve uma recuperação tímida nos preços da carne e de animais para abate, embora na comparação com os valores praticados em fevereiro de 2005, a média a prazo dos preços da carne foi 8,67% inferior (CEPEA, 2006b).

Segundo levantamentos do Cepea (2006c), em abril, o mercado pecuário vislumbrava melhoras, mas foi surpreendido pelo anúncio do embargo russo para o Rio Grande do Sul, ao mesmo tempo que havia também expectativa de reabertura daquele mercado para o MS, PR, SC, MT, GO, SP e MG. Entre março e abril, Argélia e Angola retomaram as compras de alguns estados brasileiros.

O mercado, porém, mal teve tempo de se reestruturar diante da retirada dos embargos em parte do território nacional e um novo foco de febre aftosa foi confirmado em Japorã, também no Mato Grosso do Sul. Embora esta notícia tenha feito os frigoríficos adotarem cautela frente a novas compras de animais, as cotações de animais vivos e de carne reagiram com os níveis de preços praticados em abril de 2006 semelhantes aos do mesmo período de 2004, embora ainda abaixo dos patamares de abril de 2005 (CEPEA, 2006c). Há que se ressaltar que, ao observar as séries de preços e de comercialização externa, o ano de 2005 registrou melhores resultados e condições do que 2004, tendência esta que foi interrompida pelo foco registrado em outubro.

Observando-se o preço mensal médio do quilo da carne, dado pela média a prazo, para os anos de 2005 e 2006, nota-se, a partir de novembro de 2005, uma variação negativa expressiva do preço que se manteve até março de 2006. Na verdade, verificaram-se sinais de expansão sustentada dos preços somente a partir de agosto do mesmo ano (Gráfico 12). O mês de dezembro de 2005 aponta um impacto negativo mais forte sobre os preços; em especial, o corte dianteiro do boi mostrou a maior queda mensal (18%), inclusive, de acordo com o boletim Agromensal de dezembro de 2005 (CEPEA, 2005c), a maior variação negativa mensal registrada naquele ano.

Entretanto, analisando-se o Gráfico 12, também é possível notar que os preços da carne aparentam seguir uma variação sazonal, demonstrando certo padrão de comportamento.

Sem a aplicação de um modelo econométrico que considere fatores como o ciclo pecuário e a sazonalidade de preços da carne, não é possível afirmar que a queda indicada no gráfico abaixo deveu-se ao surto de febre aftosa no MS.

Gráfico 12 - Variação em relação ao mês anterior do preço da carne bovina em SP: nov/2005-dez/2006
Fonte: Elaborado a partir de dados do CEPEA (2018)

O preço médio do dianteiro mostrou significativa queda entre 2005 e 2006, comparando os meses correspondentes nesse período (Tabela 6). O preço do corte traseiro, apesar de não ter decrescido, apresentou uma expansão pouco expressiva no mesmo período, menor que 1%. Observaram-se sinais de melhora a partir de agosto de 2006, comparado ao mesmo período de 2005. O corte mais afetado foi o ponta de agulha do boi, que não apresentou recuperação de seus preços durante o ano de 2006 inteiro, evidenciado pelo Gráfico 13. Cabe destacar que ao serem afetadas as exportações, principalmente compostas por cortes de traseiro, estes tendem a permanecer no mercado doméstico e, portanto, seus ajustes de preços internos vão depender da substituição de cortes dianteiros por traseiros pelo próprio consumidor doméstico.

Gráfico 13 - Preço médio mensal da carne bovina em SP (R\$/Kg): janeiro/2005 a dezembro/2008
Fonte: Elaborado a partir de dados do CEPEA (2018)

Pode-se observar também o comportamento dos preços dos animais vivos entre 2005 e 2006. Com a confirmação do foco e o anúncio dos embargos internacionais à carne brasileira, em outubro de 2005, os preços do boi gordo recuaram ao final daquele mês. Em novembro, as ofertas de animais para abate estiveram bastante limitadas, principalmente para os frigoríficos paulistas, antes da reabertura das fronteiras de SP para os animais do MS (noticiada em 17 de novembro de 2005), mas também se observava pouco interesse dos frigoríficos adquirirem animais para abate. Os recuos das cotações do boi nessa época de entressafra, em várias regiões, foram reflexos da crise gerada pela febre aftosa, sobretudo pelo fechamento imposto ao mercado sul-mato-grossense, segundo destacado por Cepea (2005b).

Entre dezembro de 2005 e janeiro de 2006, houve uma queda de 7% no preço do boi gordo, tanto no MS como em SP; seguida por nova queda de 4% em ambos estados, entre janeiro e fevereiro de 2006. O preço do boi gordo apresentou maior redução em SP do que no MS, entre dezembro de 2005 e março de 2006. Em média, o preço do boi gordo no MS foi 5% mais baixo em 2006, comparado ao ano anterior; ao passo que, em SP, essa redução foi de 13% (Figura 24).

De fato, o boletim Agromensal do Cepea mostra que, em dezembro de 2005, os preços tiveram um comportamento bastante atípico, com movimentos diferentes dos observados nos três anos anteriores. Neste cenário, o Cepea (2005c) relata que houve redução nas margens dos pecuaristas, bem como da indústria. Com a persistência da crise sanitária no início de 2006, na comparação com os valores de fevereiro de 2005, a média a prazo dos preços do boi ficou 13,7% menor (CEPEA, 2006b).

O boletim Agromensal de janeiro de 2007 do Cepea (CEPEA, 2007a) registra que o MS ainda se ressentia com os reflexos da crise de febre aftosa, iniciada em outubro de 2005 já que mais de 50 países ainda matinhm algum tipo de embargo à carne produzida nesse estado. Em janeiro de 2007, 14 municípios sul-mato-grossenses ainda estavam impedidos de comercializar seus rebanhos e a União Europeia mantinha embargada também a produção de SP (CEPEA, 2007a).

Apesar da manutenção dos embargos, comprometendo as receitas de exportação dos frigoríficos, e das restrições às vendas de SP, PR e MS para a União Europeia e outros países em 2007, nesse mesmo ano foram registradas cotações recordes dos preços da arroba, do bezerro e da carne no atacado (CEPEA, 2007c).

Figura 24 - Preço médio do boi gordo (R\$/aroba) em SP e MS: janeiro/1999 a dezembro/2010
Fonte: Elaborado a partir de dados do CEPEA (2018)

Analisando-se os índices estacionais para o ano de 2006 do preço do boi gordo, em ambos os estados do MS e SP, e comparando-os aos índices de sazonalidade, observa-se que os mesmos não apresentaram grande variação em relação à sazonalidade observada nos anos anteriores e posteriores ao surto, embora, levemente abaixo das médias sazonais nos primeiros meses de 2006.

Figura 25 - Índices de estacionalidade e sazonalidade do preço do boi gordo nos estados de SP e MS: 1999-2010
Fonte: Elaborado a partir de dados do CEPEA (2018)

Em relação ao mercado de bezerro, cuja relevância era grande para o MS, como fornecedor para vários estados, papel que se mantém até a atualidade, cabe observar que seus preços já apresentavam quedas ao longo de 2005. Entretanto, as variações negativas mensais no final daquele ano e nos primeiros meses de 2006 foram comparativamente mais pronunciadas. Em novembro de 2005, o preço do bezerro no MS baixou 4% e em SP, 0,8%. No MS, os preços continuaram mostrando uma trajetória descendente até fevereiro de 2006. Durante este período, os preços do MS foram, em média, 4% mais baixos que os preços em SP – diferença esta que não passou de 1,1% nos dez primeiros meses de 2005 (Figura 26). Apenas no ano de 2007 os preços se recuperaram, de forma consistente, superando os níveis observados em 2004.

