



DENIS LUCIO CARDOSO

**CATTLE TRADE MOVEMENTS: FORMATION OF
PATTERNS, CONTACT CHAIN AND EPIDEMIOLOGICAL
RISK ANALYSIS:
MINAS GERAIS - BRAZIL FROM 2013 TO 2016.**

LAVRAS – MG

2019

DENIS LUCIO CARDOSO

**CATTLE TRADE MOVEMENTS: FORMATION OF PATTERNS, CONTACT CHAIN
AND EPIDEMIOLOGICAL RISK ANALYSIS:
MINAS GERAIS - BRAZIL FROM 2013 TO 2016.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, área de concentração em Epidemiologia, para a obtenção do título de Doutor.

Profa. DSc. Christiane M. B. M. da Rocha

Orientadora

Prof. DSc. Ronaldo Menezes

Coorientador

LAVRAS – MG

2019

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Cardoso, Denis Lucio.

Cattle Trade Movements: Formation of Patterns, Contact Chain
and Epidemiological Risk Analysis: Minas Gerais - Brazil from
2013 to 2016. / Denis Lucio Cardoso. - 2019.

131 p.

Orientador(a): Christiane Maria Barcellos Magalhães da Rocha.

Coorientador(a): Ronaldo Menezes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Fator de risco. 2. Rede Complexa. 3. Epidemia. I. Rocha,
Christiane Maria Barcellos Magalhães da. II. Menezes, Ronaldo.
III. Título.

DENIS LUCIO CARDOSO

CATTLE TRADE MOVEMENTS: FORMATION OF PATTERNS, CONTACT CHAIN AND EPIDEMIOLOGICAL RISK ANALYSIS: MINAS GERAIS - BRAZIL FROM 2013 TO 2016.

TRÂNSITO DE BOVINOS: FORMAÇÃO DE PADRÕES, CADEIAS DE CONTATO E ANÁLISES DE RISCO EPIDEMIOLÓGICO: MINAS GERAIS - BRASIL - DE 2013 A 2016.

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, área de concentração em Epidemiologia, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 09 de abril de 2019.

Prof. DSc. Marcos Amaku USP
Profª. DSc. Angélica Sousa da Mata UFLA
DSc. Marieta Cristina Madureira IMA

Profª. DSc. Christiane M. B. M. da Rocha
Orientadora

Prof. DSc. Ronaldo Menezes
Co-Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

Dedico a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar.

Agradeço a minha família, pela paciência para com a minha falta de tempo em dedicar atenção a eles, minha esposa, Christiane Cardoso, e meu filho, Lucas.

Agradeço ao Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA) por investir na minha carreira como servidor público e por ceder a utilização dos dados.

Agradeço, às pessoas do Dr. Altino e Dra. Therezinha Porto, por confiar no meu trabalho junto à Autarquia.

E também, ao Diretor Geral Thales Fernandes por meio do qual agradeço a todos colegas de trabalho que apoiaram nessa jornada. Não podendo esquecer do Sr. Gilberto Coelho.

Agradeço a Universidade Federal de Lavras por permitir aprimorar os meus conhecimentos junto aos professores que dedicam com afinco o ofício de ensinar. Especialmente à minha orientadora Christiane Rocha que, além de exercer a função de orientadora, dedica um imenso carinho como uma verdadeira mãe para com seus orientados.

Destaco os professores Geraldo Márcio, Adriana Garcia, Francisco Duque, entre outros. Agradeço aos colegas de pós-graduação, pelos momentos de partilha no aprendizado. Em especial a Yuly.

Agradeço a duas pessoas que não medem esforços para manterem, o Departamento de Medicina Veterinária, limpo: Rose e Vilma.

Agradeço ao Florida Institute of Technology (FIT) pela acolhida durante os seis meses em que fiz parte do Programa de Doutorado Sanduíche.

Agradeço a CAPES pela bolsa no Programa Doutorado Sanduíche no Exterior e ao CNPq pela bolsa de produtividade da Professora Christiane Rocha (processo 305266/2015-2).

Agradeço ao Dr. Ronaldo Menezes, pelo carinho em receber-me durante o período do Programa de Doutorado Sanduíche e pela paciência em transmitir o conhecimento a uma pessoa com formação diferente da sua. Agradeço também aos acadêmicos sob orientação do Dr. Menezes, Josemar: pela acolhida, Diego: pelas conversas.

Agradeço aos pesquisadores Vittoria Colizza e Eugênio Valdano pelas valiosas discussões e o compartilhamento da metodologia utilizada.

“Senhor, conceda-me a serenidade para aceitar aquilo que não posso mudar, a coragem para mudar o que me for possível e a sabedoria para saber discernir entre as duas. Vivendo um dia de cada vez, apreciando um momento de cada vez, recebendo as dificuldades como um caminho para paz, aceitando este mundo cheio de pecados como ele é, assim como fez Jesus, e não como gostaria que ele fosse; Confiando que o Senhor fará tudo dar certo se eu me entregar à Sua vontade; Pois assim poderei ser razoavelmente feliz nesta vida e supremamente feliz na outra.” Amém!
(Reinhold Niebuhr)

RESUMO

A grande diversidade ambiental e cultural encontrada no perfil de pecuaristas, aliada a dimensão do Estado, contribuem para um cenário desfavorável à defesa sanitária animal. Além de possuir limítrofes de fronteiras, na maioria das vezes, desfavoráveis (fronteiras secas, em que o trânsito de animais pode ser realizado à pé). O trânsito de animais é considerado um dos principais fatores de risco para introdução de doenças de contato, e a forma de manejo e a estrutura das propriedades definem o fluxo de comercialização. Assim, identificar áreas ou propriedades de risco auxilia na manutenção e no controle promovidos pelo Serviço de Vigilância Oficial (SVO), ao passo que a dimensão territorial é uma das características que torna o trabalho desafiador. O advento de análises de redes complexas tem se mostrado uma vantagem na promoção da defesa sanitária de forma segura e otimizada por meio da identificação de padrões de trânsito que podem ser utilizados na prevenção e no controle de doenças. Por meio da análise de redes complexas pode-se comparar o comportamento de propriedades, que participam de eventos pecuários com aquelas que não participam e identificar propriedades de maior risco. Como resultados, a rede de trânsito em Minas Gerais apresentou um padrão de trânsito que possui equivalência a outros países tais como Itália, Reino Unido e França. Em que apresenta distribuição que pode ser explicada pela *Truncated power law*. Nos períodos que antecedem campanhas de vacinação contra febre aftosa, a rede se apresentou com maior número de nós ativos, com cadeias de contato mais curtas resultando em maior dispersão nesse período. Prevaleram distâncias curtas (menores que 100 Km). Propriedades que participam de eventos pecuários apresentaram cadeia de contato maior com maior frequência. As medidas de centralidade (*Degree, PageRank e Betweenness*) apresentaram-se como boas ferramentas para a fragmentação da componente gigante, exceto: *OutDegree e eigenvector*. A TOPSIS ponderada modificada apresentou-se como uma ferramenta que consegue agregar as centralidades, cada uma com sua qualidade, em um parâmetro que é capaz de identificar propriedades com maior risco para introdução e disseminação de doenças. A rede de trânsito de bovídeos mineira apresenta um comportamento de resiliência que merece maiores estudos.

Palavras-chave: Fator de risco. Rede Complexa. Epidemia. centralidade. Multicritério Decisão.

ABSTRACT

The great environmental and cultural diversity found in the livestock profile, together with the size of the State, contribute to a scenario unfavourable to animal health protection. In addition to having borders bordering, in most cases, unfavourable (dry borders, where the transit of animals can be carried out on foot). The cattle trade movement is considered to be one of the main risk factors for contact-based disease introduction, handling manners and the structure of property facilities define the commercialization flow. Therefore, identifying risk areas and properties aids the maintenance and the control promoted by the Official Surveillance Department, whereas the territorial dimension makes it challenging. The advent of complex network analysis has been shown to be an advantage in safer and more optimized health defence promotion by identifying cattle trade movement patterns that can be used in disease prevention and control. Through the analysis of complex networks one can compare the behaviour of properties that participate in livestock events with ones that do not, thus, identifying properties that show greater risk. As a result, the cattle trade network in Minas Gerais presented a traffic pattern that has equivalence to other countries such as Italy, the United Kingdom and France. In that it presents a distribution that can be explained by Truncated power law. In periods preceding foot-and-mouth disease (FMD) vaccination campaigns the network had exhibited a greater number of active nodes with shorter contact chains, resulting in greater dispersion in that period. Short distances (less than 100 Km) had prevailed. Properties that participate in livestock events had shown higher frequencies of wider contact chains. Measures of centrality (Degree, PageRank and Betweenness) had shown to be good tools for giant component fragmentation, except for OutDegree and eigenvector. Modified weighted TOPSIS has been shown as a tool capable of incorporating the centralities, each with its qualities, into a parameter capable of identifying properties with greater risk of introduction and spread of diseases. Minas network exhibits a behaviour of resilience which deserves further investigations.

Keywords: Risk factor. Complex networks. Epidemic. Centrality. Multicriteria decision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Comparação da distribuição de Poisson (círculos) e da lei de potência (quadrados) em escala linear. As duas distribuições têm o mesmo grau médio $k_{mdio} = 10$. Fonte: (MATA, 2015).	22
Figura 2 –	Modelo de grafo direcionado e ponderado. A espessura das setas está relacionada ao peso das ligações e elas saem do nó de origem e apontam para o nó de destino.	23
Figura 3 –	Political division of Minas Gerais with subregions (micro and macro), 2017.	34
Figura 4 –	Political division of Minas Gerais, 2017.	35
Figura 5 –	Illustration cattle trade networks. The node presents the premise and the edges present the cattle traffic movement between two premises, Minas Gerais - Brazil	35
Figura 6 –	Distribution of premises in Minas Gerais (Brazil), 2017.	36
Figura 7 –	Log-log plot comparing Power-Law with others distributions, Minas Gerais - Brazil, 2013 to 2016.	40
Figura 8 –	Time evolution of the global static features of cattle trade movements networks on timescale $\Delta t = 01$ day, Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016. . . .	42
Figura 9 –	Time evolution of the global static features of cattle trade movements networks on timescale $\Delta t = 07$ days, Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016. . . .	43
Figura 10 –	Time evolution of the global static features of cattle trade movements networks on timescale $\Delta t = 28$ days, Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016. . . .	44
Figura 11 –	Degree distributions for cattle trade movements networks aggregated on different timescales Δt , in Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016.	45
Figura 12 –	Strength distributions for cattle trade movements networks aggregated on different timescales Δt , Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016	46
Figura 13 –	Weight distributions for cattle trade movements networks aggregated on different timescales ($\Delta t = 01, 07, 28$ e 365 days) for animals and batches, Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016	47
Figura 14 –	Relation between the number of cattle trade movements of a holding and its number of connections for different values of timescales Δt , Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016.	47

Figura 15 –	Distribution os number of head moved (W_a) versus distance (in Km), 2013 to 2016, Minas Gerais. Distance of each size of batches in the timescales $\Delta t = 01, 07, 28$ and 365 days, Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016.	48
Figura 16 –	Comparison among first, second, third and fourth Giant Component. (a) Built a random network with same number of nodes and links that the real network. (b) The real network in the region of Uberaba, Minas Gerais, in 2016.	50
Figura 17 –	Log-log plot comparing Power-Law with others distributions, Minas Gerais - Brazil, 2013 to 2016. Fit without slaughterhouses and livestock market place.	52
Figura 18 –	Comparison among first, second, third and fourth Giant Component. (a) Built a random network with same number of nodes and links that the real network. (b) The real network in the Coordination of Uberlândia, Minas Gerais, Brazil - 2016.	53
Figura 19 –	Comparison among first, second, third and fourth Giant Component. (a) Built a random network with same number of nodes and links that the real network. (b) The real network in the Coordination of Governador Valadares, Minas Gerais, Brazil - 2016.	54
Figura 20 –	Comparison among first, second, third and fourth Giant Component. (a) Built a random network with same number of nodes and links that the real network. (b) The real network in the Coordination of Oliveira, Minas Gerais, Brazil - 2016.	55
Figura 21 –	Exemplo de cadeia de contato simples e uma complexa.	62
Figura 22 –	Comparativo entre o número de GTA emitidas (em tons laranja) com o número de nós ativos (em tons rosados) considerando $\Delta t=07$ dias, 2013 - 2016, Minas Gerais.	64
Figura 23 –	Comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2014, Minas Gerais, Brasil.	66

Figura 24 – Boxplot comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2014, Minas Gerais.	67
Figura 25 – Frequência da cadeias de contato (a) InGoing e (b) OutGoing com $\Delta t = 7$ dias, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, 2014, Minas Gerais.	68
Figura 26 – Fragmentação da componente gigante por retirada dos nós aleatoriamente, 2014, Minas Gerais.	69
Figura 27 – Fragmentação da GC em meses consecutivos no ano de 2014, Minas Gerais.	71
Figura 28 – Fragmentação da GC comparando um mês (i) com os demais 12 meses ($i + n; n=1, 2, 3, \dots, 12$), para os anos de 2014, Minas Gerais.	72
Figura 29 – Boxplot das medidas de centralidade (a) <i>Betweenness centrality</i> , (b) <i>Closeness centrality</i> , (c) <i>InDegree centrality</i> , (d) <i>OutDegree centrality</i> segundo o tipo de estabelecimento, 2013, Minas Gerais.	73
Figura 30 – Distância de transporte de bovídeos, na semana, 2014, Minas Gerais. . . .	74
Figura 31 – Distribuição da distância (<i>DISTANCE</i>) versus quantidade de bovídeos transportados (<i>WA</i>) nas diversas finalidades de trânsito, 2013 - 2016, Minas Gerais.	75
Figura 32 – Boxplot da distância (<i>DISTANCE</i>) nas diversas finalidades de trânsito, 2013 - 2016, Minas Gerais.	75
Figura 33 – Fragmentação da componente gigante. Adaptado Barabasi (2016)	77
Figura 34 – Comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2013, Minas Gerais, Brasil.	82
Figura 35 – Boxspot comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2013, Minas Gerais.	83

Figura 36 – Frequência da cadeias de contato (a) InGoing e (b) OutGoing com $\Delta t = 7$ dias, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, 2013, Minas Gerais.	84
Figura 37 – Comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2015, Minas Gerais, Brasil.	85
Figura 38 – Boxspot comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2015, Minas Gerais.	86
Figura 39 – Frequência da cadeias de contato (a) InGoing e (b) OutGoing com $\Delta t = 7$ dias, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, 2015, Minas Gerais.	87
Figura 40 – Comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2016, Minas Gerais, Brasil.	88
Figura 41 – Boxspot comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2016, Minas Gerais.	89
Figura 42 – Frequência da cadeias de contato (a) InGoing e (b) OutGoing com $\Delta t = 7$ dias, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, 2016, Minas Gerais.	90
Figura 43 – Fluxograma mostrando os passos da Metodologia utilizada, adaptado (HU et al., 2015).	94

Figura 44 – Comparativo entre as medidas de centralidade com o <i>score</i> segundo a metodologia TOPSIS, 2016, Minas Gerais.	98
---	----

LISTA DE TABELAS

Table 1 –	Summary of the main features of cattle trade movements by year. Source: Farming Institute of Minas Gerais (IMA), 2013 to 2016, Minas Gerais, Brazil.	37
Table 2 –	Distribution of cattle trade movements according the commercial purpose. The number of batches reports the number of the issued Animal Transit Guide (ATG) documents, in Minas Gerais, Barzil - 2013 to 2016.	38
Table 3 –	Summary of the information of cattle trade movements networks obtained by aggregating the data in different time windows (Δt). Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016.	39
Table 4 –	Nós ranqueados <i>top10</i> de acordo com cada medida de centralidade: <i>Degree</i> (DC), <i>Weighed OutDegree</i> (W_outDC), <i>Weighed InDegree</i> (W_inDC), <i>Betweenness</i> (BC), <i>Pagerank</i> (PR), <i>Eigenvector</i> (EC), Cadeia de contato de chegada (CC_Ingoing), Cadeia de contato de saída (CC_Outgoing), Forçade Infecção (F(t)) e <i>w-TOPSIS</i> , 2016, Minas Gerais.	97

CONTENTS

	PRIMEIRA PARTE	15
1	INTRODUÇÃO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Redes Complexas	20
2.1.1	Tipos de redes	21
2.1.2	Medidas de Centralidades	22
2.1.3	Modelos Epidêmicos	27
2.2	Método de Multicritério de Decisão	28
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	31
	ARTIGO 1: CATTLE TRADE PATTERN MOVEMENTS IN BRAZIL.	32
1	INTRODUCTION	32
2	MATERIAL AND METHODS	33
3	RESULTS AND DISCUSSION	36
4	CONCLUSION	51
	ANEXO A - Comparação da distribuição da probabilidade da medida de centralidade.	52
	ANEXO B - Comparação entre primeira, segunda, terceira e quarta componente gigante - Coordenadoria Regional Uberlândia.	53
	ANEXO C - Comparação entre primeira, segunda, terceira e quarta componente gigante - Coordenadoria Regional Governador Valadares.	54
	ANEXO D - Comparação entre primeira, segunda, terceira e quarta componente gigante - Coordenadoria Regional Oliveira.	55
	ARTIGO 2 : ANÁLISE DE REDE COMO FERRAMENTA PARA CONTROLE DE DOENÇAS EM TRÂNSITO DE BOVINOS.	56
1	INTRODUÇÃO	56
2	MATERIAL E MÉTODOS	59
3	RESULTADOS	63
4	DISCUSSÃO	75
5	CONCLUSÃO	81
	ANEXO A - Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2013.	82
	ANEXO B - Boxspot Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2013.	83

	ANEXO C - Histograma Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2013.	84
	ANEXO D - Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2015.	85
	ANEXO E - Boxspot Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2015. . .	86
	ANEXO F - Histograma Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2015.	87
	ANEXO G - Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2016.	88
	ANEXO H - Boxspot Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2016. . .	89
	ANEXO I - Histograma Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2016.	90
	ARTIGO 3 : IDENTIFICAÇÃO DE PROPRIEDADES DE MAIOR RISCO SANITÁRIO COM BASE EM MULTICRITÉRIO DE TOMADA DE DE- CISÃO	91
1	INTRODUÇÃO	91
2	MATERIAL E MÉTODOS	92
3	RESULTADOS	97
4	DISCUSSÃO	98
5	CONCLUSÃO	99
	REFERÊNCIAS	100

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A participação do agronegócio do estado de Minas Gerais no cenário nacional representou 13,5% em 2017 e as exportações representaram cerca de 23,76% dos 101 bilhões de dólares contabilizados pelo agronegócio Brasileiro em 2018.