Figura 26 - Preço médio do bezerro (R\$/cabeça) em SP e MS: janeiro/1999 a dezembro/2010
 Fonte: Elaborado a partir de dados do CEPEA (2018)

Comparando-se os índices estacionais para o ano de 2006 ao índice sazonal do preço do bezerro, em ambos os estados do MS e SP, observa-se que os índices estacionais de preços nesse ano mostraram-se inferiores à média sazonal nos primeiros quatro meses do ano, calculada para os anos anteriores e posteriores ao surto.

Figura 27 - Índices de estacionalidade e sazonalidade do preço do bezerro nos estados de SP e MS: 1999-2010
 Fonte: Elaborado a partir de dados do CEPEA (2018)

Entretanto, a pecuária brasileira apresenta ciclos de preço de longo prazo, que podem ter afetado esses preços, interagindo com os efeitos do surto de febre aftosa ocorrido no MS em 2005/2006. No período de ocorrência do surto de febre aftosa no MS, há evidências do encerramento de um ciclo pecuário, quando o abate de fêmeas (ou matrizes) aumenta e a venda de bezerros cresce, reduzindo seu preço. Esse comportamento pode ser confirmado pelos dados do Gráfico 14 – que apresenta a parcela de fêmeas bovinas no total de animais

abatidos no Brasil por trimestre e o Indicador do Bezerro, que mostra o preço dos animais no MS.

Portanto, não é possível afirmar que as variações nos preços dos produtos pecuários tenham sido decorrência somente do surto de febre aftosa, para o que é necessário se aplicar modelos econométricos que desagreguem os efeitos dos ciclos e da doença, além de outros fatores que influenciam os preços, como: câmbio, renda das famílias, preço da alimentação dos animais, preferências de consumo, comércio internacional, eficiência na produção, preço de bens substitutos.

Gráfico 14 - Abate de matrizes bovinas e preço do bezerro: 2000-2010

Fonte: CEPEA (2018) e IBGE (2018)

Há de se destacar também que a integração da cadeia pecuária entre todos os estados, e a importância do mercado doméstico na absorção de seus produtos leva a crer que uma análise interessante e ampla seria estimar um modelo que possa captar as substituições entre proteínas e a realocação de produtos de exportação no mercado nacional, assim como eventuais deslocamentos do abate para outros estados.

5.4. Gastos

Não se sabe ao certo a dimensão dos gastos e prejuízos provocados pelo surto de febre aftosa no MS, até porque seus desdobramentos estenderam-se por alguns anos. Estimativas foram feitas com base no número de animais sacrificados, nas restrições sobre o trânsito de produtos animais e vegetais e nas restrições estabelecidas pelos países importadores de carne bovina do estado.

Nesse sentido, de acordo com estimativas do Tesouro do Estado de Mato Grosso do Sul, até setembro de 2005, existia uma arrecadação estadual crescente, com uma receita que se situava entre US\$90 milhões e US\$100 milhões. Entretanto, já no ano de 2006, a arrecadação caiu para US\$45 milhões. Considera-se que essa queda se deveu, principalmente, às consequências do surto de febre aftosa no estado naquele período¹⁸.

Frente aos 77.671 animais sacrificados e encaminhados para o abate sanitário, foi gasto um total de R\$46.144.204,04 com indenizações e ressarcimentos (Quadro 3). Durante o período de contenção do surto, todos os produtos e subprodutos de origem animal e vegetal foram proibidos de deixarem a área de contenção e a circulação de pessoas (residentes das propriedades envolvidas) só era permitida com a autorização e o acompanhamento de agentes da IAGRO¹⁹.

Animais sacrificados 2005/2006		Indenizações/Ressarcimentos
Bovinos	33.033	R\$18.748.838,53
Ovinos/caprinos	439	R\$50.211,00
Suínos	634	R\$59.515,44
Total	34.106 animais	R\$18.858.564,97
Abate sanitário 2007		Indenizações/Ressarcimentos
Fevereiro/Abril	24.493 bovinos	R\$14.120.911,07
Junho/Julho	19.072 bovinos	R\$13.164.728,00
Total	43.565 animais	R\$27.285.639,07

Quadro 3 - Total de animais abatidos e indenizações/ressarcimentos pagos ao longo do surto de febre aftosa em 2005/2006 no MS

Fonte: Elaborado a partir de dados do MAPA (2007c)

Do total gasto em indenizações e ressarcimentos, o MAPA arcou com 64%, enquanto a Reserva Estratégica para a Saúde Animal (REDSA) pagou 10% e os frigoríficos, 26%. Além disso, de acordo com o MAPA (2007c), as despesas dos serviços oficiais de defesa

¹⁸ Informações fornecidas pelo gerente de Inspeção e Defesa Sanitária Animal da Iagro, Rubens de Castro Rondon, durante reunião em Campo Grande no dia 24 de outubro de 2017.

¹⁹ Informações fornecidas pelo gerente de Inspeção e Defesa Sanitária Animal da Iagro, Rubens de Castro Rondon, durante reunião em Campo Grande no dia 24 de outubro de 2017.

chegaram a R\$15,6 milhões, sendo que a IAGRO teve um custo operacional de R\$13 milhões e a superintendência do MAPA no MS, R\$2,6 milhões.

Por fim, ações complementares, como o repasse de recursos através de convênios com cinco prefeituras, cooperativas e fundações e recursos para a IAGRO, no período entre 2005 e 2006, custaram R\$21,8 milhões ao MAPA.

Assim, a estimativa do gasto total com o surto de febre aftosa chega a R\$83,6 milhões, considerando estes recursos diretamente alocados para o controle da crise. Contudo, sabe-se que este montante subestima o ônus do surto, tanto para o setor privado quanto para o público, já que além das perdas de animais, houve interrupção da circulação de todos os produtos de origem vegetal e animal na região, e a literatura registra que frentes de trabalho tiveram que ser organizadas devido ao desemprego causado na região em que os focos ocorreram. Nos trabalhos de Goulart (2014) e de Pettres et al. (2007), tais efeitos, não quantificados e monetizados, são mencionados – perdas sociais em termos de emprego, depreciação da imagem e aspectos emocionais da população afetada pela crise e seus efeitos.

Um levantamento feito pela Secretaria de Agricultura do Mato Grosso do Sul calcula um prejuízo de R\$1,2 bilhão por conta do fechamento dos mercados importadores de animais, seus produtos e subprodutos e de produtos vegetais no período entre 2005 e 2006 (MAPA, 2007c).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A princípio, este trabalho consistiu na análise das redes de movimentação de bovinos no Mato Grosso do Sul (MS) com o intuito de caracterizar tal movimentação de acordo com suas finalidades, identificando as mais importantes para o estado. Nesse sentido, verificou-se que os fluxos de animais movimentados para abate e reposição são preponderantes, a partir dos dados das Guias de Trânsito Animal (GTAs) registradas no MS, em 2014 e 2015.

Com base nas redes construídas com os dados de movimentação, foram caracterizados os municípios sul-mato-grossenses que exercem papel central na dinâmica da pecuária bovina estadual de diferentes formas, como, Campo Grande, Corumbá, Naviraí, Nova Andradina e Ribas do Rio Pardo. Tais municípios são os principais atores das redes de trânsito animal tanto por conta do número de animais que movimentam, como por sua quantidade de parceiros comerciais (municípios remetentes e destinatários). Além disso, eles exercem o papel de intermediários dentro das redes, sendo, dessa forma, cruciais em estratégias de monitoramento da movimentação de bovinos e de controle de surtos, em situações de crise sanitária.

As redes de movimentação de bovinos mostraram-se fortemente conectadas. Isto implica em uma alta velocidade potencial de difusão da febre aftosa, tanto no território estadual, como nacional, devido ao envio de animais para outros estados. Rapidamente, um surto da doença poderia tomar parte significativa do MS e atingir o resto do país. Consequentemente, quanto maior a área infectada, maiores são os impactos econômicos da doença, que englobam desde gastos com controle e contenção do surto, até perdas de mercado e redução nos preços da carne bovina – o que impacta a cadeia da pecuária por inteiro e todos os outros setores da economia interligados a ela.

Nesse sentido, em uma situação de reintrodução da febre aftosa no MS, os municípios mais centrais dentro das redes poderiam funcionar como grandes espalhadores do vírus, dentro e fora do estado. Por outro lado, eles também poderiam ser utilizados em estratégias para quebrar a rede de movimentação, já que, ao serem interditados, eliminariam diversos fluxos – impedindo, assim, o espalhamento da doença ou, pelo menos, desacelerando sua taxa de infecção.

Em uma segunda etapa, as estruturas das redes construídas foram usadas para um exercício preliminar de simulação de um processo de difusão da febre aftosa, com o intuito de evidenciar, ainda que teoricamente, o potencial de espalhamento da doença dentro do MS. As simulações com diferentes defasagens entre a reintrodução do vírus e a descoberta da doença

mostram que em questão de poucos dias o potencial impacto de um surto aumenta de forma significativa, com alta probabilidade de atingir a totalidade do rebanho estadual, assumindo, entre outras, pressuposições muito fortes como a ausência de imunização dos animais e de ações de controle. Se houvesse um atraso de sete dias, por exemplo, para a identificação do vírus, independentemente se os fluxos de animais destinados ao abate fossem considerados ou não, a chance de que todo o estado já estivesse infectado seria elevada.

Ademais, foram construídas as curvas de difusão para surtos iniciados em um município central (Corumbá) e um periférico (Sete Quedas) nas redes de movimentação de bovinos. Ambos apresentaram processos de difusão bastante acelerados. Entretanto, nota-se que um surto iniciado em Corumbá teria maior probabilidade de tomar o estado por inteiro em menos tempo do que um eventual surto com início em Sete Quedas.

Por outro lado, embora sejam curvas teóricas, pode-se inferir que como as curvas de difusão de um município central e um periférico mostraram poucas diferenças no tempo decorrido até que a infecção atingisse a totalidade do rebanho, é necessário investir em vigilância no estado como um todo, e não apenas em municípios mais centrais nas redes de movimentação.

Isto posto, a diferença dos potenciais impactos de um surto, encontrada nas simulações com diferentes defasagens (incluindo todos os municípios do estado) e nas curvas de difusão dos dois municípios analisados, evidencia a necessidade de se estabelecer um sistema de informação de inteligência sanitária que permita, com agilidade, barrar a entrada de animais potencialmente infectados na fronteira, principalmente, animais não fiscalizados durante sua movimentação. Se isto não for possível, havendo falha na vigilância, é necessário identificar o problema de forma ágil e ter uma ação de resposta rápida para conter o foco. Os resultados das simulações justificam, portanto, os esforços para fortalecer os sistemas de informação dos serviços de defesa sanitária para reação em situações de crise.

O exercício teórico demonstrou, portanto, a necessidade e a importância de se investir nos serviços de defesa sanitária, em educação sanitária dos produtores e em equipamentos e tecnologias que auxiliem na detecção precoce, no diagnóstico e na erradicação de focos de maneira rápida e eficiente, impedindo que, em caso de reintrodução do vírus, o surto se dissemine para muitas regiões.

A estrutura das redes, por si só, evidenciou quão rápida seria a disseminação da febre aftosa caso um foco fosse encontrado no MS. Contudo, outros fatores também devem ser levados em consideração para o cálculo da difusão da doença em um modelo mais robusto, como: o volume de animais transportados; a quantidade de animais que passam pela fronteira

sem fiscalização; a movimentação de produtos de origem animal; o tamanho do rebanho; a taxa de transmissão; a taxa de vacinação efetiva; e a efetividade da fiscalização sanitária.

Além disso, trabalhos na área veterinária, no geral, baseiam-se em modelos que utilizam dados em nível de propriedade, com informações geográficas, para a realização das simulações de surtos. No presente estudo isso não foi possível por falta de dados mais desagregados e pela ausência de georreferenciamento das localidades de origem e destino constantes nas GTAs. Isso reforça a necessidade de investimentos em controle da movimentação de animais e em ferramentas que permitam localizar com facilidade as propriedades e seus rebanhos dentro do território brasileiro – melhorando a capacidade de resposta a emergências sanitárias, de forma a reduzir ao máximo os impactos de eventuais surtos.

A mensuração dos impactos econômicos do último surto de febre aftosa no MS, iniciado em novembro de 2005, mostrou que o estado teve uma redução drástica do volume exportado, de 81%, quando se compara 2006 a 2005, e uma perda de mesma magnitude em receita cambial dessas exportações. Não foram identificados efeitos significativos sobre os valores unitários médios dos produtos exportados pelo estado, certamente favorecidos pela constatação de que os preços no mercado mundial se mantiveram, nesse mesmo período, praticamente constantes.

Em condições de um mercado internacional comprador, ou seja, com a demanda aquecida e escassez de oferta, espera-se menos restrições comerciais, particularmente via barreiras não tarifárias, tais como as sanitárias. Isso pode ter evitado que as exportações nacionais tivessem uma queda mais significativa com decorrência do surto de febre aftosa no MS, em 2005/2006. Além disso, há indícios de que a regionalização contribuiu para a manutenção das exportações brasileiras, permitindo que outros estados absorvessem as exportações que o MS poderia ter realizado.

Nacionalmente, portanto, os impactos do surto de febre aftosa no MS não foram tão expressivos quanto em nível estadual. Nesse sentido, o risco maior de um surto é que ele atinja muitos municípios e/ou ultrapasse um estado e atinja o resto do país, pois com isso poderia se comprometer as vantagens da regionalização e os mercados poderiam se fechar para o país como um todo.

Nos primeiros meses após a crise sanitária, os preços internos de animais vivos e da carne no atacado mostraram uma variação negativa. Não é possível afirmar que essa queda se deveu ao surto de febre aftosa ou estritamente a ele, tendo em vista os inúmeros fatores que afetam o mercado pecuário e seus produtos. Dentre estes fatores, pode-se destacar o ciclo

pecuário de longo prazo. Em 2005 e 2006, há indícios de que um ciclo se encerrou, evidenciando-se o aumento do abate de fêmeas e a expansão da oferta de bezerros, o que provocou uma redução nos preços dos animais vivos. Próximos estudos poderiam propor um modelo econométrico que leve em conta os diversos fatores que influenciam os preços pecuários e que possa corroborar ou não com as indicações obtidas neste trabalho a partir da observação e discussão das séries de preços e de exportações.

Diversos agentes dispenderam substanciais esforços e recursos para que a crise sanitária fosse resolvida. O valor gasto pelos órgãos de defesa sanitária oficiais, juntamente com o fundo de emergência, e pelos frigoríficos foi estimado em R\$83,6 milhões, dos quais 64% pagos pelo governo federal (MAPA). Ainda assim, é difícil estimar estes gastos com precisão, já que faltam registros exatos do número de pessoas envolvidas direta e indiretamente nas ações de controle do surto, bem como registros de despesas dos pecuaristas, e, de forma ampla, dos prejuízos dos agropecuaristas que ficaram impedidos de retirar todos os seus produtos da região de contenção.