Considerando a necessidade de manter MG livre de ocorrência de doenças, que podem gerar embargos e, conseqüentemente, prejuízos à pecuária mineira e a outros setores faz-se necessária a promoção do conhecimento para desenvolvimento de ferramentas úteis e uso de inteligência artificial na manutenção de uma vigilância ativa e efetiva para superar o desafio imposto na manutenção do status livre de enfermidades.

Como exemplo, MG está livre da ocorrência de febre aftosa por mais de 20 anos, mantida a vacinação obrigatória. Desafio maior está por vir com a possibilidade de buscar ser livre sem vacinação.

Ao longo desses anos, a defesa sanitária animal vem sendo executada pelo Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA) garantindo que esse cenário se mantenha com o objetivo de valorizar o setor do agronegócio mineiro.

O Estado apresenta grande diversidade de características influenciada por todas as suas fronteiras com seis estados de três regiões do Brasil (Sudeste, Centro-oeste e Nordeste) e o Distrito Federal. Isso traz desafios à Defesa Sanitária Animal. Para tanto é primordial a identificação de áreas ou propriedades, que apresentam maior risco para a introdução e disseminação de doenças. Isso traz racionalização ao planejamento em recursos e pessoal e melhora os resultados.

O trânsito de animais é um dos fatores que promovem a disseminação de doenças por deslocar fontes de infecção e animais suscetíveis. Portanto, identificar e caracterizar propriedades que determinará provavelmente maior risco de exposição a patógenos é fundamental. O estabelecimento desses padrões de movimentação é uma das questões que a análise de redes pode contribuir como ferramenta de. Com base no trânsito de bovídeos registrados pela Guias de Trânsito Animal (GTA), as análises podem apontar padrões e propriedades críticas numa situação epidêmica.

A defesa sanitária pode ser mais eficiente com a utilização dessa ferramenta para vigilância epidemiológica. Otimiza o trabalho ao apontar a prioridade de ações naquelas propriedades com importância na rede de trânsito como peças chaves na manutenção do estado livre de doenças de contato a exemplo da febre aftosa e outras enfermidades transmissíveis. Isto

posto, esse estudo teve como objetivo estudar a rede de trânsito de bovinos do Estado de Minas Gerais por meio de ferramentas de redes complexas. A tese está dividida em duas partes: a primeira contendo a fundamentação teórica e três artigos que se encontram na segunda parte. Na primeira parte, no capítulo de fundamentação teórica, foi feita uma revisão concisa sobre redes complexas, visto que essa ferramenta foi imprescindível para a obtenção dos resultados dos três artigos desta tese. Nele, serão apresentados uma síntese sobre o conceito de redes complexas, as medidas mais utilizadas na literatura, alguns modelos teóricos de redes e também explicamos um modelo epidêmico muito utilizado no estudo de epidemiologia humana e animal: o modelo suscetível-infectado-recuperado (SIR). Além disso, será apresentado o método de multicritério de decisão, ferramenta que será utilizada no artigo que se encontra no capítulo . Na segunda parte são apresentados três artigos. Primeiro. Descreve os padrões do trânsito de movimentos de bovídeos de Minas Gerais. Segundo analisa o uso de redes complexas como ferramenta de controle de doenças e comparar cadeias de contato das fazendas que participam ou não de eventos pecuários, ainda investiga o alcance do transporte dos animais, segundo a finalidade: 1.trânsito entre fazendas, 2.fazenda-local de evento pecuário e 3.fazenda-frigorífico. Terceiro. Identificar propriedades de maior movimentação por multicritérios, considerando modelagem epidêmica (modelo SIR) e o método de multicritério de decisão (HU et al., 2015).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentados o conceito de redes complexas, bem como suas propriedades e alguns modelos da literatura. Além disso, serão apresentadas como tais propriedades podem ser utilizadas para obter informações relevantes no trânsito de animais a ser estudado. Também será feita uma breve explicação sobre modelagem epidêmica, pois tal ferramenta será imprescindível na determinação da influência dos nós da rede na análise de risco epidemiológico. Por fim, será explicado o método de decisão por multicritério, que será associado às propriedades de redes e será utilizado no último artigo.

O Estado de Minas Gerais apresenta uma grande diversidade ambiental e cultural no perfil de pecuaristas. Além disso, os limítrofes de fronteiras são, na maioria das vezes, desfavoráveis à defesa sanitária (fronteiras secas), dificultando, assim, a fiscalização dessas áreas. Identificar quais áreas ou propriedades podem ser consideradas de maior risco para introdução de patógenos e também como alto potencial para disseminá-los é importante para a vigilância sanitária animal na manutenção do *status* livre de endemias.

O trânsito de animais influencia diretamente na introdução e disseminação de doenças de contato, tais como brucelose, febre aftosa e outros. O mapeamento desse fluxo por meio de uma rede de contato, usando recursos computacionais, auxilia de maneira eficiente a prevenção de doenças e a análise de risco epidemiológico. O uso de ferramentas de redes complexas apresenta eficácia em abordagens com intuito de otimizar as ações do sistema de defesa sanitária animal.

A característica de produção de gado possui fatores determinantes que estão associados à probabilidade de introdução e ocorrência de doenças transmissíveis. Tais como: densidade bovina, característica do trânsito segundo a finalidade, tipo de exploração, etc.. Para compreender o processo de sanidade animal, os fatores são levados em consideração ao analisar a produção em determinada região num dado período de tempo (ASTUDILLO; DORA; SILVA, 1986). Dessa forma, identificar propriedades de maior risco, com base nesses fatores, para introdução e disseminação de doenças é um dos objetivos da epidemiologia veterinária. A efetividade e a eficácia de um programa sanitário na prevenção e controle de doenças estão associados a um sistema de vigilância bem estruturado como um dos componentes mais importantes no desenvolvimento e execução das ações sanitárias (PEREZ et al., 2011).

A emergência de doenças em animais e o aumento de trânsito internacional resultaram numa crescente demanda por um sistema de vigilância veterinária cada vez mais rigoroso (HADORN; STÄRK, 2008). Sistemas de informação e *big data* têm sido utilizados para controlar

o *status* sanitário e possibilitar os registros e monitoramento do trânsito de animais, permitindo assim ações sanitárias profiláticas (VASSILEV et al., 2001).

Monitorar e exercer a vigilância em defesa sanitária animal são atividades inerentes ao Serviço Veterinário Oficial (SALMAN, 2003). A execução dessas atividades e outras ligadas à defesa sanitária agropecuária e inspeção no território mineiro foi regulamentada pela Lei 10.594 em 07 de janeiro de 1992 do Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA). O IMA é a autarquia responsável pela execução dos Programas Nacionais definidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em Minas Gerais e está vinculado à Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAPA).

O trânsito de animais, seja por mero comércio ou com finalidade de participar em eventos pecuários, é considerado um dos principais fatores de risco na introdução de doenças infectocontagiosas (AZNAR et al., 2011; BIGRAS-POULIN et al., 2007; ENSOY et al., 2014; BROOKS-POLLOCK et al., 2014; LEÓN et al., 2007; NATALE et al., 2009; POLJAK et al., 2008). Sua relação com a disseminação de doenças infecciosas é de grande relevância econômica (ASTUDILLO; DORA; SILVA, 1986; CARPENTER, 2001; FÈVRE et al., 2006; GILBERT et al., 2005; REID, 2002) pois, esse trânsito possibilita que animais infectados (fonte de infecção) tenham contato com animais suscetíveis, podendo resultar em surtos epidêmicos, gerando grande prejuízo à economia agropecuária do estado, e também colocando em risco à saúde humana (ORTIZ-PELAEZ et al., 2006). Áreas ou rebanhos são classificados como vulneráveis para ocorrência de doenças devido ao alta possibilidade de ingresso e disseminação de patógenos associados ao fluxo intenso de animais (ASTUDILLO, 1984; BIGRAS-POULIN et al., 2007; GERBIER et al., 2002; OBIAGA et al., 1979).

Portanto, o registro das movimentações de animais é muito relevante para a saúde animal (NATALE et al., 2011). Compreender o impacto desse trânsito sobre o potencial de transmissão de doenças torna-se importante para o controle e prevenção das mesmas (VOLKOVA et al., 2010b). Esse fluxo de comercialização é dependente da estrutura e finalidade pecuária da propriedade, que determina a forma de comercialização, considerando se é um rebanho de leite, corte (ciclo completo ou terminação), reprodução e outros.

A identificação de áreas e rebanhos de risco de maior vulnerabilidade, preconizados pela Organização Mundial de Saúde Animal (OIE), possibilita aprimorar o planejamento de ações para o controle efetivo de endemias e epidemias, além de otimizar o uso de recursos humanos

e financeiros nas ações, inclusive, determinando as ações da vigilância ativa (MARTÍNEZ-LÓPEZ; PEREZ; SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, 2009a).

O controle do trânsito de bovídeos é um grande desafio para um país de grande extensão territorial como o Brasil. As análises de trânsito demonstram ser uma ferramenta eficaz para caracterização do comércio de bovídeos, considerando as dimensões de espaço e tempo (MORAES, 1993).

Estudos epidemiológicos de diversas doenças são realizados utilizando os dados de trânsito de animais. Como exemplos: brucelose (KURODA, 2012; CIPULLO et al., 2016); diarreia bovina vírus (FRÖSSLING et al., 2012; IOTTI et al., 2017; SCHÄRRER et al., 2015); febre aftosa (MOHR et al., 2018; HAYDON et al., 2003; MARDONES et al., 2013; PENA, 2011; VELTHUIS; MOURITS, 2007; GREEN; GREGORY; MUNRO, 2009; VERNON, 2011; MARTÍNEZ-LÓPEZ et al., 2014; BUHNERKEMPE et al., 2014); febre do vale do *Rift* (NAPP et al., 2018), língua azul (NÖREMARK et al., 2011); influenza equina (FIRESTONE et al., 2012), tuberculose (GREAR et al., 2014; POZO et al., 2018; SINTAYEHU et al., 2017; HIDANO et al., 2016; PALISSON; COURCOUL; DURAND, 2016), salmonellose (CRABB et al., 2016) e Zoonoses (FÈVRE et al., 2006). Tais estudos dependem dos dados armazenados em um determinado sistema de informação. Geralmente, o trânsito de bovídeos é controlado por um documento (NATALE et al., 2011) que, no caso do Brasil, é a Guia de trânsito animal (GTA).

2.1 Redes Complexas

Uma rede é qualquer sistema que pode ser representado por um grafo (NEWMAN, 2002; BARABASI, 2016). Por sua vez, um grafo é representado matematicamente por um conjunto $G(V, E)$, em que V representa os elementos do sistema, denominados vértices ou nós, e E representa a interação entre esses elementos, ou seja, as ligações (arestas) entre eles (NEWMAN, 2003; BOCCALETTI et al., 2006; COHEN; HAVLIN, 2010). Quando damos a um grafo uma representação física, o chamamos de rede complexa. Por exemplo, em uma rede social os nós da rede são as pessoas, e as ligações podem representar vínculos profissionais ou de amizade entre elas. Do ponto de vista matemático e computacional, é interessante representar as redes utilizando um matriz de adjacência ou matriz de ligação: A , em que $A_{ij}=1$ se há uma ligação entre i e j e $A_{ij}=0$, caso contrário (BOCCALETTI et al., 2006). A rede pode ser direcionada, isto é, o nó i pode estar conectado ao nó j mas o contrário, não é necessariamente verdade. Um

exemplo deste tipo de rede são as redes biológicas onde uma enzima pode ativar outra mas o inverso não é sempre verdade. Além disso, a rede também pode ser ponderada, isto é, o peso das ligações pode assumir valores diferentes de 0 ou 1, quando levamos em consideração o fluxo de um nó para o outro. É o caso de redes de aeroportos, por exemplo. Além desta rede ser direcionada, ela também é ponderada, visto que cada voo possui um número de passageiros (fluxo) distinto.

No estudo sobre o trânsito de bovídeos no Brasil, os nós representam as fazendas, locais de eventos pecuários e frigoríficos, ou seja, espaços de permanência dos animais. e a ligação entre esses, ou seja, quando ocorre o trânsito de animais, seja bovinos, equinos, suínos e etc. A ocorrência é registrada pela emissão da Guia de Trânsito Animal (GTA). Assim sendo, as redes de trânsito de animais são consideradas direcionadas e ponderadas. Isto é, há um fluxo de animais entre os nós com direção da origem para o destino. O número de ligações que ocorreram entre eles ao longo do tempo representa o número de GTA emitidas entre dois nós. Já o número de cabeças de gado transportadas representa o peso das ligações.

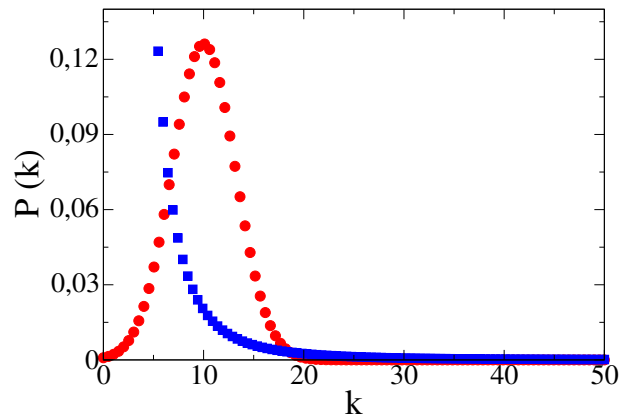
2.1.1 Tipos de redes

Em geral, as redes podem ser divididas em dois grandes grupos: redes homogêneas e redes heterogêneas. Essa nomenclatura está relacionada ao tipo de conectividade da rede. Na linguagem de redes, chamamos de grau do nó i o número de vizinhos diretos que ele possui, ou seja seu número de ligações. Nas redes homogêneas, os nós possuem aproximadamente o mesmo grau médio, enquanto que nas redes heterogêneas, a maioria dos nós possui um pequeno número de vizinhos porém existe a probabilidade de encontrarmos nós com um alto grau de conectividade, denominados *hubs*.

Como exemplo de redes artificiais homogêneas podemos citar o modelo proposto por Erdős e Rényi (1959, 1960) denominado rede regular aleatória. Neste modelo de rede, a probabilidade de que exista uma ligação entre dois nós quaisquer é p e a probabilidade de que não exista, é a probabilidade complementar $1 - p$. Neste caso, a distribuição de conectividade $P(k)$ ¹ é uma distribuição de Poisson, como mostrado em vermelho na figura 1.

¹ A distribuição $P(k)$ fornece a probabilidade de que um nó, selecionado aleatoriamente, tenha k ligações, (grau k) ou seja, é o histograma do número de ligações dos nós da rede.

Figure 1 – Comparação da distribuição de Poisson (círculos) e da lei de potência (quadrados) em escala linear. As duas distribuições têm o mesmo grau médio $k_{mdio} = 10$. Fonte: (MATA, 2015).



Porém, a maioria das redes reais, não apresenta esse comportamento da distribuição de conectividade, a maioria delas é heterogênea, com uma distribuição de conectividade em lei de potência, ou seja, $P(k) \sim k^{-\gamma}$, como mostrado na figura 1. Podemos observar que nessa distribuição de conectividade aparece o que chamamos de "cauda pesada". A maioria dos nós tem poucas ligações, porém, existe uma probabilidade, pequena mas diferente de zero, de se encontrar na rede, nós com um grande número de vizinhos, ou seja um número grande de ligações, que são os chamados *hubs*.

2.1.2 Medidas de Centralidades

Pode-se definir algumas métricas para o estudo de redes complexas que auxiliam na compreensão dos componentes da rede analisada. O conceito de centralidade é aplicado para quantificar a importância de vértice ou arestas. A definição 'centralidade' refere-se a uma forma de associar importância ao elemento na rede estruturada.

A - Centralidade de grau:

Representa a medida mais simples e mais conhecida das medidas de centralidade. Basta observar o grafo e calcular o número de ligações que cada nó possui (FREEMAN, 1977). Na figura 2 representamos um grafo direcionado e ponderado, isto é, há direção no fluxo de um nó para outro e tal fluxo varia de acordo com o par de nós analisado. As ligações de chegada (*in-degree*) determinam o número de ligações recebidas. Matematicamente, podemos representar o número de conexões que chegam até um nó i como:

$$K_i^{in} = \sum_{j=1}^N A_{ji}, \quad (1)$$

onde A_{ij} é a matriz de adjacência. Por sua vez, as ligações de saída (*outdegree*) são calculadas da seguinte maneira:

$$K_i^{out} = \sum_{j=1}^N A_{ij} \quad (2)$$

O número total de ligações que tal nó possui é, enfim, dado por:

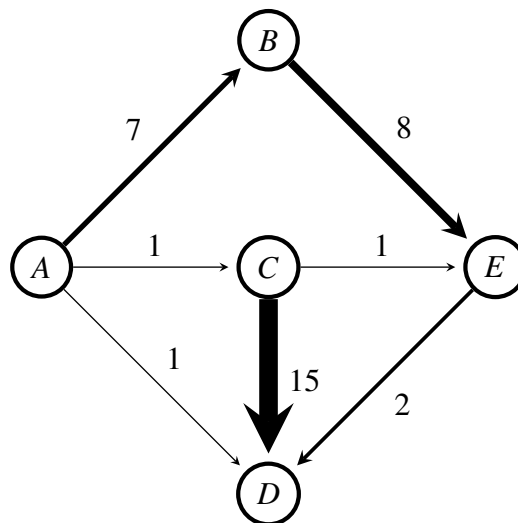
$$k_i = k_i^{in} + k_i^{out} \quad (3)$$

Fazendo uma analogia com as redes de trânsito de bovinos, o grau k_i^{in} da fazenda i representaria a quantidade de fazendas ou demais estabelecimentos que enviaram animais para ela, enquanto que o grau k_i^{out} representa as fazendas que receberam animais do estabelecimento i .