A febre aftosa, como já destacado, provoca impactos negativos econômicos e sociais de diferentes formas. Nem todos eles podem ser quantificados infelizmente. Perturbações no mercado local dos municípios afetados pelo surto, provocadas pela proibição da movimentação de produtos vegetais, além de produtos animais, por exemplo, não puderam ser computadas e valoradas, uma vez que não há dados suficientes disponíveis para realizar tal avaliação.

Ademais, essa doença provoca perdas de produção, não somente pelo sacrifício e abate sanitário de animais, mas também pela perda de peso e de produção de leite; além de gerar problemas de fertilidade, os quais levam a uma mudança na estrutura do rebanho, e atrasos na venda de animais e produtos pecuários, prejudicando a oferta e os preços do setor pecuário como um todo – bovinos, suínos e aves. Em outras palavras, a febre aftosa provoca perdas por efeitos multiplicadores ao longo de toda a cadeia de valor da pecuária, as quais são difíceis de se mensurar, sobretudo, a questão da imagem. O desgaste da reputação dos produtos exportados por um país, por conta de surtos de febre aftosa, é difícil de ser mensurado, mas impacta diretamente suas exportações ao longo de anos, visto que muitos mercados se fecham por um período de tempo significativo e indeterminado ou, mesmo quando acessíveis, suas empresas tendem a desvalorizar os produtos em função e reputação.

Para um cenário atual, ainda que seja complexo o cálculo de potenciais impactos econômicos da febre aftosa no MS, é possível apontar consequências prováveis de um surto. Em 2016, o MS exportou um volume total de 120,6 mil toneladas, correspondendo a uma

receita de US\$463,8 milhões e no ano seguinte, exportou 138,3 mil toneladas, gerando uma receita de US\$557,9 milhões. Supondo que houvesse um surto de febre aftosa em outubro de 2016, se as exportações em 2017, com relação a 2016, caíssem na mesma proporção de 2006 comparado a 2005 (81%), o volume exportado poderia ter sido de apenas 22,9 mil toneladas e a receita, US\$88,1 milhões. Isso significa que o estado poderia ter deixado de exportar 97,7 mil toneladas, perdendo, assim, uma receita equivalente a US\$375 milhões – 67% da receita de 2017.

Um plano de emergência, baseado nos recursos gastos pelo MAPA, IAGRO, frigoríficos e fundo de emergência (REDSA) durante a crise sanitária de 2005 e 2006, corrigido pelo INPC, a valores de 2017, custaria R\$158,6 milhões. Uma questão para reflexão é que, desse montante, o fundo de emergência teria que arcar com R\$16,3 milhões. Contudo, ele deixou de ser abastecido depois do esgotamento de suas reservas esgotadas com o surto de 2006.

Essas estimativas são baseadas apenas em pressuposições e não levam em conta a localização do surto nem a composição dos principais e atuais importadores de carnes do MS. Entretanto, elas mostram que os potenciais impactos econômicos da febre aftosa no MS, em um cenário atual, poderiam ser mais expressivos ainda que os observados em 2006, o que é reforçado pela alta conectividade das redes de movimentação de animais dentro do estado avaliadas neste trabalho.

Apesar do histórico de crises e da significativa parcela de exportações nacionais afetadas, os impactos econômicos da febre aftosa no Brasil ainda são pouco conhecidos. É preciso promover mais estudos, fundamentados em dados detalhados e na aplicação de modelos econômicos robustos, para mensurar de forma precisa os riscos e impactos da doença no país, e, assim, beneficiar a tomada de decisão em relação às ações e aos instrumentos de defesa sanitária.

REFERÊNCIAS

ALEXANDERSEN, S.; ZHANG, Z.; DONALDSON, A. I. Aspects of the persistence of foot-and-mouth disease virus in animals – the carrier problem. **Microbes and Infection**, v. 4, n. 10, ago. 2002.

ALEXANDERSEN, S. et al. The pathogenesis and diagnosis of foot-and-mouth disease. **Journal of Comparative Pathology**, v. 129, n. 1, jul 2003.

AMARAL, T. B.; GOND, V.; TRAN, A. Mapping the likelihood of foot-and-mouth disease introduction along the border between Brazil and Paraguay. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 661-670, 2016.

ANDERSON, I. **Foot and mouth disease 2001: lessons to be learned**. London: Department of Environment, Food and Rural Affairs, 2002.

AZNAR, M. N.; STEVENSON, M. A.; ZARICH, L.; LEON, E. A. Analysis of cattle movements in Argentina, 2005. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 98, p. 119-127, 2011.

BALUKA, S. A. Economic effects of foot and mouth disease outbreaks along the cattle marketing chain in Uganda. **Veterinary World**, v. 9, n. 6, p. 544-553, jun. 2016.

BARROS, G. S. C.; BURNQUIST, H. L.; MIRANDA, S. H. G.; CUNHA FILHO, J. H. SPS in agricultural trade: issues and options for a research agenda. In: **Agricultural liberalization and integration: what to expect from the FTAA and the WTO?** 2002. Washington. Disponível em: <<http://ctrc.sice.oas.org/geograph/mktacc/B&B.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

BOISVERT, R. N.; KAY, D.; TURVEY, C. G. Macroeconomic costs to large scale disruptions of food production: the case of foot-and-mouth disease in the United States. **Economic Modelling**, v. 29, p. 1921-1930, 2012.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 63 de 13 de dezembro de 2008. Diretrizes para execução do sistema de vigilância veterinária das zonas de alta vigilância de febre aftosa (ZAVs) implantadas nas regiões de fronteira entre Mato Grosso do Sul e as Repúblicas do Paraguai e da Bolívia. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Secretaria de Defesa Agropecuária**, Brasília, 2008.

BROOKS-POLLOCK, E.; ROBERTS, G. O.; KEELING, M. J. A dynamic model of bovine tuberculosis spread and control in Great Britain. **Nature**, v. 511, p. 228-231, 2014.

CARPENTER, T. E.; O'BRIEN, J. M.; HAGERMAN, A. D.; MCCARL, B. A. Epidemic and economic impacts of delayed detection of foot-and-mouth disease: a case study of a simulated outbreak in California. **Journal of Veterinary Diagnostic Investigation**, v. 33, 2011.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Boletim Agromensal de outubro de 2005.** 2005a. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/categoria/agromensal.aspx>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Boletim Agromensal de novembro de 2005.** 2005b. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/categoria/agromensal.aspx>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Boletim Agromensal de dezembro de 2005.** 2005c. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/categoria/agromensal.aspx>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Boletim Agromensal de janeiro de 2006.** 2006a. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/categoria/agromensal.aspx>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Boletim Agromensal de fevereiro de 2006.** 2006b. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/categoria/agromensal.aspx>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Boletim Agromensal de abril de 2006.** 2006c. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/categoria/agromensal.aspx>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Boletim Agromensal de janeiro de 2007.** 2007a. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/categoria/agromensal.aspx>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Boletim Agromensal de fevereiro de 2007.** 2007b. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/categoria/agromensal.aspx>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Boletim Agromensal de dezembro de 2007.** 2007c. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/categoria/agromensal.aspx>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB Cadeias do Agronegócio – 4º trimestre de 2016.** 2017. Disponível em: <[http://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Relatorio%20PIBAGRO%20Cadeias_2016\(1\).pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Relatorio%20PIBAGRO%20Cadeias_2016(1).pdf)>. Acesso em: 21 jun. 2017.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Banco de dados.** 2018. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/consultas-ao-banco-de-dados-do-site.aspx>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

CHEN, S. **Foot-and-mouth disease spread in this small world.** 2001. 72 f. Tese (School of Cognitive and Computing Science – Master of Science in Evolutionary and Adaptive System) – University of Sussex, Brighton, 2009.