O grau é uma medida direta, ou seja, representa o número de contatos diretos de cada nó (fazendas ou estabelecimento). Ou seja, mede o quanto uma fazenda está conectada com as demais fazendas que estão na rede. Quanto ao grau, adiciona-se a quantidade de animais transportados de uma fazenda para outra, denominado peso das ligações obtém-se o grau de conexões ponderado.

Para um modelo artificial de rede da figura 2, mostra sua matriz de adjacência A_{ij} e sua matriz de adjacência ponderada pelo peso das ligações W_{ij} , respectivamente na equação 4.

Figure 2 – Modelo de grafo direcionado e ponderado. A espessura das setas está relacionada ao peso das ligações e elas saem do nó de origem e apontam para o nó de destino.



$$A_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad W_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 15 & 0 & 2 \\ 0 & 8 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Apenas para exemplificar, se essa rede representasse uma rede de trânsito de bovinos, podemos dizer que a fazenda E possui um k_{total} igual a três (3), ou seja, ela entrou em contato direto com um total de três (3) outras fazendas, sendo que recebeu animais oriundos de duas (2) e destinou animais para uma (1) fazenda. Ao ponderar com a informação de cabeças de animais recebidos ou enviados, vemos que a fazenda E recebeu nove (9) animais, sendo oito cabeças da fazenda B e uma cabeça da fazenda C e enviou dois (2) animais para a fazenda D .

B - Pagerank:

Essa medida, surgiu, inicialmente, com a necessidade de mensurar a importância de *sites* na *web*. É uma medida criada para ranquear sítios da rede mundial de computadores e determina a relevância de uma página, considerando o número de ligações apontadas para ela (PAGE et al., 1999). Posteriormente, essa medida foi generalizada para as demais redes como redes sociais, biológicas, além das redes tecnológicas, etc.

Essa medida é definida pela seguinte fórmula:

$$PR(u) = \frac{1-d}{N} + d \sum_{v \in B_u} \frac{PR(v)}{L(v)} \quad (5)$$

Onde o valor da pagerank de u depende do valor da pagerank de v no conjunto B_u (representa todas as ligações direcionadas para u) e d é uma constante (definido normalmente $d=0,85$).

C - Betweenness:

Em redes, definimos a menor distância entre dois nós i e j quaisquer como o menor caminho entre eles. Isto é, partindo de i qual o caminho que podemos percorrer até chegar em j , passando pelo menor número de ligações possíveis? Já sabemos que a maioria das redes reais possui a propriedade de mundo pequeno, mencionada anteriormente. Ou seja, a menor distância média da rede escala com o logaritmo do tamanho da rede. Partindo desta definição, podemos calcular uma outra medida de centralidade denominada intermediação (do inglês, *betweenness*) (BARABASI; ALBERT, 1999). A medida *Betweenness* representa a razão entre quantidade de

menores caminhos entre dois nós (i e j) que passa por m e quantidade total de menores caminhos entre i e j . Quer dizer, ela representa o quão um nó m serve como ponte no caminho entre dois nós quaisquer i e j . Em que a expressão $B(i, m, j)$ representa todos os caminhos entre i e j que passam por m e $B(i, j)$ representa todos os caminhos possíveis entre i e j e matematicamente, é representada pela equação:

$$\sigma(m) \equiv \sum_{i \neq j} \frac{B(i, m, j)}{B(i, j)}, \quad (6)$$

D - Closeness:

Essa medida representa o quão um nó da rede está próximo dos demais nós. Ou seja, é a soma das distâncias (número de ligações) de um nó a todos os outros nós na rede (FREEMAN, 1978). Matematicamente temos:

$$C_{C_i} = \frac{(N - 1)}{\sum_j d_{(i,j)}}, \quad (7)$$

onde d_{ij} é a menor distancia entre i e j .

E - Grau médio dos vizinhos:

Medida em que podemos conhecer a correlação entre os graus e como é o comportamento do nó ao conectar-se com outros nós com propriedade semelhante ou diferente (BARABASI, 2016). Isto é, vértices de alto grau possuem vizinhos mais próximos com alto grau, considera-se a rede como *assortativa* e o contrário, vértices de alto grau com vizinhos mais próximos de baixo grau, considera-se a rede como *disassortativa*.

$$K_{m,i} = \frac{1}{k_i} \sum_{j \in v_i} k_j \quad (8)$$

Em que $j \in v_i$ corresponde aos vértices j que estão conectados ao vértice i . Ou seja, os valores de grau de j serão somados quando conectados ao vértice i .

F - Componente Gigante:

Redes reais possuem a característica de serem esparsas, ou melhor, o número de ligações é pequeno comparado ao número de ligações possíveis na rede. O que possibilita a visualização de agrupamentos. Tal estrutura é composta por um grupo de nós em que são mutuamente

acessíveis. Nesse contexto, denomina-se como: componente gigante (GC) (DOROGOVTSEV; MENDES, 2004).

Em redes direcionadas pode-se haver duas denominações para a GC:

1 - *Componente Gigante Fortemente Conectada* (GSCC) que é considerada um subgrafo da rede em que os nós apresentam possibilidades de acesso entre eles. Tem-se uma parte altamente conectada, em que se partindo de qualquer nó consegue atingir os demais facilmente. Alguns nós posicionados fora do SGC possuem ligações direcionadas, tanto para nós que compõem o SGC quanto recebem do SGC. Àquelas que direcionam são chamadas de *Giant in-Component* (GIN) e as que recebem *Giant out-Component* (GOUT). Englobando todas essas partes e mais os *Tendrils* (são nós que não acessam o SGC e não possuem caminho até eles partindo do SGC. As vezes, funcionam como "gavinhas" ligando nós entre o GIN e GOUT), tem-se o *Weakly Giant Component* (WGC) (DOROGOVTSEV; MENDES, 2004).

2 - *Componente Gigante Fracamente Conectada* (GWCC) um subgrafo maior, engloba a GSCC, além do GIN e GOUT, em que todos os nós podem ser atingidos se o trânsito for bidirecional. Considera-se o número de fazendas que podem ser atingidas pelo patógeno carregado pelo trânsito de animais, ao ignorar a direção do trânsito (KISS; GREEN; KAO, 2006; KAO et al., 2006).

A GC apresenta um comportamento que é conhecido como limiar de percolação. Entende-se como que a medida que os nós realizam suas conexões, pequenos grupos são formados ao longo de toda a rede. Em determinado momento, basta uma ligação para colocar em conexão esses grupos menores. Pode-se pensar, dessa forma, para os casos de epidemias.

O conhecimento do tamanho da GC em trânsito de animais auxilia em estimar o potencial tamanho de uma epidemia. Há vários trabalhos que utilizam essa metodologia como forma de predição de epidemias em estudos de rede complexas. Com isso, o serviço é capaz de antecipar e planejar as ações necessárias para evitar grandes epidemias.

Como exemplos, podemos citar: Rede de trânsito de bovinos e ovelhas na Reino Unido (CHRISTLEY et al., 2005; ROBINSON; CHRISTLEY, 2007); na Escócia (VOLKOVA et al., 2010a; VOLKOVA et al., 2010b); suínos na França (RAUTUREAU; DUFOUR; DURAND, 2012); na Alemanha (LENTZ et al., 2016); nos Estados Unidos (LEE et al., 2017); bovinos e suínos na Suécia (NÖREMARK et al., 2011); bovinos na Itália (BAJARDI et al., 2012); bovinos e suínos no Canadá (DUBÉ et al., 2008; THAKUR et al., 2016); bovinos na Dinamarca (SCHULZ et al., 2017); no Uruguai (VANDERWAAL et al., 2016); nos Estados Unidos (GOR-

SICH et al., 2016); na França (DUTTA; EZANNO; VERGU, 2014); na Argentina (AZNAR et al., 2011); na Inglaterra (GUINAT et al., 2016); equinos na Austrália (FIRESTONE et al., 2012); aves no Reino Unido (DENT et al., 2008); peixes na Escócia (GREEN; GREGORY; MUNRO, 2009).

2.1.3 Modelos Epidêmicos

De posse do conhecimento prévio sobre redes complexas e suas principais medidas de centralidade, pode-se compreender como um processo de propagação de epidemias, por exemplo, ocorre em determinado substrato. Há diversos trabalhos sobre propagação de doenças em redes utilizando simulação computacional de modelos epidêmicos (GREEN; KISS; KAO, 2006; YANG; ZHOU, 2012; FERREIRA; CASTELLANO; PASTOR-SATORRAS, 2012; BAJARDI et al., 2011; BALCAN et al., 2009; YAMAUCHI et al., 2016). Tais trabalhos, além da parte técnica computacional e analítica, têm como objetivo geral tentar entender como a epidemia se espalha em uma rede real ou artificial e propor estratégias para o controle de epidemias bem como planos de imunização.

Existem diversos modelos epidêmicos na literatura que, apesar da sua simplicidade matemática, descrevem satisfatoriamente situações reais. Neste contexto, podemos utilizar como exemplo o modelo SIR (suscetível-infectado-recuperado), no qual os indivíduos do sistema podem estar em um dos três estados: suscetível (S) (aqueles que estão saudáveis e podem ficar doentes), infectado (I) (aqueles que ficaram doentes por contato com a doença e podem, eventualmente, transmitir a doença para os indivíduos saudáveis) ou recuperado (R) (aqueles que ficaram curados e não podem mais ficar doentes) em um momento t . A população total é a soma dessas classes:

$$N = S_{(t)} + I_{(t)} + R_{(t)}, \quad (9)$$

Ao se pensar nos modelos epidêmicos deve-se ter em mente algumas hipóteses: 1 - A transmissão da doença se dá pelo contato entre indivíduos infectados e suscetíveis; 2 - Na transmissão não se considera o período de latência, isto é, a capacidade de transmissão de um indivíduo infectado é considerada a partir do momento em que se torna doente; 3 - O tamanho da população é fixa, não considerando os nascimentos. As mortes nesse caso, entrariam na classe de recuperados pois, uma vez que o indivíduo está recuperado ou morto, ele não participa mais

da dinâmica devido ao fato de não haver mais possibilidade da transmissão da doença nem de reinfecção.

Matematicamente, representamos esse modelo através da equação:

$$\frac{d\rho_i}{dt} = -\mu\rho_i + \lambda(1 - \rho_i) \sum_{j=1}^N A_{ij}\rho_j, \quad (10)$$

em que ρ_i é a probabilidade do nó i estar infectado. Caso ele esteja infectado no tempo anterior, ele pode ficar curado espontaneamente a uma taxa μ . Caso ele esteja suscetível $(1 - \rho_i)$ e esteja em contato com um vizinho j infectado $\sum_{j=1}^N A_{ij}\rho_j$, ele pode ficar infectado com uma taxa λ .

Computacionalmente, implementamos esse modelo estocástico da seguinte maneira, que representa a forma mais otimizada (GILLESPIE, 1976; FERREIRA; CASTELLANO; PASTOR-SATORRAS, 2012):

- N_i é o número de vértices infectados e N_e é o número total de ligações que eles possuem;
- N_i e N_e são constantemente atualizados;
- Com probabilidade $p = \mu N_i / (\mu N_i + \lambda N_e)$, um nó infectado em D_t é selecionado aleatoriamente e fica recuperado;
- Com probabilidade complementar $q = 1 - p$, um vértice infectado em D_t é selecionado aleatoriamente mas com probabilidade proporcional ao seu grau de conexões.
- Um vizinho deste nó é selecionado aleatoriamente:
 - Se o vizinho está suscetível ele fica infectado,
 - Caso contrário, nada acontece.
- O passo de tempo de Monte Carlo é: $\Delta t = 1 / (\mu N_i + \lambda N_e)$.

2.2 Método de Multicritério de Decisão

Segundo Roy e Bouyssou (1993), os autores definem as Análises de Multi-Critério de Decisão (MCDM) como um conjunto de métodos e técnicas para apoiar a tomada de decisões, quando da presença de uma multiplicidade de critérios. Estes métodos podem ser classificados como sendo de, basicamente, dois tipos: *ordinais* e *cardinais*. Os métodos ordinais buscam atender ao problema de ordenação de uma série de variáveis. Este tipo de método não leva

em consideração a existência de intervalos entre as posições. Esta classe de métodos considera apenas a ordenação dos elementos, a criação de um ranking. Como exemplos: Eliminação pelo Aspecto; Semi Ordenado Lexicográfico e Método Lexicográfico. Os métodos cardinais, em contrapartida, trabalham com o conceito de intervalo, tanto em relação às variáveis, quanto em relação aos critérios. Portanto, segundo a lógica cardinal. Como por exemplo: Modelo Soma Ponderada; Modelo Produto Ponderado; AHP; ELECTRE e TOPSIS, sendo esse último o que será utilizado no terceiro artigo.

O MCDM têm sido aplicada em diversos tipos de problemas, como nas áreas de finanças (PRIMO, 2013), agronegócios (ÖZCAN; ÇELEBI; ESNAF, 2011), ecologia (PETRY; ZANIEVICZ; SILVA, 2016), saneamento básico (MELO et al., 2018), planejamento civil (SILVA, 2016) e militar, segurança e política pública, educação, medicina, biologia, planejamento energético, telecomunicações, desenvolvimento sustentável e planejamento e controle da produção (SANJAY et al., 2019). Geralmente, o MCDM é aplicado em situações em que há múltiplos critérios normalmente conflitantes (YOON; HWANG, 1995). O MCDM é dividido em Análise Multi-objetivo de Decisão (MODM) e Análise Multi-atributo de Decisão (MADM). Sendo que os termos MCDM e MADM traduzem a mesma ideia de classe de modelo (TRIANAPHYLLOU, 2000). O MCDM está preocupado com a estruturação e resolução de problemas de decisão e planejamento envolvendo múltiplos critérios. O objetivo é apoiar os tomadores de decisão que enfrentam esses problemas. Segundo Diehl (1999) a análise de multicritérios não busca ou apresenta uma solução ótima para um dado problema, mas a mais coerente com base na escala de valores do método utilizado.

A - TOPSIS

Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) é uma técnica utilizada para encontrar uma alternativa entre os diversos critérios analisados. Esta técnica foi desenvolvida em 1980 como alternativa para a *Elimination and Choice Expressing Reality* (ELECTRE). A ELECTRE é uma técnica para tomada de decisão que foi criada na Europa nos anos 60. A TOPSIS permite escolher um valor que contenha a menor distância da solução ideal (do inglês *positive-ideal solution*) e a maior distância da solução indesejável (do inglês *negative-ideal solution*) (HWANG; YOON, 1981).

Uma Solução Ideal é definida como uma coleção das melhores pontuações para todos os critérios/atributos considerados. Por outro lado, a Solução Indesejável é composta das piores

pontuações para cada critério. O que permite conseguir uma solução ideal e outra solução Indesejável (TRIANANTAPHYLLOU, 2000).

A TOPSIS faz uso da Distância Euclidiana para verificar a proximidade de uma alternativa com relação à Solução Ideal e à Solução Indesejável. O processo de análise apresenta seis etapas no processo de análise: 1ª etapa: Construção da Matriz de Decisão Normalizada (corresponde aos valores de cada variável normalizado); 2ª etapa: Construção da Matriz de Decisão Ponderada e Normalizada; 3ª etapa: Identificar os valores da solução ideal e da indesejável; 4ª etapa: Calcular a Medida de separação; 5ª etapa: Calcular a similaridade (*relative closeness*) para a solução ideal; 6ª etapa: Classificação por ordem de preferências (HWANG; YOON, 1981).

As etapas dessa metodologia encontram-se detalhadas no terceiro artigo desse documento, onde tal metodologia foi utilizada para identificar propriedades de maior risco na introdução e disseminação de doenças, com base em medidas de centralidade.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1: CATTLE TRADE PATTERN MOVEMENTS IN BRAZIL.

1 INTRODUCTION

The movement of living animals among premises has been identified as a primary risk factor for introduction and spread of livestock disease (ORTIZ-PELAEZ et al., 2006; Van Schaik et al., 2002). Knowing the pattern of cattle trade between farms, the surveillance service has the opportunity to direct surveillance activities and identify high-risk properties to spread contact diseases (CHRISTLEY et al., 2005). According to the USDA (2018), in 2018, Brazil appears as the second largest producer of beef and veal (behind the USA) and cattle heads (behind India), Brazil is the largest exporter of beef and veal. However, Brazil does not have an expressive amount of cattle international trade. It means that most of its trade is done domestically, despite of the Brazilian economic importance in this sector.

In this work, we study the structure of cattle trade in the second largest state of cattle production in Brazil (IBGE, 2018), Minas Gerais. The study of epidemic spreading in human populations has made huge strides in the last few years (LIU et al., 2018; PASTORE Y PIONTTI et al., 2014). Such advances have been obtained mainly due to the progress of computer simulation, complex networks and big data. Nowadays, these expertise are also used in the study of animals disease propagation (SCHUMM et al., 2015; KUKIELKA; MARTÍNEZ-LÓPEZ; BELTRÁN-ALCRUDO, 2017; VALDANO et al., 2015). In this context, it is already known that cattle movement is a prime factor that must be taken into account when we investigate how diseases can spread. In addition, the diseases spreading can result in an epidemic, a serious situation both from the epidemiological and from the economic point of view. (THOMPSON et al., 2002; CARPENTER et al., 2011; MCDERMOTT; GRACE; ZINSSTAG, 2013). Amongst the diseases that are a concern globally, we can mention two important ones (TOMLEY; SHIRLEY, 2009): brucellosis, caused by *Brucella abortus*, which can also infect humans, and foot-and-mouth disease, a virus-caused, highly contagious disease that also affects pigs, sheeps, goats and even deers. The highly contagious nature of these diseases requires special attention regarding to the movement of cattle and their commercialization.

When networks are used to describe cattle trade movements, the premises units of interest are represented as nodes, and the traffic of animals between them are represented as edges (BIGRAS-POULIN et al., 2007). Once cattle are moved from one place to another, the contact between animals is unquestionable, creating a great opportunity for diseases to spread (DREWE

et al., 2013; ROSSI et al., 2017). The understanding of the structure of such movements (due to trade, fattening processes, auctions and exhibitions, etc.) allows us to implement successful measures in the control of epidemics (GATES; WOOLHOUSE, 2015; RAUTUREAU; DUFOUR; DURAND, 2012).

The aim to this work is to analyse the structure of cattle trade in Minas Gerais, Brazil. Besides the analysis performed on livestock movement datasets, we investigate some features of this systems such as the network topology, temporally of connections. These information are important to identify fragility or robustness of the system with regard to an epidemic. Moreover, these information can be useful to determine control measures. Despite of the present work focuses on the dataset of the cattle trade movements of an specific region from Brazil, we crossed-check our results with systems from other countries, e.g. Italy, with the aim of investigating differences and similarities between different systems (BAJARDI et al., 2011).

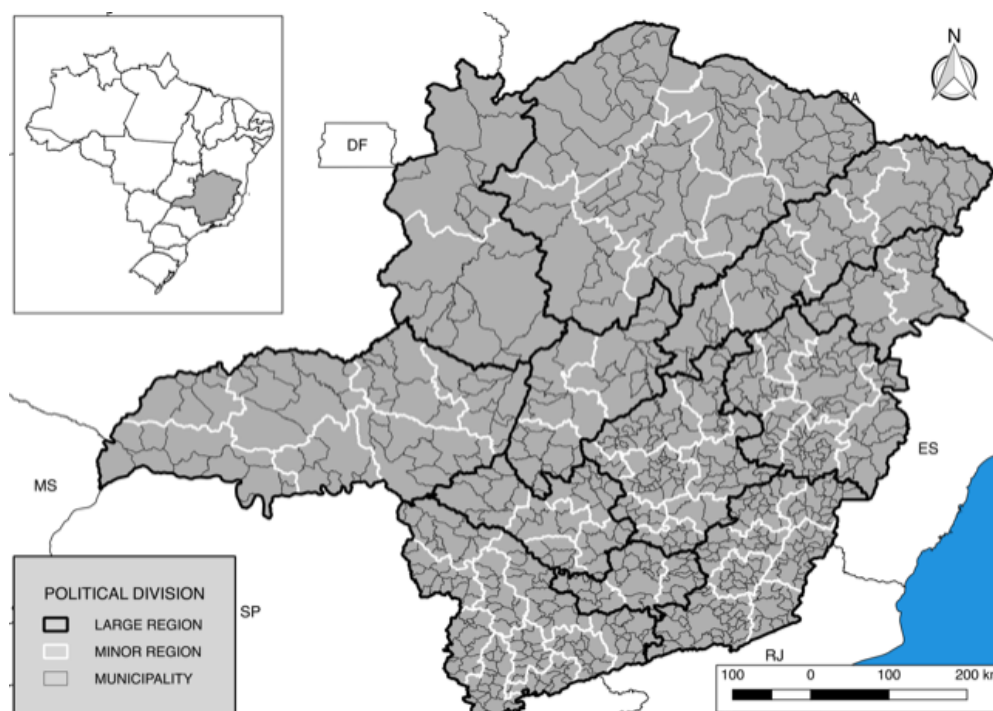
This article is organized as follows: a descriptive approach to cattle trade in Minas Gerais; an analysis of the behavior of this transit in time scale $\Delta t=01, 07, 28$ and 365 days; we will verify the distance distribution and finally a succinct approach to network resilience.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Study location

Brazil has 26 states and Federal District. This study presents the cattle movements of State of Minas Gerais (MG) situated in the southeast region of Brazil. It is the fourth largest state (approximately 586.5 million km²) and the first in amount of cities, reaching the number of 853 cities in 2019. It boundaries with six other states (São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia, Goiás and Mato Grosso do Sul) and also with the Federal District. It can be divided in twelve macro regions or sixty six micro regions (Figure 3).

Figure 3 – Political division of Minas Gerais with subregions (micro and macro), 2017.



2.2 Data

The data were obtained from Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA) - Farming Institute of Minas Gerais. We used the document issued by Service Vigilance Official (SVO). In MG, the IMA is responsible for issuing Animal Transit Guide (ATG), which is done through the web program SIDAGRO (Agricultural Defense System). In each recorded movement, it is reported the origin and destination, as well as the gender, species, age, the reason of the movement and the number of animals moved. Each premise has a unique ID. The premises considered are farm, slaughterhouse, market or exposition place. The dataset corresponds to the period from January 1st, 2013 to December 31th, 2016. We excluded information on importation and exportation of cattle; that presents less than 5% of the total movement.

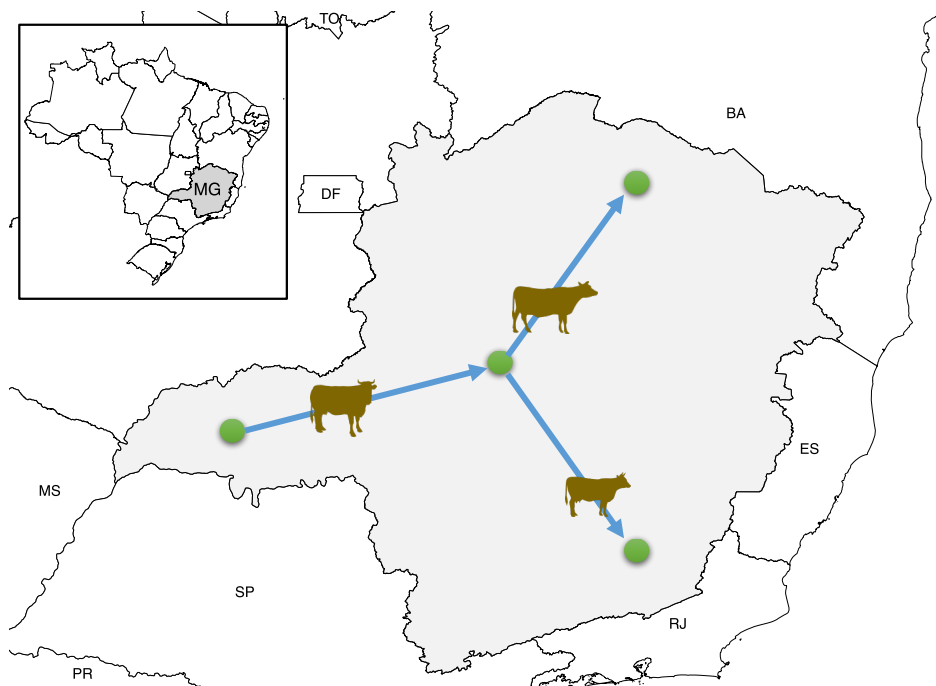
2.3 Network analysis

The cattle trade movement is represented by a complex network. We used as example the studies by Bajardi et al. (2012). The extent of each cattle movement was estimated as the straight distance between premises. The premises² correspond to a node and the directed edge

² Just 40% of all premises have geographic location data, but this amount is a representative sample of the network, so distance-related analyzes were not impaired. However, all nodes were used in the other analyzes, since in these ones the geographical position did not need to be taken into account.

is built between two nodes if the movement of cattle in that direction occurs. The Figure 5 shows a simplified illustration of a cattle movement that could occur in the network of Minas Gerais. The original dataset present daily records. So it is possible to build static snapshots in different time windows Δt . We use $365/\Delta t$ windows to build consecutive snapshots $[n\Delta t, (n+1)\Delta t]$, with n going from 0 to $365/\Delta t$. We vary $\Delta t = 01, 07, 28$ and 365 days. This allows us to analyze 365 daily networks, 52 weekly networks, 13 monthly networks, and one annual network, respectively. We characterized each node i according to its degree. This means that the number of farms to which it sends cattle represents its $k_{i,out}$, on the other hand, the farms that send cattle to it count as its $k_{i,in}$. We consider only nodes with $k_{i,in} + k_{i,out} > 0$ as *active* nodes. We can use two distinct types of weight, the first one is defined as the number of cattle batch moved (W_{ij}^B - this present the number of cattle batch (number of ATG) trade of premise i to premise j on Δt) and the second one is the number of animals moved (W_{ij}^A - shows the number of cattle moved of the premise i to premise j on Δt).

Figure 5 – Illustration cattle trade networks. The node presents the premise and the edges present the cattle traffic movement between two premises, Minas Gerais - Brazil

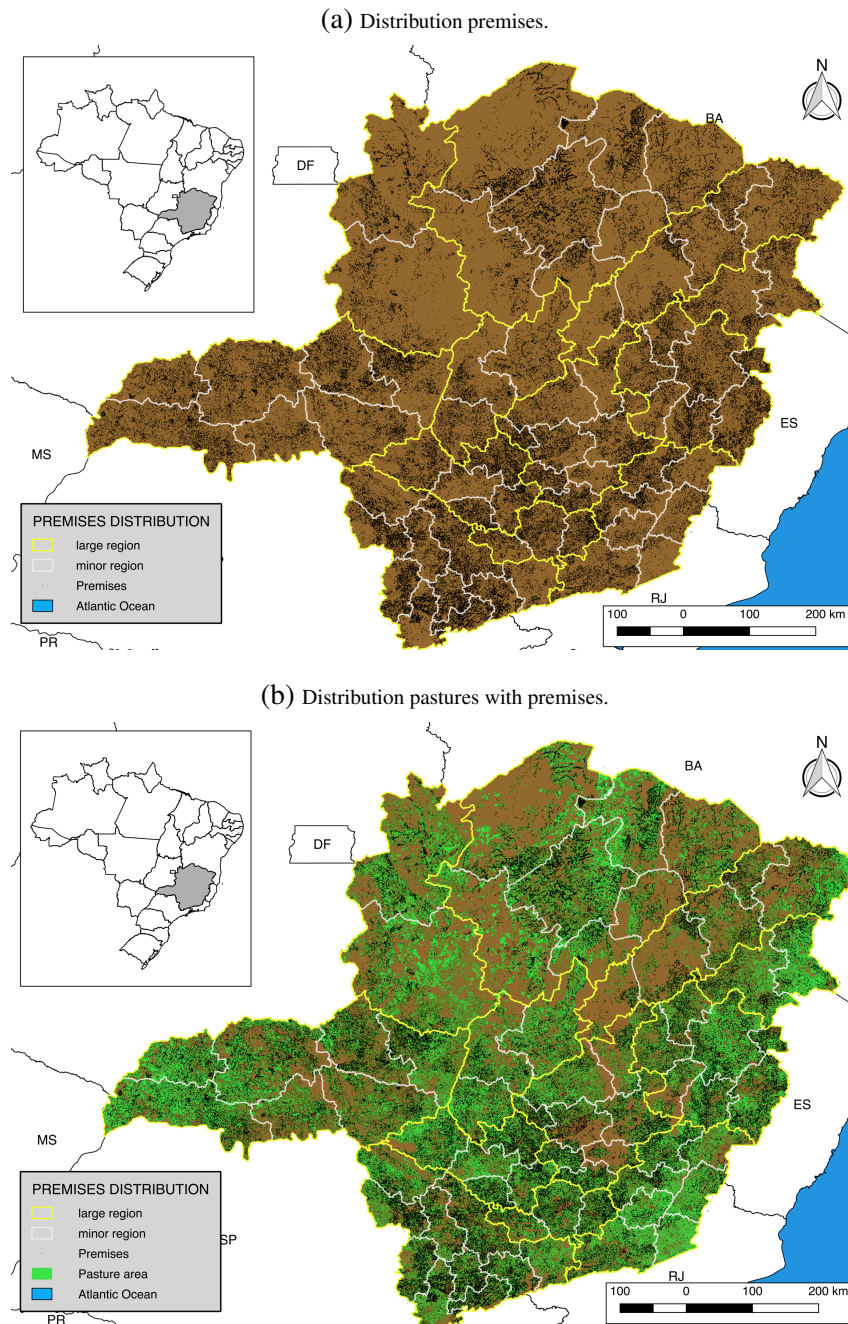


3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Descriptive

In the Figure 6 we show the geographical distribution of premises (a) (40% of all data, as mentioned before) and (b) pastures.

Figure 6 – Distribution of premises in Minas Gerais (Brazil), 2017.



In the panel (a), all black dots present the localization each premise and in the panel (b) the pasture's localization in green. The lines show the sub-regions (yellow to macro one and white to micro one).

Minas Gerais has approximately 420,000 premises (farms, slaughterhouses, livestock market place and others) of which about 190,000 are considered active annually, that, they move a total of 3,784,905 TAG for different purposes: Fattening, Breeding, Livestock Market event, Rearing and others. The Table 1 presents a short summary of the relevant quantities in our study of data from 2013 to 2016. The number of nodes and edges of each year are very similar. However, the data of 2016 presented a few number of trade bovines and batches when compared to previous years. We observe that the cattle trade networks is sparse because the number of links is just twice as large as the number of nodes.

Table 1 – Summary of the main features of cattle trade movements by year.

Source: Farming Institute of Minas Gerais (IMA), 2013 to 2016, Minas Gerais, Brazil.

YEAR	ANIMALS	BATCHES	EDGES	NODES	<BATCH SIZE>	<WEIGHT (ANI-MALS)>	<WEIGHT (BAT-CHES)>	<DEGREE>	<STRENGTH (ANI-MALS)>	<STRENGTH (BAT-CHES)>
2013	15,575,408	918,816	402,614	190,513	16.951	38.686	2.282	2.113	81.755	4.823
2014	17,012,404	998,490	432,308	203,169	17.038	39.352	2.310	2.127	83.735	4.915
2015	17,178,486	983,695	414,500	194,908	17.463	41.444	2.373	2.126	88.136	5.047
2016	15,361,904	883,904	384,172	183,705	17.380	39.987	2.301	2.091	83.623	4.812
TOTAL	65,128,202	3,784,905	1,329,469	344,231	17.207	48.988	2.847	3.862	189.199	10.995

The table shows the number of animals movements, batches, nodes, edges and its averages. <BATCH SIZE> - average of batches; <WEIGHT (ANIMALS)> - average number of animals movements; <DEGREE> - average degree; <STRENGTH (ANIMALS)> - average of animals movements of the corresponding node; <STRENGTH (BATCHES)> - average of batches of the corresponding node.

The major commercial purpose to the cattle movement is livestock market place (27.63%), followed by fattening (26.77%) and slaughter (17.89%) (Table 2). We must emphasize the importance of carefully investigating the cattle movement related to livestock markets, since it is a notable focus of epidemic spread. In fact, livestock market plays as a hub and it easily spreads the diseases (BRENNAN; KEMP; CHRISTLEY, 2008). In MG, the cattle flux coming from or to livestock markets occurs in 31.77% of all batches. It shows that in each 10 batches there are at least 3 for market place. On the other hand, the movement related to slaughter has minor importance in the case of epidemics and, in some cases, we can exclude slaughterhouses from the analysis even because they represent the end point in a contact chain (sink nodes).

Table 2 – Distribution of cattle trade movements according the commercial purpose. The number of batches reports the number of the issued Animal Transit Guide (ATG) documents, in Minas Gerais, Barzil - 2013 to 2016.

Reason	# of animals moved	# of batches
Livestock Market	17,997,097	1,202,452
Fattening	17,436,773	677,076
Slaughterhouse	11,651,317	1,026,229
Rearing - step 2	7,080,687	328,214
Breeding	6,264,378	333,723
Rearing - step 1	4,572,085	208,337
Others	106,876	7,513
Veterinary Treatment	10,633	712
Sanitary slaughter	3,156	372
Exportation	2,941	131
Research	2,259	146
TOTAL	65,128,202	3,784,905

Rearing - step 1: First stage of calves; Reaging - step 2: Second stage of calves after weaning (recreate).

The Table 3 summarizes the properties obtained from aggregated networks according to different timescales $\Delta t = 01, 07, 28$ or 365 days. When we consider networks formed only by the links originated from the cattle movement in a period of one day ($\Delta t=1$), we observed sparse, disconnected and small networks, as observed in other regions, such as Italy and UK (BAJARDI et al., 2012; KEELING et al., 2010). As we increase the time window, e.g. $\Delta t= 7$ and 28 days, the number of nodes and links also increases. The same behavior was observed in the French cattle data (RAUTUREAU; DUFOUR; DURAND, 2012). At $\Delta t= 01$ day, the average number of k_{in} presented smaller variance if compared with k_{out} . However, in the $\Delta t= 07$ and 28 days the opposite happens. It is due to the fact that k_{in} 's slaughterhouses influence the variance by receiving batches with varying number of heads. This variance is increased when timescale are $\Delta t= 7$ and 28 days, if we compare with timescale $\Delta t= 01$ day.