CHOWELL, G.; RIVAS, A. L.; HENGARTNER, N. W.; HYMAN, J. M.; CASTILLO-CHAVEZ, C. **Modelling the 2001 foot-and-mouth epidemic in Uruguay.** 2005. Disponível em: <<http://math.lanl.gov/~mac/papers/bio/CRHHC05d.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

CHRISTLEY, R. M.; PINCHBECK, G. L.; BOWERS, R. G.; CLANCY, D.; FRENCH, N. P. BENNETT, R.; TURNER, J. Infection in social networks: using network analysis to identify high-risk individuals. **American Journal of Epidemiology**, v. 162, p. 1024-1031, 2003.

COMTRADE. **UN Comtrade Database.** Disponível em: <<https://comtrade.un.org/data/>>. Acesso em: 27 jul. 2018.

CORNER, L. A.; PFEIFFER, D.; MORRIS, R. S. Social network analysis of Mycobacterium bovis transmission among captive brushtail possums (Trichisurus Vulpecula). **Preventive Veterinary Medicine**, v. 59, p. 147-167, 2003.

COUNTRYMAN, A. M.; HAGERMAN, A. D. Retrospective economic analysis of foot and mouth disease eradication in the Latin American beef sector. **Agribusiness**, v. 33, n. 2, 2016.

COWLED, B.; GARNER, G. A review of geospatial and ecological factors affecting disease spread in wild pigs: considerations for models of foot-and-mouth disease spread. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 87, nov. 2008.

DA CUNHA, C. A.; WANDER, A. E.; SILVA NETO, W. A. Integração entre mercados de bezerros nos estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo, Brasil. **Espacios**, v. 37, n. 13, 2016.

DE NOOY, W.; MRVAR, A.; BATAGELJ, V. **Exploratory Network Analysis with Pajek**. Cambridge University Press, 2005, 362 p.

DELGADO, J.; POLLARD, S.; PEARN, K.; SNARY, E. L.; BLACK, E.; PRPICH, G.; LONGHURST, P. U.K. foot and mouth disease: a systemic risk assessment of existing controls. **Risk Analysis**, v. 36, nov. 2016.

DION, E. LAMBIN, E. F. Scenarios of transmission risk of foot-and-mouth with climatic, social and landscape changes in southern Africa. **Applied Geography**, v. 35, nov. 2012.

DION, E.; VANSCHALKWYK, L. LAMBIN, E. F. The landscape epidemiology of foot-and-mouth disease in South Africa: a spatially explicit multi-agent simulation. **Ecological Modelling**, v. 22, n. 13, jul 2011.

DONALDSON, A. I. Risks of spreading foot and mouth disease through milk and dairy products. **Revue Scientifique et Technique**, v. 16, n. 1, abr. 1997.

DONALDSON, A. I.; ALEXANDERSEN, S. Predicting the spread of foot and mouth disease by airborne virus. **Revue Scientifique et Technique**, v. 21, n. 3, dez. 2002.

DUBÉ, C.; RIBBLE, C.; KELTON, D.; MACNAB, B. A review of network analysis terminology and its application to foot-and-mouth disease modelling and policy development. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 56, p. 73-85, 2009.

DUBÉ, C.; RIBBLE, C.; KELTON, D.; MACNAB, B. Introduction to network analysis and its implications for animal disease modelling. **Revue Scientifique et Technique**, v. 30, n. 2, p. 425-436, 2011.

FAMASUL. Federação da Agricultura e Pecuária de Mato Grosso do Sul. **VBP e PIB da Agropecuária de Mato Grosso do Sul em 2016**. 2016. Disponível em: <<http://portal.sistemafamasul.com.br/servicos-ao-produtor/>>. Acesso em: 27 jun. 2017.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO's food price index revisited**. 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/worldfood/Reports_and_docs/FO-Expanded-SF.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **GIEWS FPMA Tool: monitoring and analysis of food prices**. 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/giews/food-prices/tool/public/#/dataset/international>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

FENG, S.; PATTON, M.; DAVIS, J. Market impact of foot-and-mouth disease control strategies: a UK case study. **Frontiers of Veterinary Science**, v. 4, 2017.

FERGUSON, N. M.; DONELLY, C. A.; ANDERSON, R. M. The foot-and-mouth epidemic in Great Britain: pattern of spread and impact of interventions. **Science**, n. 292, p. 1155-1160, 2001.

FERRARI, G.; TASCIOITI, L.; KHAN, E.; KIANI, A. Foot-and-mouth disease and its effect on milk yield: an economic analysis on livestock holders in Pakistan. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 61, n. 6, dez. 2014.

FMI. Fundo Monetário Internacional. **IMF Primary Commodity Prices**. Disponível em: <<http://www.imf.org/external/np/res/commod/index.aspx>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

GALE, S. B.; MILLER, G. Y.; ESHELMAN, C. E.; WELLS, S. J. Epidemic simulation of a foot and mouth disease outbreak in Minnesota. **Revue Scientifique et Technique**, v. 34, n. 3, 2015.

GARCIA, D. C. C.; DE SÁ, C. V. G. C.; MCMANUS, C. M.; DE MELO, C. B. Impactos do surto de febre aftosa de 2005 sobre as exportações de carne bovina Brasileira. **Ciência Animal Brasileira**, v. 16, n. 4, p. 525–537, 2015.

GARNER, M. G.; BECKETT, S. D. Modelling the spread of foot-and-mouth disease in Australia. **Australian Veterinary Journal**, v. 83, n. 12, dez 2005.

GFRA. *Foot-and-mouth Disease (FMD): Gap Analysis Workshop Report*. Washington, 2010. Disponível em: <<https://www.ars.usda.gov/GFRA/reports/NVS-FMD%20Gap%20Analysis%20Workshop%20Report%20December%202010.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2017.

GOULART, W. S. Desdobramentos das ações de contingência da febre aftosa no estado de Mato Grosso do Sul: a atuação do estado no território de fronteira. **Anais VI Congresso Brasileiro de Geógrafos**, Vitória, 10 a 14 de agosto de 2014, 12p.

GREEN, D. M.; KISS, I. Z.; KAO, R. R. Modelling the initial spread of foot-and-mouth disease through animal movements. **Proceedings of the Royal Society of London B**, v. 273, p.2729-2735, 2006.

HAYAMA, Y.; OSADA, Y.; OUSHIKI, D.; TSUTSUI, T. An economic assessment of foot and mouth disease in Japan. **Revue Scientifique et Technique**, v. 36, p. 207-215, 2017.

HENSON, S. J.; LOADER, R. J. Barriers to agricultural exports from developing countries: the role of sanitary and phytosanitary requirements. **World Development**, v. 29, n. 1, p. 85-102, 2001.

HOFFMANN, R. **Estatística para Economistas**. Thomson, 2006, 432 p.

IAGRO. Agência Estadual de Defesa Sanitária Animal e Vegetal. **Onde estamos**. Disponível em: <<http://www.iagro.ms.gov.br/onde-estamos/>>. Acesso em: 01 ago. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades – Mato Grosso do Sul**. Mapa da pecuária: bovinos – efetivo dos rebanhos (cabeças). 2017c. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/cartograma/mapa.php?codmun=500270&coduf=50&codv=v01&i_dtema=121>. Acesso em: 01 ago. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Trimestral do Abate de Animais**. 2017a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/abate/mato-grosso-do-sul>>. Acesso em: 27 jun. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da pecuária municipal**. 2016. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2015_v43_br.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Em 2016, produção de ovos e abate de frango e suínos são recordes**. 2017b. Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias.html?view=noticia&id=1&idnoticia=3391&busca=1&t=2016-producao-ovos-abate-frangos-suinos-sao-recordes>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

JACKSON, M. O. **Social and Economic Networks**. Princeton University Press, 2010.

JAMES, A. D.; RUSHTON, J. The economics of foot and mouth disease. **Revue Scientifique et Technique**, v. 21, n. 3, 2002.

JEMBERU, W. T.; MOURITS, M.; RUSHTON, J.; HOGVEEN, H. Cost-benefit analysis of foot and mouth disease control in Ethiopia. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 132, set. 2016.

KAO, R. The role of mathematical modelling in the control of the 2001 FMD epidemic in the UK. **Trends in Microbiology**, v. 10, n. 6, jun. 2002.

KAO, R. R.; GREEN, D. M.; JOHNSON, J.; KISS, I. Z. Disease dynamics over very different time-scales: foot-and-mouth disease and scrapie on the network of livestock movements in the UK. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 4, p.907-916, 2007.

KEELING, M. J; EAMES, K. T. D. Network and epidemic models. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 2, p. 195-307, 2005.

KEELING, M.; WOOLHOUSE, M. E.; SHAW, D. J.; MATTHEWS, L.; CHASE-TOPPING, M.; HAYDON, D. T.; CORNELL, S. J.; KAPPEY, J.; WILESMITH, J.; GRENFELL, B. T. Dynamics of the 2001 UK foot and mouth epidemic: stochastic dispersal in a heterogeneous landscape. **Science**, v. 294, 2001.

KISS, I. Z.; GREEN, D. M.; KAO, R. R. The network of sheep movements within Great Britain: network properties and their implications for infectious disease spread. **Journal of the Royal Society Interface**, n. 3, p.669-677, 2006.

KITCHING, R. P.; HUTBER, A. M.; THRUSFIELD, M. V. A review of foot-and mouth disease with special consideration for the clinical and epidemiological factors relevant to predictive modelling of the disease. **The Veterinary Journal**, n. 169, v. 2, mar. 2005.

KNIGHT-JONES, T. J. D; MCLAWS, M.; RUSHTON, J. Global foot-and-mouth disease research update and gap analysis. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 63, n. 4, ago. 2016.

KNIGHT-JONES, T. J. D.; RUSHTON, J. The economic impacts of foot and mouth disease – What are they, how big are they and where do they occur? **Preventive Veterinary Medicine**, v. 112, nov. 2013.

LAL DUTTA, B.; EZANNO, P.; VERGU, E. Characteristics of the spatio-temporal network of cattle movements in France over a 5-year period. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 117, p. 79-94, 2014.

LIMA, R. C. A.; MIRANDA, S. H. G.; GALLI, F. **Febre aftosa**: impacto sobre as exportações brasileiras de carnes e o contexto mundial das barreiras sanitárias. São Paulo: ICONE e CEPEA, out. 2005.

LYRA, T. M. P.; SILVA, J. A. A febre aftosa no Brasil, 1960-2002. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. Belo Horizonte, v. 56, n. 5, out. 2004.

MAHUL, O.; DURAND, B. Simulated economic consequences of foot-and-mouth disease epidemics and their public control in France. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 47, out. 2000.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº44 de 2 de outubro de 2007**. 2007a. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/programas-de-saude-animal/febre-aftosa/documentos-febre-aftosa/instrucao-normativa-mapa-no-44-de-02-de-outubro-de-2007.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2017.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de preenchimento para emissão de guia de trânsito animal de bovinos e bubalinos**. 2007b. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/transito-animal/arquivos-transito-internacional/ManualGTABovinoeBubalinos21.0.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano de Ação para Febre Aftosa**. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/arquivos-das-publicacoes-de-saude-animal/miolo_plano_acao.pdf/view>. Acesso em: 13 jan. 2017.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Estratégico do Programa Nacional de Febre Aftosa 2017-2026**. Brasília, 2017a. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/programas-de-saude-animal/febre-aftosa/pnefa-2017-2026/arquivos/1_pnefa_-_plano_estrategico_2017_2026_gt_mar_29_v3.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2017.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Procedimentos adotados para a erradicação dos focos de febre aftosa nos municípios de Eldorado, Japorã e Mundo Novo**. Campo Grande, 33 slides, 2007c. Disponível em: <<http://www.panaftosa.org.br/Comp/MAPA/4821097.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Serviço de Inspeção Federal: relação de estabelecimentos**. 2017b. Disponível em: <http://bi.agricultura.gov.br/reports/rwservlet?sigisif_cons&estabelecimentos.rdf&p_id_area=1&p_id_cat_estab=73&p_id_classe_estab=&p_cd_classe_estab=&p_sg_uf=&p_id_municipio=&p_serial=415635242>. Acesso em: 18 jul. 2017.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Solicitação de restituição do reconhecimento da condição sanitária de zona livre de febre aftosa com vacinação: zona de alta vigilância do estado de Mato Grosso do Sul**. Brasília: Departamento de Sanidade Animal, 2010.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Trânsito Animal**. 2017c. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/transito-animal>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

MARTÍNEZ-LÓPEZ, B.; PEREZ, A. M.; SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, J. M. Combined application of social network and cluster detection analyses for temporal-spatial characterization of animal movements in Salamanca, Spain. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 91, p. 29-38, 2009a.

MARTÍNEZ-LÓPEZ, B.; PEREZ, A. M.; SÁNCHEZ-VISCAÍNO, J. M. Social network analysis: review of general concepts and use in preventive veterinary medicine. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 59, p. 109-120, 2009b.

MASCARENHAS, A.; OLIVEIRA, E.; CARLOTTO, L. GAMA. L. **Participação de mercado das indústrias frigoríficas em Mato Grosso do Sul**. Campo Grande: Famasul, 2015.

MDIC. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet**. Disponível em: <<http://alicesweb.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

MIRANDA, S. H. G. **Quantificação dos efeitos das barreiras não-tarifárias sobre as exportações brasileiras de carne bovina**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

MWEU, M. M.; FOURNIÉ, G.; HALASA, T.; TOFT, N.; NIELSEN, S. S. Temporal characterization of the network of Danish cattle movements and its implication for disease control: 2000-2009. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 11, p.379-387, 2013.

NATALE, F.; GIOVANNINI, A.; SAVINI, L.; PALMA, D.; POSSENTI, L.; FIORE, G.; CALISTRI, P. Network analysis of Italian cattle trade patterns and evaluation of risks for potential disease spread. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 92, p. 341-350, 2009.

NARANJO, J.; COSIVI, O. Elimination of foot-and-mouth disease in South America: lessons and challenges. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 368, 2013.

NEGREIROS, R. L.; AMAKU, M.; DIAS, R. A.; FERREIRA, F.; CAVALLÉRO, J. C. M.; FERREIRA NETO, J. S. Spatial clustering analysis of the foot-and-mouth disease outbreaks in Mato Grosso do Sul state, Brazil - 2005. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2609–2613, 2009.

NEWMAN, M. E. J. **Networks: An Introduction**. Oxford University Press, 2010.

NÖREMARK, M.; HAKANSSON, N.; STERNBERG LEWERIN, S.; LINDBERG, A.; JONSSON, A. Network analysis of cattle and pig movements in Sweden: measures relevant for disease control and risk based surveillance. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 99, p. 78-90, 2011.

OIE. World Organisation for Animal Health. **Information Sheets**. 2016a. Disponível em: <http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Media_Center/docs/pdf/Disease_cards/FMD-EN.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2017.