Table 3 – Summary of the information of cattle trade movements networks obtained by aggregating the data in different time windows (Δt). Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016.

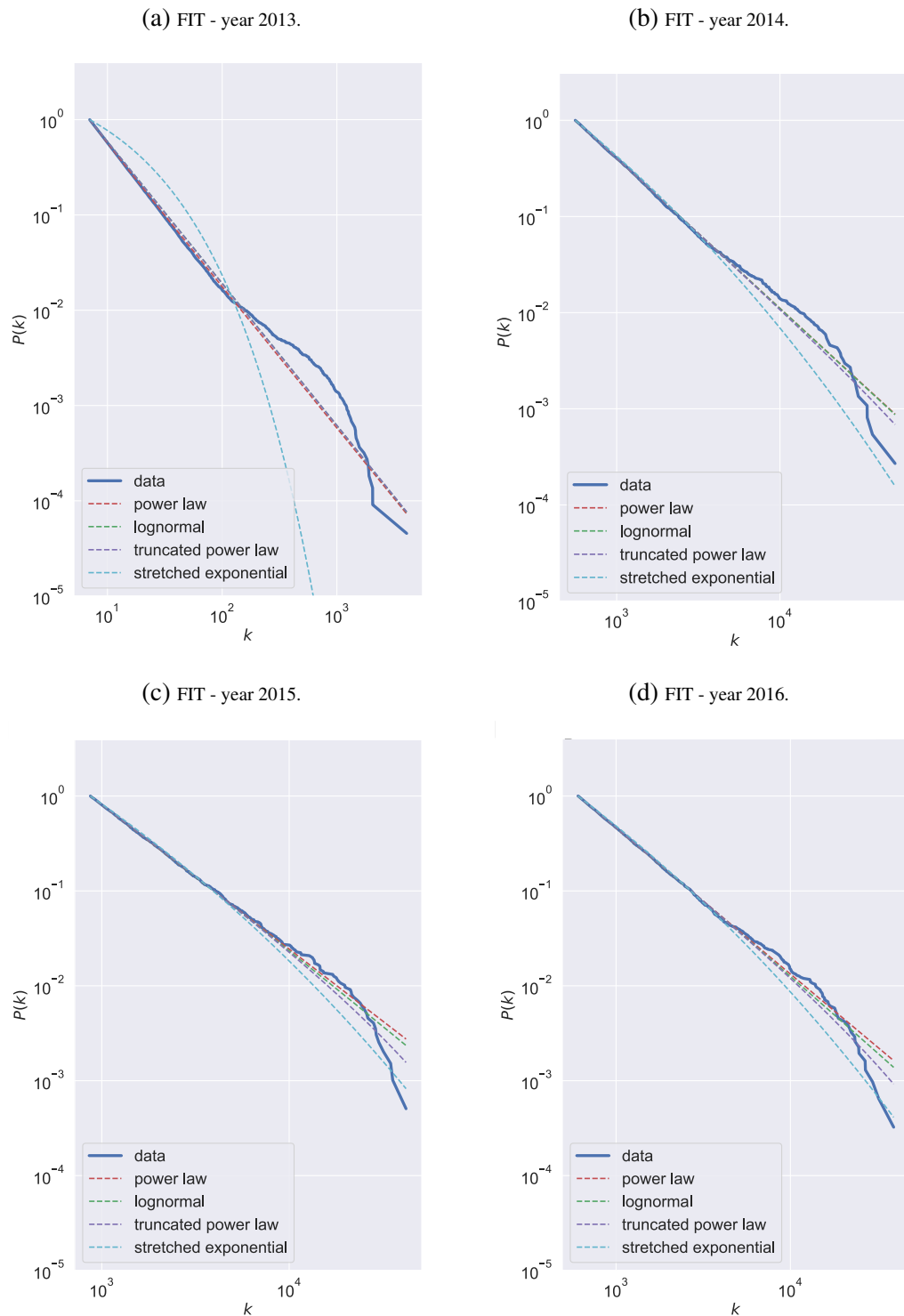
Aggregating time windows	Variable	Average	Variance	[min, max]
$\Delta t= 01$ day (1446 networks)	# of nodes	2.4×10^3	2.8×10^6	[2,8926]
	# of links	1.9×10^3	1.6×10^6	[1,6505]
	k_{in}	0.8	6.1	[0,122]
	k_{out}	0.8	28.1	[0,92]
	W_{ij}^B	1.5	1.2	[1,106]
	W_{ij}^A	24.3	3.1×10^6	[1,12720]
$\Delta t= 07$ days (208 networks)	# of nodes	1.3×10^4	1.0×10^7	[2934,24518]
	# of links	1.2×10^4	9.1×10^6	[2528,22682]
	k_{in}	0.9	22.1	[0,274]
	k_{out}	0.9	1.4	[0,164]
	W_{ij}^B	1.5	0.9	[1,202]
	W_{ij}^A	25.5	4.4×10^6	[1,15802]
$\Delta t= 28$ days (52 networks)	# of nodes	4.0×10^4	3.4×10^7	[22529,51267]
	# of links	4.3×10^4	4.6×10^7	[21383,52875]
	k_{in}	1.1	121.3	[0,817]
	k_{out}	1.1	3.1	[0,304]
	W_{ij}^B	1.7	7.1	[1,623]
	W_{ij}^A	28.9	2.8×10^6	[1,15802]
$\Delta t= 365$ days (04 networks)	# of nodes	2.0×10^5	4.6×10^8	[203879 , 203879]
	# of links	4.3×10^5	1.6×10^8	[433017 , 433017]
	k_{in}	2.1	3.9×10^2	[0 , 4548]
	k_{out}	2.1	6.4×10^1	[0 , 1112]
	W_{ij}^B	2.3	7.3×10^1	[1 , 4018]
	W_{ij}^A	39.3	3.7×10^4	[1 , 93602]

of nodes: number of nodes; # of link: number of links; k_{in} : Indegree; k_{out} : Outdegree; W_{ij}^A : sum of number of head animals moved between node i and j ; W_{ij}^B : sum of number of batches between node i and j ;

3.2 Networks

The Figure 7 shows the probability distribution of finding a node in a cattle trade movements networks with degree k . This function is best fitted according to a truncated power-law.

Figure 7 – Log-log plot comparing Power-Law with others distributions, Minas Gerais - Brazil, 2013 to 2016.



The timeline shows the behavior of nodes, links and size of giant component (figure 8, 9 and 10 over the years (2013 to 2016). When we look at the one-day temporal window ($\Delta t=1$), we noted that nodes and links present a peak in two moments of each year. This peak represents

the period prior to the month of campaign against Foot-and-Mouth Diseases (FMD), due to the legislation in force to determine the grace period for farmers to transport their cattle during the campaign month (BRASIL, 2007). The proportion of nodes belonging to the giant component (N_{GC}/N) showed a large variation over the days on the one-day time scale.

With the aggregation in the timescale $\Delta t = 07$ days, it shows the peak that happens annually in the months of May. The number of nodes and links increase until the week leading up to the campaign against FMD disease. The N_{GC}/N shows peaks that coincide with the period preceding the campaign against FMD, being the highest proportion at the time before the month of May.

We observed in the time scale $\Delta t = 28$ days that the active nodes aggregated increase between $t = 6$ and $t = 8$, when they have the largest number of active nodes. The number of nodes in the GC shows a higher proportion of nodes present in the GC in the $t = 6$ in the years. However, in the year 2015 the N_{GC}/N presented different behavior, a peak in the $t = 3$ and reduction in the proportion others snapshots. In 2015, the peak in the N_{GC}/N shows that, although the number of nodes and links are the same when compared to other years, cattle trade in this period showed more connected, thus increasing the number of nodes present in the GC . What you need to investigate is the cause of this atypical behavior.

Figure 8 – Time evolution of the global static features of cattle trade movements networks on timescale $\Delta t = 01$ day, Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016.

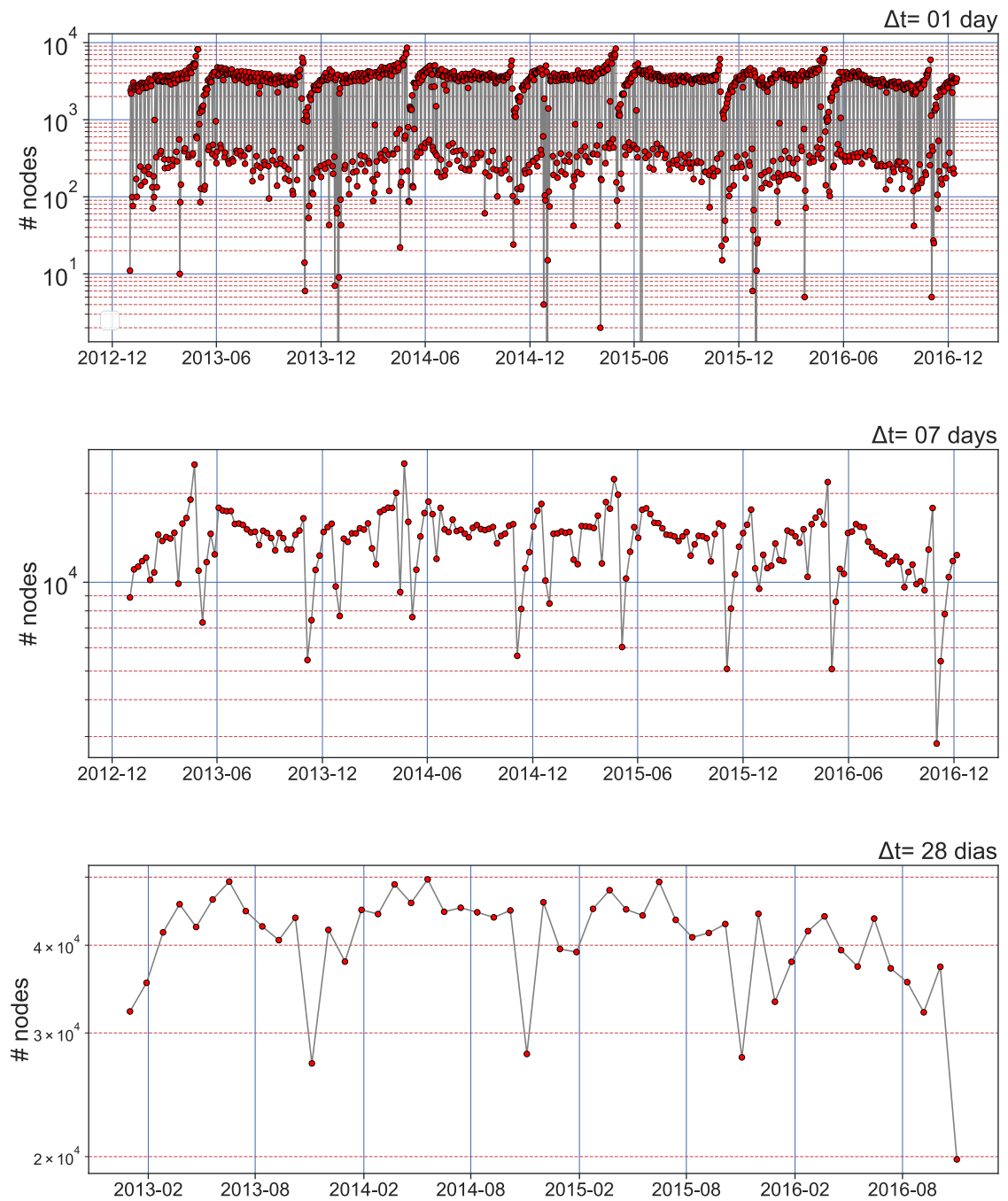


Figure 9 – Time evolution of the global static features of cattle trade movements networks on timescale $\Delta t = 07$ days, Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016.

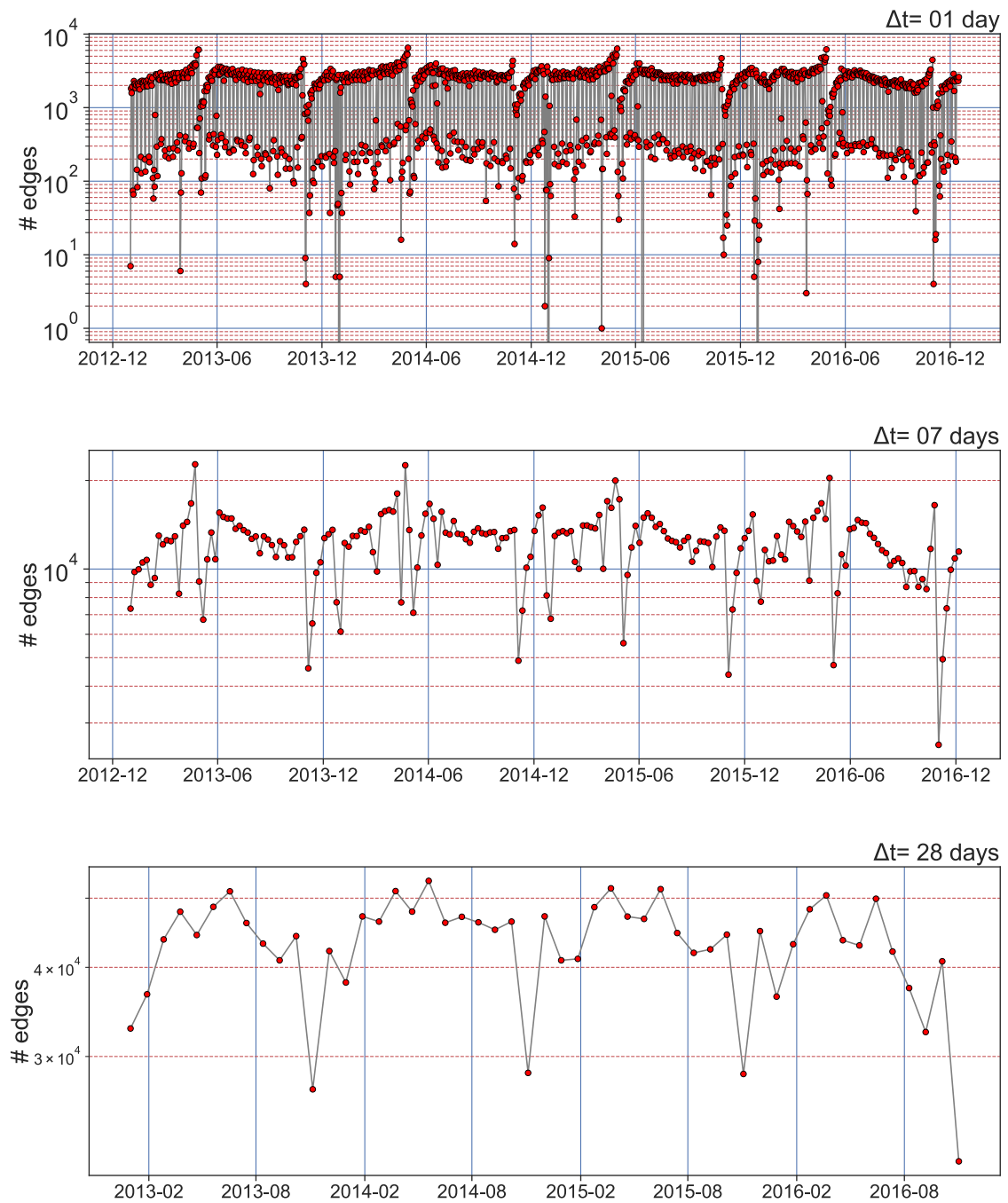
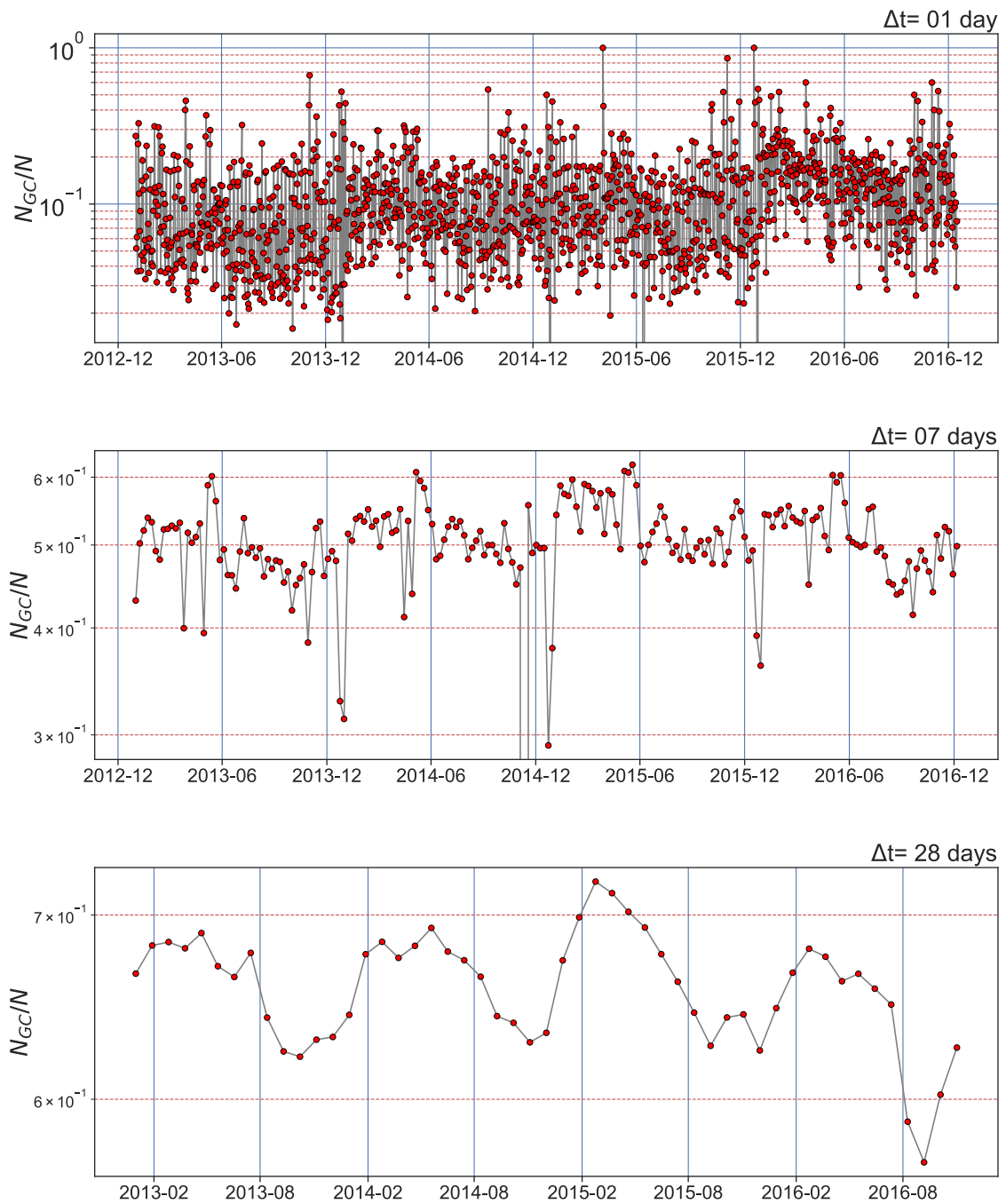


Figure 10 – Time evolution of the global static features of cattle trade movements networks on timescale $\Delta t = 28$ days, Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016.