OIE. World Organisation for Animal Health. **Terrestrial Animal Health Code**. Paris, 2016b. Disponível em: <<http://www.oie.int/international-standard-setting/terrestrial-code/access-online/>>. Acesso em: 11. jan. 2017.

OIE. World Organisation for Animal Health. **Map of FMD official status**. 2018. Disponível em: <http://www.oie.int/fileadmin/Home/js/images/fmd/FMD_SouthAmerica_ENG.png>. Acesso em: 30 abr. 2018.

ORTIZ-PELAEZ, A.; PFEFFER, D. U.; SOARES-MAGALHÃES, R. J.; GUITIAN, F. J. Use of social network analysis to characterize the pattern of animal movements in the initial phases of the 2001 foot and mouth disease (FMD) epidemic in the UK. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 76, p. 40-55, 2006.

OXRFORD ANALYTICA. The costs of animal disease. **International Federation for Animal Health**, out. 2012. Disponível em: <http://www.bft-online.de/fileadmin/bft/publikationen/IFAH_Oxford-Analytica_The-Costs-of-Animal-Disease_October2012.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2017.

PANAFTOSA. Centro Pan-Americano de Febre Aftosa. **Manual de Procedimentos para a atenção às ocorrências de febre aftosa e outras enfermidades vesiculares**. Rio de Janeiro, 2007.

PANAFTOSA. Centro Pan-Americano de Febre Aftosa. **Plano de Ação 2011-2020**. Rio de Janeiro, 2010.

PETTRES, B.M.; MACHADO, L. C. P.; HÖTZEL, M. J.; LYRA, T. M. P. Febre aftosa: impactos sociais e sobre o bem-estar animal da política de erradicação. **INTERThesis**, v. 4, n.2, p. 101-135, 2007.

PEREIRA, S. D. **Conceitos e definições da saúde e epidemiologia usados na vigilância sanitária**. Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo. Coordenadoria de Controle de Doenças. 2004. Disponível em: <http://www.cvs.saude.sp.gov.br/pdf/epid_visu.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2017.

RESENDE FILHO, M. A.; BRESSAN, V. G. F.; BRAGA, M. J.; BRESSAN, A. A. Sistemas de equações de demanda por carnes no Brasil: especificação e estimação. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, 2012.

ROBINSON, S. E.; EVERETT, M. G.; CHRISTLEY, R. M. Recent network evolution increases the potential for large epidemics in the British cattle population. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 4, p. 669-674, 2007.

RUSHTON, J. Economic aspects of foot and mouth disease in Bolivia. **Revue Scientifique et Technique**, v. 27, n. 3, p. 759-769, 2008.

RWEYEMAMU, M. M.; ASTUDILLO, V. M. Global perspective for foot and mouth disease control. **Revue Scientifique et Technique**, v. 21, n. 3, p. 765-773, 2002.

RWEYEMAMU, M.; ROEDER, P.; MACKAY, D.; SUMPTION, K.; BROWLIE, J.; LEFORBAN, Y.; VALARCHER, J. F.; KNOWLES, N. J.; SARAIVA, V. Epidemiological Patterns of Foot-and-Mouth Disease Worldwide. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 55, n. 1, ago. 2008.

SANTOS, M. C. **Produção e mercado de bovinos de corte**. Encontro Sicredi, Araputanga, jul. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. **Programa estadual de erradicação da febre aftosa**. São Paulo: Coordenadoria de Defesa Agropecuária. Disponível em: <<http://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/www/programas/?/sanidade-animal/programa-estadual-de-erradicacao-da-febre-aftosa/&cod=4>>. Acesso em: 18 jan. 2017.

SARAIVA, V. **Epidemiology and foot-and-mouth disease in South America**. Pan-American Foot- and-Mouth disease Centre. Rio de Janeiro, 2003.

SARAIVA, V. Foot-and-mouth disease in the Americas: epidemiology and ecologic changes affecting distribution. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1026, out. 2004.

SCOTT, J. Social Network Analysis. *Sociology*, v. 22, n. 1, 1988, p. 109-127.

SHANKAR, B.; MORZARINA, S.; FIORUCCI, A.; HAK, M. Animal disease and livestock-keeper livelihoods in Southern Cambodia. **International Development Planning Review**, v. 34, 2012.

SMITH, M. T.; BENNETT, A. M.; GRUBMAN, M. J.; BUNDY, B. C. Foot-and-mouth disease: technical and political challenges to eradication. **Vaccine**, v. 32, n. 31, p. 3902-3908, 2014.

SUMPTION, K.; RWEYEMAMU, M.; WINT, W. Incidence and distribution of foot-and-mouth disease in Asia, Africa and South America; combining expert opinion, official disease information and livestock populations to assist risk assessment. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 55, n. 1, fev. 2008.

SUTMOLLER, P.; BARTELING, S. S.; OLASCOAGA, R. C.; SUMPTION, K. J. Control and eradication of foot-and-mouth disease. **Virus Research**, v. 91, n. 1, p. 101-144, 2003.

TENZIN, A. D. et al. Rate of foot-and-mouth disease virus transmission by carriers quantified from experimental data. **Risk Analysis**, v. 28, n. 2, 2008.

THORNLEY, J. H. M.; FRANCE, J. Modelling foot and mouth disease. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 89, jun. 2009.

USDA. United States Department of Agriculture. Disponível em: <<https://www.usda.gov/>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

VANDERWAAL, K. L.; PICASSO, C.; ENNS, E. A.; CRAFT, M. E.; ALVAREZ, J.; FERNANDEZ, F.; PEREZ, A.; WELLS, S. Network analysis of cattle movements in Uruguay: quantifying heterogeneity for risk-based disease surveillance and control. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 123, p. 12-22, 2016.

VOLKOVA, V. V.; HOWEY, R.; SAVILL, N. J.; WOOLHPUSE, M. E.J. Sheep movement networks and transmission of infectious diseases. **PLOS Computational Biology**, v. 5, e11185, 2010.

WARD, M. P. et al. Simulation of foot-and-mouth disease spread within an integrated livestock system in Texas, USA. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 88, n. 4, abr. 2009.

WATTS, D. J. **Six Degrees**: the science of a connected age. W. W. Norton & Company, 2003.

WEBB, C. R.; SAUTER-LOUIS, C. Investigations into the contact structure of the British sheep population. **In**: Meeting of the Society for Veterinary Epidemiology and Preventive Medicine, Cambridge, p. 10-20, 2002.

WEBB, C. R. Investigating the potential spread of infectious diseases of sheep via agricultural shows in Great Britain. **Epidemiology and Infection**, v. 134, p. 31-40, 2006.

YOUNG, J. R. et al. Benefit-Cost Analysis of foot and mouth disease control in large ruminants in Cambodia. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 63, n. 5, out 2016.