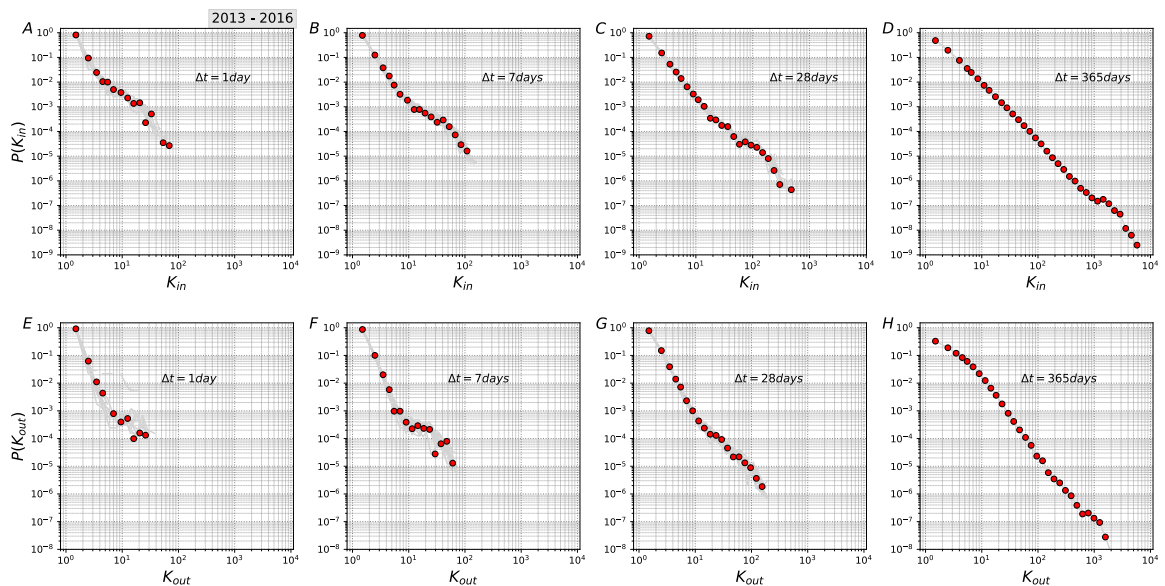
The Figures 11-14 allow us to explore statistical properties of the networks constructed from different timescales Δt . Each Δt represents a time window of length 01, 07, 28 and 365 days. So, each panel is the snapshot of the degree, strength and weight distributions.

The Figure 11 shows the distribution of inDegree (K_{in}) and outDegree (K_{out}). They exhibit behavior similar to that found in other countries such as Italy (BAJARDI et al., 2011), the United Kingdom (CHRISTLEY et al., 2005) and France (DUTTA; EZANNO; VERGU, 2014;

GONZA, 2008). Regardless of Δt , the values increase by adding time. There is no influence that can interfere with the aggregation of time. As expected, as we increase the time window, the number of nodes with higher k_{in} and k_{out} increases as well.

There is an asymmetry in the receiving and sending activities of the premises, which can be explained by the peculiar characteristic of each premise, such as slaughterhouses, livestock market, among others. Such premises are responsible for aggregating cattle trade for commercial purposes. Thus, they receive batches from a large number of farms, assembly them, except slaughterhouses, and send again to other farms.

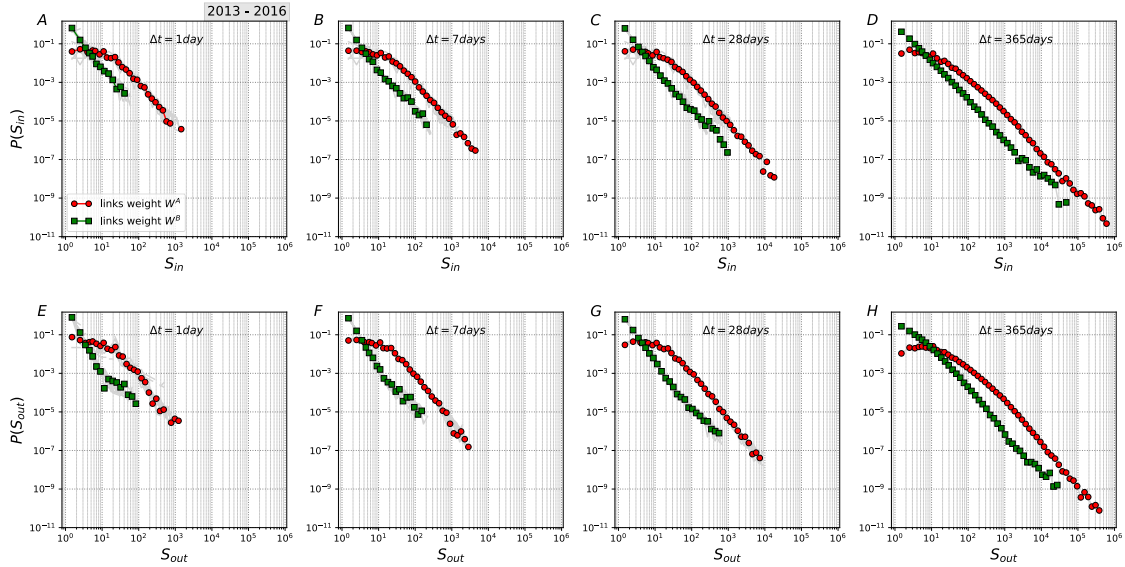
Figure 11 – Degree distributions for cattle trade movements networks aggregated on different timescales Δt , in Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016.



Panels A to D present the in-degree distribution (k_{in}) and panels E to H refer to the out-degree distribution (k_{out}) both on the timescales $\Delta t = 01, 07, 28$ e 365 days.

Figure 12 we can see the in and out-strength distributions, conform to the two definitions for the weights. There is similarity with degree distribution. Both in-strength and out-strength showed similar patterns. The number of batches and animals moved by establishment did not present difference when considering in-strength and out-strength.

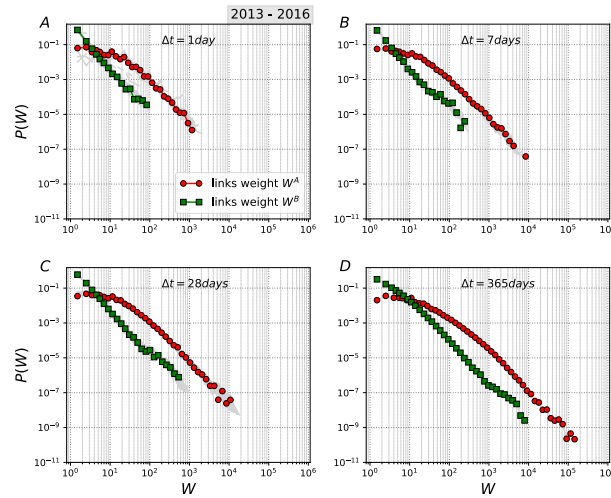
Figure 12 – Strength distributions for cattle trade movements networks aggregated on different timescales Δt , Minas Gerais , Brazil - 2013 to 2016



We denoted by $S_{i,in}^{B(A)} = \sum_j w_{ji}^{B(A)}$ and $S_{i,out}^{B(A)} = \sum_j w_{ji}^{B(A)}$. Panels A to D show the distribution of the in-strength (S_{in}) and panels E to H present the distribution of the out-strength (S_{out}). Both behavior depends strongly on the type of weight considered. The circle red present the binned distribution of the weighted W_{ij}^A or W_{ji}^A (the number of animals moved) and the square green the binned distribution of the weighted W_{ij}^B or W_{ji}^B (the number of batches. In timescale $\Delta t= 01, 07, 28$ e 365 days).

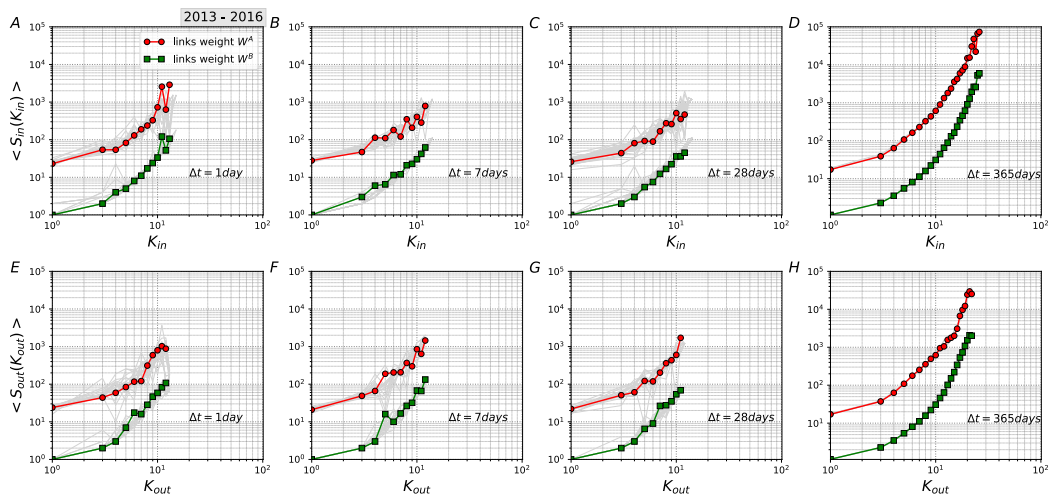
A similar situation can be used for weights when we take into account the number of batches marketed and the number of animals traded. Different of that was observed in Italy (BAJARDI et al., 2011), in Minas Gerais there is a large number of animals transported even when we looked at one day resulting in an intense flow of animals throughout the State.

Figure 13 – Weight distributions for cattle trade movements networks aggregated on different timescales ($\Delta t = 01, 07, 28$ e 365 days) for animals and batches, Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016



The circle red present the binned distribution of the weighted W_{ij}^A (the number of animals moved) and the square green the binned distribution of the weighted W_{ij}^B (the number of batches)

Figure 14 – Relation between the number of cattle trade movements of a holding and its number of connections for different values of timescales Δt , Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016.

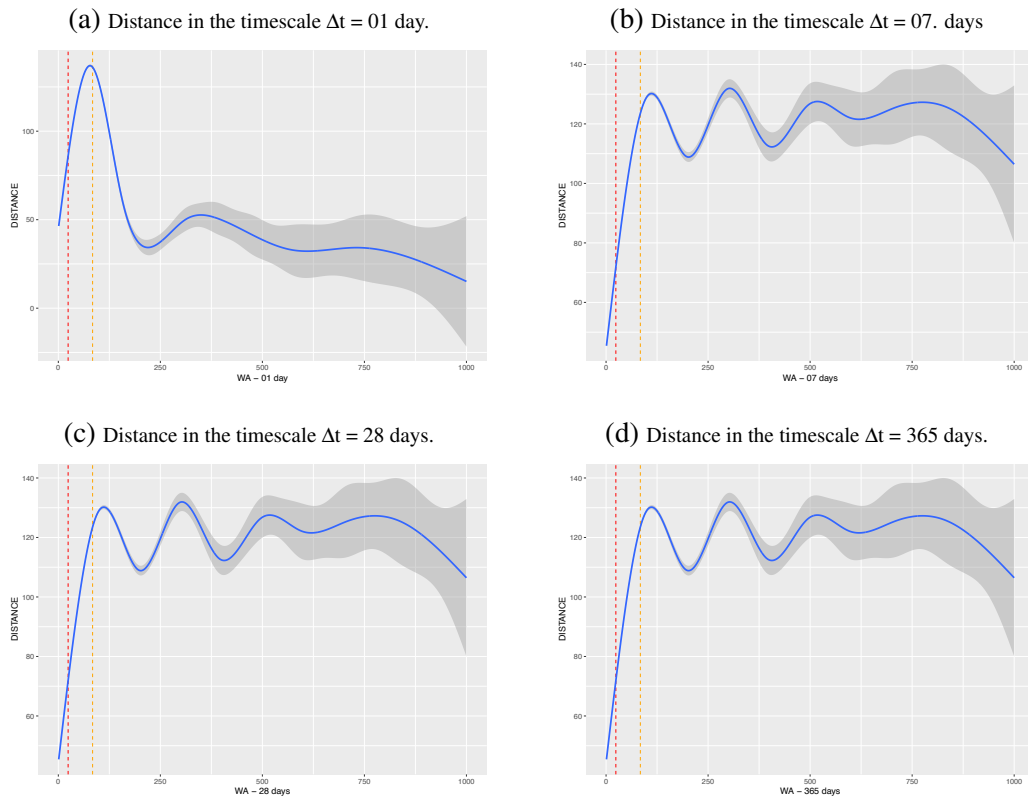


Panels A to D show the average in-strength of nodes with provided value of in-degree, while panels E to H report the average out-strength of nodes with provided out-degree. In timescales $\Delta t = 01, 07, 28$ e 365 days.

The distance can influence the pattern in which the network is formed. In timescale $\Delta t = 01$ day, the reach of batches transport with up to 100 animals increases and decreases for larger batches. It is justified by limited transportation capacity via small trucks or even on foot walking on the rural road. The dashed lines (red and orange) represent the transport capacity of truck. An ordinary truck carries a maximum of 24 animals, while a two-storey truck can carry

up to 84 animals (figure 15). The curve shows the trend of moving cattle batches according to the distance traveled until reaching the destination.

Figure 15 – Distribution of number of head moved (W_a) versus distance (in Km), 2013 to 2016, Minas Gerais. Distance of each size of batches in the timescales $\Delta t = 01, 07, 28$ and 365 days, Minas Gerais, Brazil - 2013 to 2016.



Each panel presents how far the source is of the target, considering the size of batches. The dashed lines (red and orange) show the batches size: 24 and 84 animals moved, respectively.

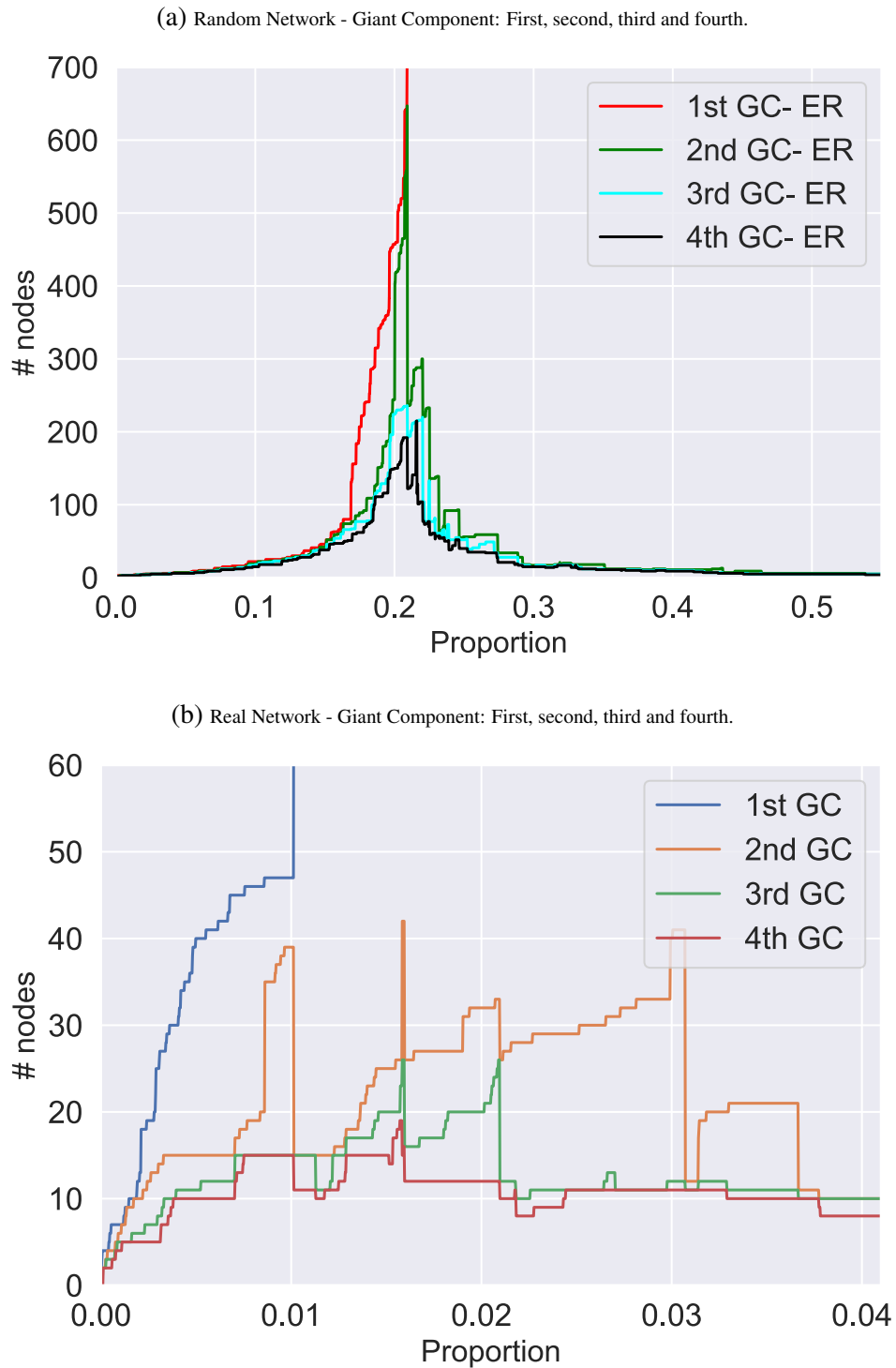
We have shown that the behavior of separate years has the same configuration. In this way, we chose to present the 2016, chosen in an arbitrary way, for the purpose of results.