ANEXOS

ANEXO A

Figura A.1 - Diferentes zonas e medidas consideradas na ocorrência de um foco de febre aftosa

Fonte: PANAFTOSA (2007)

1. Zona livre: é aquele território que não tem presença do agente, que está distante da área infectada e que não é dependente epidemiologicamente dessa área.
2. Zona afetada: é a superfície geográfica que requer uma ação sanitária para circunscrever a febre aftosa e evitar sua difusão. Poderão ser consideradas dentro dela duas zonas epidemiológicas de importância, uma zona infectada, onde existe presença do agente, e outra zona de risco ou tampão, onde não existe presença de vírus.
3. Foco: é a propriedade com animais enfermos e seus contatos. Em um país livre da enfermidade, um foco pode estar constituído por um só animal enfermo. Isso inclui as propriedades limítrofes ou vizinhas, cujos animais têm possibilidade de ter estado em contato direto com os da propriedade afetada.
4. Zona perifocal: estabelece-se uma área variável de 5 a 10 km de raio, tendo como centro o estabelecimento afetado. Consideram-se esses estabelecimentos com alto risco de infecção, ainda quando não se observaram animais clinicamente enfermos.
5. Zona de risco ou tampão ou de vigilância: é aquele território que inclui propriedades próximas da área infectada ou que é dependente epidemiologicamente dela. Não há registro

de presença do agente, mas existe risco de infecção. Portanto, também está sujeita às restrições e às ações de vigilância. Essa área é utilizada como território de segurança ou tampão, de modo a separar a zona livre da zona infectada. Tem como finalidade manter a zona livre como tal, tendo uma supervisão e vigilância estrita, com restrições de movimentos e controles de trânsito de animais, produtos e subprodutos e derivados, pela autoridade sanitária, com o devido apoio das forças de ordem pública. Considerando-se os sistemas produtivos existentes na região, esta deve ter um mínimo de 10 km, podendo ser de 20 km, sempre que dê garantias de um eficiente controle, considerando-se também para sua delimitação as barreiras naturais existentes.

6. Barreiras sanitárias: são lugares físicos (postos administrativos) instrumentados para aplicar todas as medidas de biosseguranças que reduzem a exposição e difusão do agente patógeno, seguindo as indicações da administração veterinária. As barreiras poderão ser de contenção e de desinfecção. A instalação das barreiras sanitárias será em locais estratégicos, tanto no perímetro da área para controlar o ingresso e a saída delas, como internamente, para controlar o deslocamento dentro dela.

7. Isolamento: é a separação de animais enfermos e de seus contatos diretos, enquanto dure o período de transmissibilidade, em lugares e sob condições que evitem a transmissão direta ou indireta do agente infeccioso dos animais infectados a outros suscetíveis. Corresponde também realizar o isolamento de animais de espécies naturalmente não-suscetíveis, como possíveis veiculadores do vírus da febre aftosa.

8. Quarentena: é a restrição da movimentação e observação de grupos de animais aparentemente sadios expostos ao risco de contágio, mas que não tiveram contato direto com animais infectados. Seu propósito é evitar a possível transmissão em cadeia da enfermidade a outros animais não diretamente expostos.

ANEXO B

ABATE					
2014			2015		
Município	Envia	Rebanho	Município	Envia	Rebanho
1º Ribas do Rio Pardo	5,54%	5,23%	1º Ribas do Rio Pardo	5,69%	5,16%
2º Camapuã	3,59%	2,76%	2º Porto Murtinho	3,76%	3,24%
3º Rio Verde de Mato Grosso	3,29%	2,66%	3º Camapuã	3,56%	2,69%
4º Corumbá	3,01%	8,39%	4º Rio Verde de Mato Grosso	3,56%	2,79%
5º Santa Rita do Pardo	2,99%	2,45%	5º Santa Rita do Pardo	3,01%	2,54%
6º Porto Murtinho	2,91%	3,45%	6º Bela Vista	2,85%	2,08%
7º Bela Vista	2,84%	2,09%	7º Corumbá	2,73%	8,22%
8º Miranda	2,60%	1,70%	8º Miranda	2,73%	1,71%
9º Nioaque	2,47%	1,94%	9º Nioaque	2,56%	1,97%
10º Bonito	2,44%	1,81%	10º Bonito	2,42%	1,76%
TOTAL	31,68%	32,48%	TOTAL	32,87%	32,16%
2014			2015		
Município	Recebe	Rebanho	Município	Recebe	Rebanho
1º Campo Grande	31,44%	2,61%	1º Campo Grande	23,96%	2,60%
2º Nova Andradina	10,69%	1,95%	2º Bataguassu	8,99%	0,94%
3º Bataguassu	7,56%	0,92%	3º Nova Andradina	8,74%	1,97%
4º Terenos	4,75%	1,31%	4º Naviraí	7,08%	0,98%
5º Rochedo	4,58%	0,70%	5º Terenos	5,07%	1,35%
6º Batayporã	4,51%	0,86%	6º São Gabriel do Oeste	4,98%	1,09%
7º Cassilândia	3,45%	1,23%	7º Rochedo	3,95%	0,70%
8º Coxim	3,44%	2,47%	8º Anastácio	3,89%	1,37%
9º Ponta Porã	3,12%	0,75%	9º Aparecida do Taboado	3,86%	0,80%
10º Caarapó	3,11%	0,44%	10º Iguatemi	3,41%	1,32%
TOTAL	76,65%	13,24%	TOTAL	73,93%	13,12%

Quadro B.1 - Principais municípios destinatários (receptores) e de origem (remetentes) de animais para abate no MS: 2014 e 2015

Fonte: Elaboração a partir das GTAs

REPOSIÇÃO					
2014			2015		
Município	Envia	Rebanho	Município	Envia	Rebanho
1º Corumbá	9,72%	8,39%	1º Corumbá	9,02%	8,22%
2º Aquidauana	4,76%	3,83%	2º Aquidauana	5,33%	3,63%
3º Ribas do Rio Pardo	3,71%	5,23%	3º Ribas do Rio Pardo	4,29%	5,16%
4º Água Clara	3,50%	2,23%	4º Campo Grande	3,60%	2,60%
5º Coxim	3,17%	2,47%	5º Porto Murtinho	3,10%	3,24%
6º Campo Grande	3,08%	2,61%	6º Água Clara	3,08%	2,30%
7º Camapuã	3,01%	2,76%	7º Rio Verde de Mato Grosso	3,06%	2,79%
8º Rio Verde de Mato Grosso	2,80%	2,66%	8º Coxim	3,02%	2,52%
9º Porto Murtinho	2,70%	3,45%	9º Camapuã	2,77%	2,69%
10º Bela Vista	2,42%	2,09%	10º Miranda	2,29%	1,71%
TOTAL	38,87%	35,72%	TOTAL	39,56%	34,86%
2014			2015		
Município	Recebe	Rebanho	Município	Recebe	Rebanho
1º Ribas do Rio Pardo	3,88%	5,23%	1º Ribas do Rio Pardo	4,16%	5,16%
2º Rio Verde de Mato Grosso	3,33%	2,66%	2º Corumbá	3,83%	8,22%
3º Aquidauana	3,30%	3,83%	3º Campo Grande	3,11%	2,60%
4º Corumbá	3,24%	8,39%	4º Rio Verde de Mato Grosso	3,08%	2,79%
5º Camapuã	3,17%	2,76%	5º Aquidauana	2,90%	3,63%
6º Coxim	2,99%	2,47%	6º Miranda	2,86%	1,71%
7º Campo Grande	2,93%	2,61%	7º Coxim	2,85%	2,52%
8º Miranda	2,74%	1,70%	8º Terenos	2,74%	1,35%
9º Bela Vista	2,69%	2,09%	9º Três Lagoas	2,61%	2,98%
10º Três Lagoas	2,57%	2,93%	10º Nova Andradina	2,39%	1,97%
TOTAL	30,84%	34,67%	TOTAL	30,53%	32,93%

Quadro B.2 - Principais municípios destinatários (receptores) e de origem (remetentes) de animais para reposição no MS: 2014 e 2015

Fonte: Elaboração a partir das GTAs

ANEXO C

Figura C.1 - Grau de entrada (*input degree*) para o fluxo de bovinos em municípios do Mato Grosso do Sul: 2014 e 2015

Fonte: Resultados do modelo a partir de dados das GTAs

Fonte: Resultados do modelo a partir de dados das GTAs

ANEXO D

Gráfico D.1 - Participação dos principais produtos exportados pelo MS no total exportado pelo Brasil: 2003-2010

Fonte: Elaborado a partir de dados do MDIC (2018)