In the Figure 16 shows the giant component was builded. In the Figure 16a presents the random networks with same number of nodes and edges and the Figure 16b shows the real networks. We can see a behaviour totally different. This can explain why in the cattle trade network we cannot see phase transition. This suggest the possibility that it does not have time to wait to spread diseases if its starts in the network.

The composition of the Giant Component absence of epidemic transition phase and to understand this absence, we chose some regions in the State to exemplify. In Minas Gerais, there are 20 Regional Coordination Units based on the structure of the Farming Institute of Minas Gerais. We chose the Coordination with predominantly beef cattle and milk to demonstrate that the behavior is similar in the State.

To do this, we constructed the network corresponding to the chosen Coordination and extracted the number of nodes and edges (links) to compose the random network, based (ERDÖS; RÉNYI, 1959), constituted with number of nodes and connections equal to the Coordination and we constructed the graph to compare between the two (real and random).

Figure 16 – Comparison among first, second, third and fourth Giant Component. (a) Built a random network with same number of nodes and links that the real network. (b) The real network in the region of Uberaba, Minas Gerais, in 2016.



4 CONCLUSION

We can conclude that the cattle trade networks in Minas Gerais are similar to those studied in other Countries.

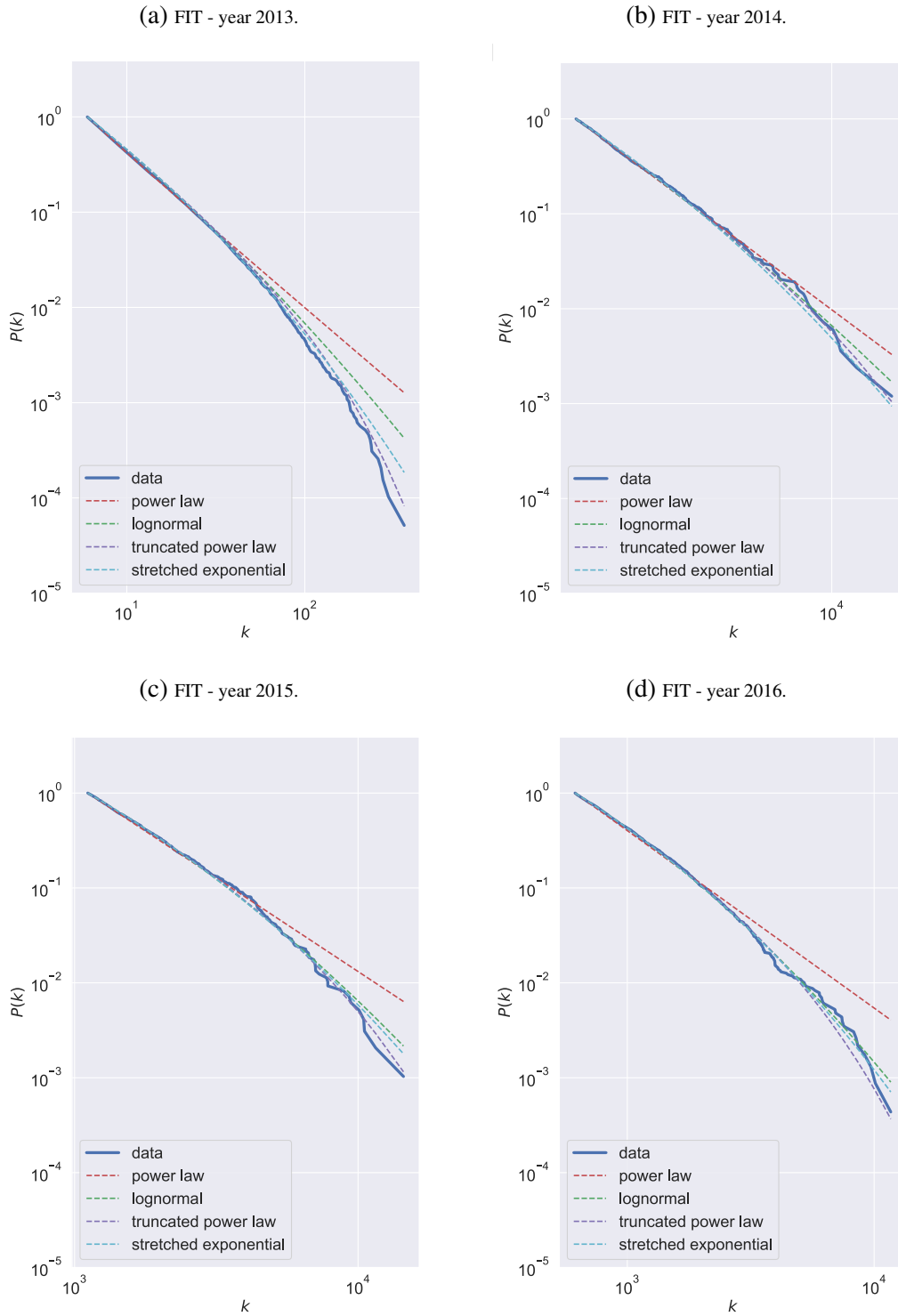
There is a pattern in the movement of animals in Minas Gerais, which is maintained over the years with seasonality marked by the official vaccination campaign against of FMD.

The shorter distances prevail among the others.

The network has a resilience that demands more studies.

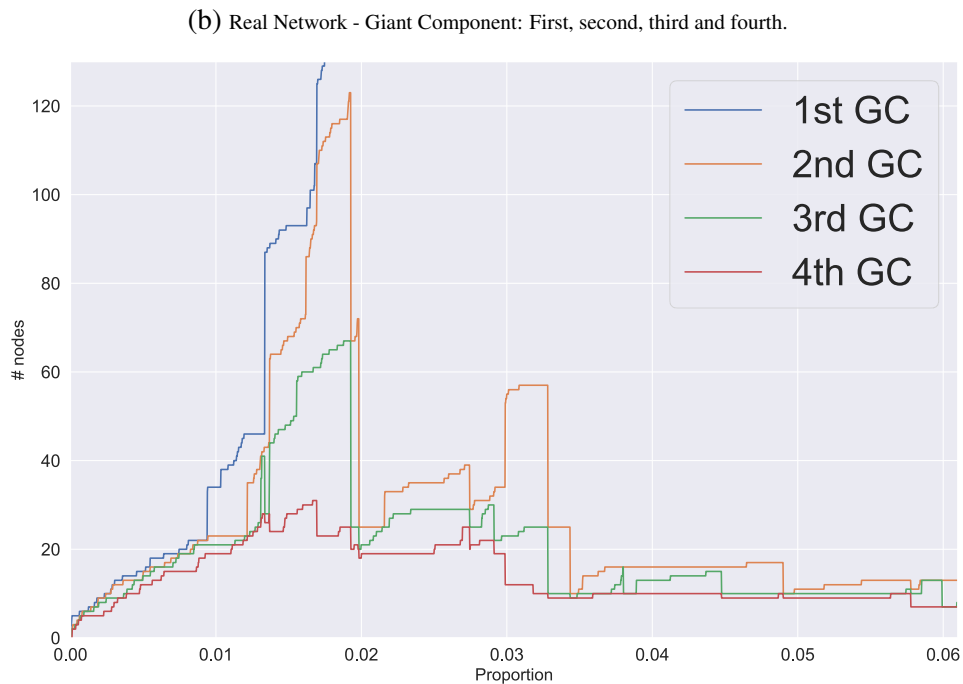
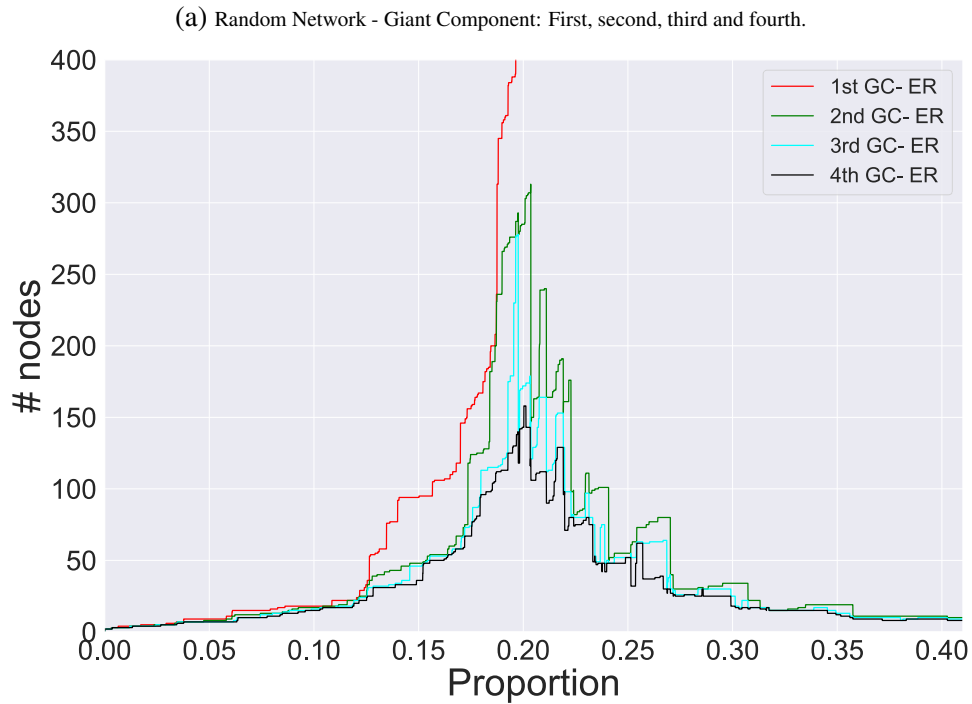
ANEXO A - Comparação da distribuição da probabilidade da medida de centralidade.

Figure 17 – Log-log plot comparing Power-Law with others distributions, Minas Gerais - Brazil, 2013 to 2016. Fit without slaughterhouses and livestock market place.



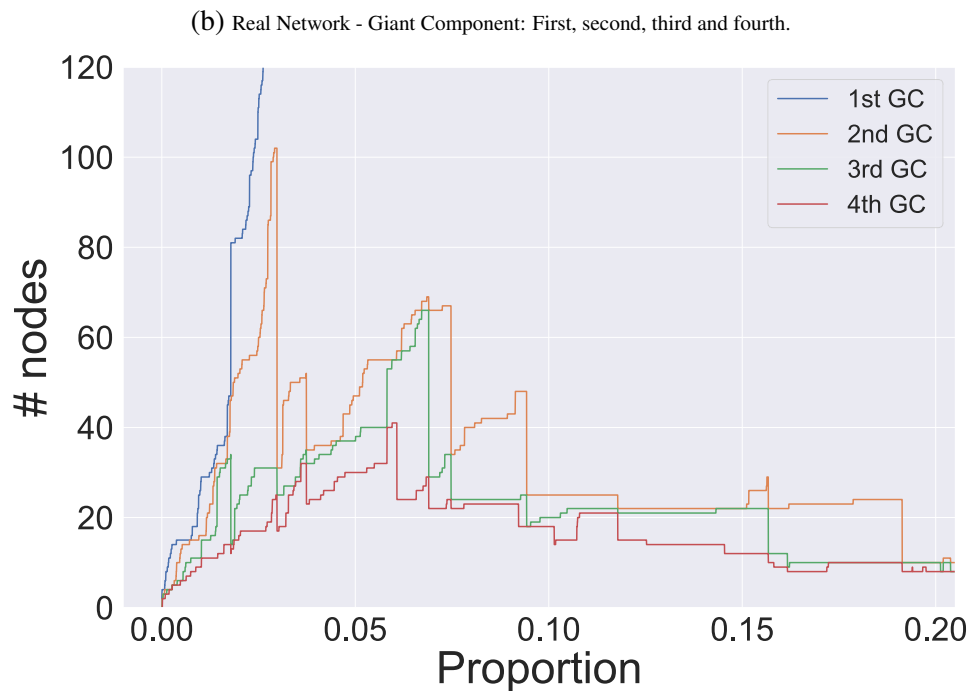
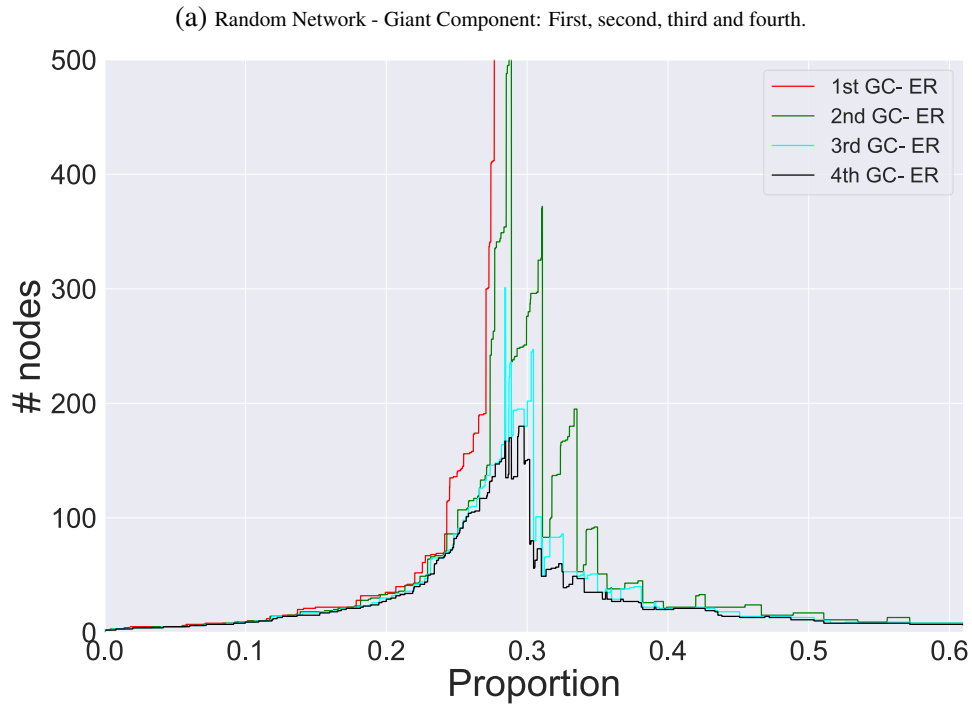
ANEXO B - Comparação entre primeira, segunda, terceira e quarta componente gigante
- Coordenadoria Regional Uberlândia.

Figure 18 – Comparison among first, second, third and fourth Giant Component. (a) Built a random network with same number of nodes and links that the real network. (b) The real network in the Coordination of Uberlândia, Minas Gerais, Brazil - 2016.



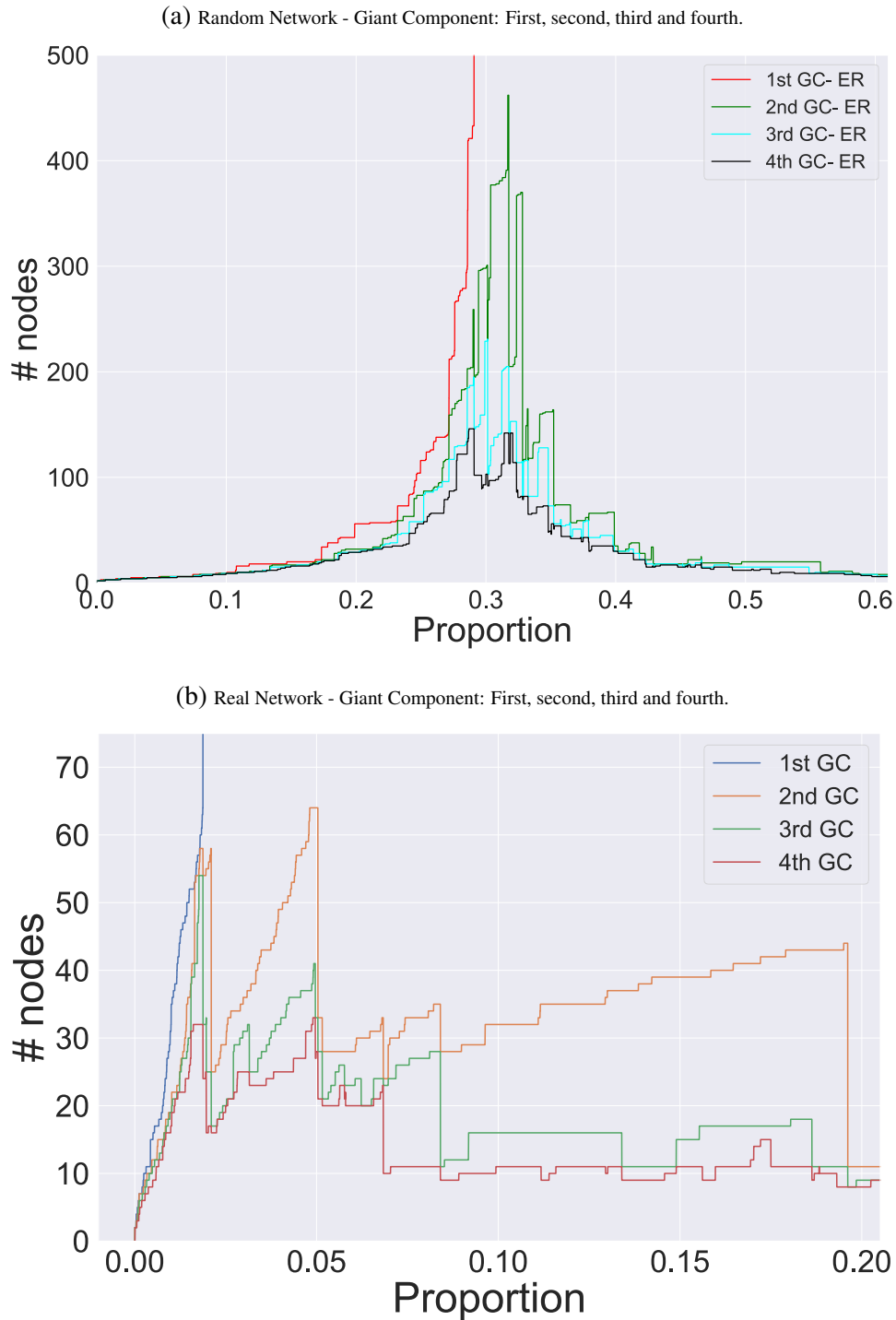
ANEXO C - Comparação entre primeira, segunda, terceira e quarta componente gigante
 - Coordenadoria Regional Governador Valadares.

Figure 19 – Comparison among first, second, third and fourth Giant Component. (a) Built a random network with same number of nodes and links that the real network. (b) The real network in the Coordination of Governador Valadares, Minas Gerais, Brazil - 2016.



ANEXO D - Comparação entre primeira, segunda, terceira e quarta componente gigante
- Coordenadoria Regional Oliveira.

Figure 20 – Comparison among first, second, third and fourth Giant Component. (a) Built a random network with same number of nodes and links that the real network. (b) The real network in the Coordination of Oliveira, Minas Gerais, Brazil - 2016.



ARTIGO 2 : ANÁLISE DE REDE COMO FERRAMENTA PARA CONTROLE DE DOENÇAS EM TRÂNSITO DE BOVINOS.

NETWORK ANALYSIS IN THE CATTLE TRADE MOVEMENTS AS A TOOL FOR DISEASE CONTROL.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui o maior rebanho de bovinos comercial do mundo. Ocupa o segundo lugar em produção de bovinos, 226,03 milhões de cabeças, o que representa 22,64% de toda população bovina mundial. Ficamos atrás apenas da Índia. É o segundo maior exportador de carne, 9,28 milhões de toneladas de carnes - 15,35%, sendo o primeiro, os Estados Unidos (IBGE, 2018). Ocupou o quinto lugar em produção leiteira em 2017, 35,1 bilhões de litros (Embrapa Gado de Leite, 2018). O agronegócio movimentou 22% do PIB total de quase 380 bilhões de dólares, sendo responsável pela balança comercial positiva do país, desde 2000 (ABIEC, 2018). Isso demonstra a importância da agropecuária brasileira para o país e para o mundo.

O trânsito de animais é uma das principais preocupações dos serviços veterinários oficiais devido ao risco de introdução e disseminação de patógenos. Tal preocupação está relacionada, tanto ao risco de introdução de fontes de infecção, quanto do transporte de animais suscetíveis em áreas endêmicas. Por isso a vigilância epidemiológica em saúde animal deve estar sempre atenta e ser atrelada ao comércio de animais e produtos derivados.

A vigilância é um dos pilares fundamentais para permitir o comércio de animais e seus derivados com a garantia da segurança sanitária. É exigência para manutenção e abertura de novos mercados, pois a ela compete determinar o estado sanitário de uma região ou país, sempre em consonância com as orientações da Organização Mundial de Saúde Animal (OIE) (STÄRK; HÄSLER, 2015).

A OIE (2018) determina que compete a vigilância sanitária, por meio do código sanitário dos animais terrestres, o papel de demonstrar a ausência de doença ou infecção, alertar sobre a presença ou como a doença se comporta espacialmente ou, precocemente, detectar doenças emergentes e exóticas. É também função da vigilância sanitária monitorar tendências de doenças fornecendo dados para fomentar e avaliar o controle de patógenos. Assim, com base em análises de risco, estudos analíticos e medidas de mitigação, pode-se adotar as medidas sanitárias apropriadas.

A informatização dos serviços veterinários oficiais no mundo e o conhecimento sobre análise de redes (BARABASI; ALBERT, 1999; NEWMAN, 2002; NEWMAN, 2003; LUSSEAU; NEWMAN, 2004; DOROGOVTSEV; MENDES, 2004; KARRER; NEWMAN, 2011; MARABELLI, 2003) possibilitaram o fomento de estudos que vêm contribuindo para a vigilância de doenças, análises de risco e planejamento para contenção de doenças transmissíveis, incluindo as zoonoses (DUBÉ et al., 2008; MARTÍNEZ-LÓPEZ; PEREZ; SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, 2009b). Especificamente no Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA), o controle de trânsito de bovídeos foi informatizado e possui um banco de dados com as movimentações desde 2009, ano em que passou-se a ter um servidor contendo os dados do Estado.

É importante ressaltar que a análise de redes é, de fato uma ferramenta poderosa, pois, permite estudar as relações entre os movimentos pecuários entre fazendas e/ou eventos como leilão. Isso nos fornece informações sobre o papel de tais estabelecimentos no espalhamento de doenças infectocontagiosas, o que não era possível por meio de estudos tradicionais de movimentos pecuários.

A estrutura de uma rede é determinada por um conjunto de nós ou vértices que podem estar conectados entre si. Os nós podem representar qualquer objeto de interesse. Neste caso, são as fazendas, que possuem certos atributos como posição geográfica, tamanho, tamanho de rebanho e outros. As conexões entre elas só existem se há um fluxo de animais de uma fazenda para outra (DOROGOVTSEV; MENDES, 2004; NEWMAN, 2002; BAJARDI et al., 2011). Um dos fatores determinantes da disseminação de doenças transmissíveis é a forma sequencial, que os animais são transportados de um estabelecimento para outro, a exemplo: uma fazenda para um leilão e outra fazenda. Por isso, rastrear essa rota é extremamente importante.

É fundamental, em casos de epidemias, identificar o foco primário, a origem das fontes de infecção (animais infectados) e até onde há risco real de disseminação.

Muitos trabalhos, analisam as redes de transporte de bovinos utilizando redes estáticas, ou seja, sem considerar a temporalidade das conexões entre as fazendas (NÖREMARK et al., 2014; BAJARDI et al., 2012; DUBÉ et al., 2008; DUTTA; EZANNO; VERGU, 2014; THAKUR et al., 2016; SCHULZ et al., 2017; VANDERWAAL et al., 2016; GORSICH et al., 2016; AZNAR et al., 2011; GUINAT et al., 2016). Porém, já é conhecido na literatura, que a temporalidade é um fato muito importante no estudo de movimentação de bovinos e nos permite uma previsão mais realista do risco real de disseminação de doenças (SCHÄRRER et al., 2015). Para exemplificar, vamos supor uma situação em que exista uma conexão direcionada do nó A para

o nó *B* que, por sua vez, está conectado ao nó *C*. Por conexão direcionada entende-se que existe um fluxo de animais de $A \rightarrow B \rightarrow C$, mas o contrário não é verdadeiro. Em uma rede temporal, o caminho de *A* para *B* e depois para *C* só existe se o fluxo de animais de *A* para *B* acontecer antes do movimento de animais de *B* para *C*. Caso contrário, *A* e *C* não estão indiretamente conectados e não há animais se movimentando de *A* até *C* passando por *B* (HOLME, 2013). Porém, em uma rede estática, essa conexão *A* e *C* apareceria, pois as ligações entre os nós são fixas no tempo. Portanto, na hipótese de doenças transmissíveis, além da variável espacial, a variável tempo também é primordial para determinar a reconstrução desses caminhos, por meio de estudos de entrada e saída de animais de uma propriedade ou estabelecimento (NÖREMARK et al., 2014).

Dessa forma, o conhecimento do padrão de comércio de gado entre propriedades e estabelecimentos, fornece ao serviço de vigilância a oportunidade de direcionar ações e identificar propriedades de alto risco na disseminação de doenças de contato (CHRISTLEY et al., 2005).

Observa-se em análises de redes que há um grupo de nós que apresentam acesso entre eles. A estrutura do subgrupo constituído por estes é chamada de Componente Gigante (DOROGOVTSSEV; MENDES, 2004). Por definição, a componente gigante é a maior componente da rede em que todos os pares de nós (estabelecimentos) estão conectados via ligações direcionadas (SQUARTINI et al., 2013; DUTTA; EZANNO; VERGU, 2014). O tamanho desta componente gigante, juntamente com outras medidas, já é utilizado na literatura para determinar os limites inferior e superior do máximo potencial de espalhamento de uma epidemia (DUBÉ et al., 2008; BÜTTNER et al., 2013a).

Há várias medidas de centralidade, que podem ser aplicadas na fragmentação da componente gigante da rede, o que pode ser utilizado para planejar contenção de possíveis epidemias de doenças transmitidas por contato em bovinos. Basicamente, as medidas de centralidade permitem ranquear os nós da rede de acordo com a sua importância. Tais medidas de centralidade são utilizadas para determinar como desmontar a componente gigante da rede.

Isto posto, o presente estudo tem como objetivo comparar a eficiência das medidas de centralidade para o desmonte da componente gigante da rede, permitindo-nos assim a aplicação de medidas de controle epidemiológico na defesa sanitária animal, por meio das informações das Guias de Trânsito Animal (GTA) do Estado de MG, fornecidos pelo IMA (BRASIL, 2006; BRASIL, 2011).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O Brasil possui 26 estados e um Distrito Federal. Nesse trabalho, utilizamos os dados referentes ao trânsito de bovídeos do Estado de Minas Gerais, quarto maior em extensão (aproximadamente 586,5 milhões km²) e o primeiro em número de municípios ($n=853$). Faz fronteira com outros seis estados (São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia, Goiás e Mato Grosso do Sul) e o Distrito Federal. Possui doze mesorregiões e 66 microrregiões (IBGE, 2018). Composto de cerca de 325 mil propriedades cadastradas, que possuem um total de 23,5 milhões bovídeos (IBGE, 2018).

Os dados foram disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA), que é responsável pelas ações de defesa sanitária animal do Estado. São dados diários do trânsito de bovídeos em Minas Gerais entre os anos de 2013 à 2016. Esses dados são obtidos por meio da Guia de Trânsito Animal (GTA), documento oficial emitido para o controle e acompanhamento do transporte de animais.

O controle da emissão desse documento é feito via internet, por meio do programa denominado SIDADGRO (Sistema de Defesa Agropecuário). Na GTA, os estabelecimentos possuem identificação única de origem e destino onde constam: o número de animais movimentados, espécie, sexo, idade e a finalidade do trânsito. O cadastro das propriedades possuem informações de georreferenciamento, que foram utilizadas para calcular a distância entre os nós. Consideramos neste estudo apenas as GTA preenchidas completa e corretamente.

Define-se como trânsito de bovídeos o deslocamento ocorrido entre uma origem (exploração pecuária, evento pecuário e outros) e um destino (outra exploração pecuária, frigorífico e evento pecuário), seja por meio terrestre, aéreo ou marítimo, por meio de transporte ou guiado a pé.

O trânsito de animais foi dividido por categorias de procedência. As movimentações foram classificadas em: 1. entre explorações pecuárias (fazendas); 2. com destino a eventos pecuários (leilão, esporte, exposição ou feira); e 3. com destino a plantas frigoríficas (seja com serviço de Inspeção Municipal, Estadual ou Federal), como definido abaixo.

Classificação dos Estabelecimentos Pecuários:

A - Explorações Pecuárias - Fazendas

Foram classificadas como fazendas as propriedades de bovinos que criam gado com finalidade de corte ou leite. O manejo pode ser definido pelas fases: cria, recria, engorda, reprodução ou de ciclo completo. Uma fazenda pode ter mais de uma exploração pecuária

em função das características de arrendamento, meeiro, entre outras. Essas fases qualificam a forma com que o comércio de animais acontece em determinada região. Por exemplo, fazendas com fase de engorda tendem a realizar compra de animais para terminação e, conseqüentemente, venda para abate. Há situações em que a compra desses animais acontecem em locais de eventos pecuários. Devido essas características, as fazendas foram divididas em duas categorias: as que participam (mesmo que uma única vez, destinando animais a leilão ou recebendo dele) e as que não participam de eventos.

B - Locais de Eventos Pecuários

Estes recintos são caracterizados como locais, que promovem a aglomeração de animais com diversas origens para exposição ou comércio. Não obstante, a saída desses animais, na maioria das vezes, possui um número de destinatário maior, que aqueles que deram origem. Isto é, os animais ao chegarem no recinto são separados em lotes menores que são comercializados. Normalmente, o número de compradores é maior que os de vendedores. Esses locais estão distribuídos por todo o Estado. Estima-se que a cada dez (10) movimentações em Minas Gerais, três (3) são destinadas a eventos pecuários

C - Planta Frigorífica

São estabelecimentos em que realizam o abate de animais, nesse caso de bovinos.

2.1 Análise de Rede

Com base em análise de redes, podemos extrair algumas informações, que são válidas para determinar o padrão de trânsito de bovídeos e determinar riscos de transmissão de doenças em diferentes regiões ou propriedades (BAJARDI et al., 2012; DUBÉ et al., 2008; DUTTA; EZANNO; VERGU, 2014; VOLKOVA et al., 2010b). Foram feitos dois tipos de análise: 1. ranqueamento por meio de medidas de centralidades e 2. análise das cadeias de contato.

Ranqueamento de nós por meio das medidas de centralidade

Os nós (fazendas, eventos pecuários, etc) da rede foram ranqueados de acordo com algumas medidas de centralidade. As análises foram feitas usando linguagem de programação *Python* e as bibliotecas de grafos *NetworkX* e *iGraph*. A mais básica delas é o grau k_i (*degree*) do nó i , ou seja, o número de vizinhos que ele possui. Em redes direcionadas, como no caso que estamos estudando, podemos definir o *in-degree* (K_{in}), que representa a quantidade de ligações que chegam até o nó i e o *out-degree* (K_{out}), que mede a quantidade de ligações que saem do

nó i . Se esta medida for analisada, dizemos que o nó mais central da rede é o nó que possui o maior número de ligações, isto é, o maior *degree* (k_i).

A "capacidade" efetiva do nó também pode representar uma medida de centralidade. Esta medida é chamada de *betweenness* e mede basicamente o número de vezes, que um nó age como uma ponte conectando, através do caminho mais curto, dois outros nós quaisquer (NEWMAN, 2002; GIRVAN; NEWMAN, 2002; NEWMAN, 2010).

Por fim, pode-se analisar uma caminhada aleatória pela rede e definir o número de visitas, que um dado nó recebe quando um agente percorre a rede sem uma rota preferencial. Essa medida é feita por meio de uma grandeza denominada *pagerank*.

Definidas algumas medidas de centralidade e feita a classificação dos nós da rede de acordo com essas medidas, define-se que os nós com maiores valores no ranqueamento são considerados de maior importância na rede, pois podem ser considerados "super propagadores". Portanto, apresentam um alto risco potencial de transmissão em epidemias (ŠIKIĆ et al., 2013).

Identificar propriedades importantes na rede de contato, ou seja, que apresentam maior potencial para disseminar patógenos na rede é fundamental no planejamento de medidas de contenção de epidemias ou controle de endemias transmissíveis ou focos epidêmicos por meio de ação de vigilância epidemiológica pelo SVE.

Para tanto, os nós foram ordenados (estabelecimentos) em ordem das medidas de centralidade (*pagerank*, *degree*, *betweenness*) por mês (i). Então, foram feitas as remoções desses vértices em dois meses consecutivos (i e $i+1$) e os resultados foram comparados.

O procedimento realizado foi o seguinte: construímos a rede, calculamos o tamanho da GC, removemos um determinado nó definido de acordo com a medida de centralidade utilizada (nos meses consecutivos) e repetimos o procedimento até que 10% (valor arbitrário) dos nós fossem removidos.

Além disso, calculamos a distância em linha reta, em Km, entre dois pontos com base no georreferenciamento dos nós. A distância diária de movimentação do gado foi utilizada para verificar o quão distante os animais são transportados.

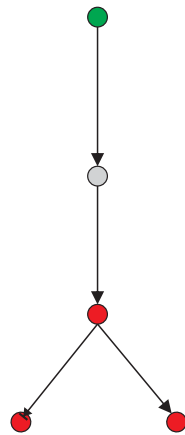
Cadeia de contato

Outra ferramenta extremamente utilizada no controle de doenças e na otimização de recursos de vigilância de surtos epidêmicos é a chamada cadeia de contato. Dado uma certa propriedade rural, podemos rastrear o fluxo de animais provenientes de seus contatos de chegada (*inGoing chain*) e também o movimento de animais que saem pelos seus contatos de saída

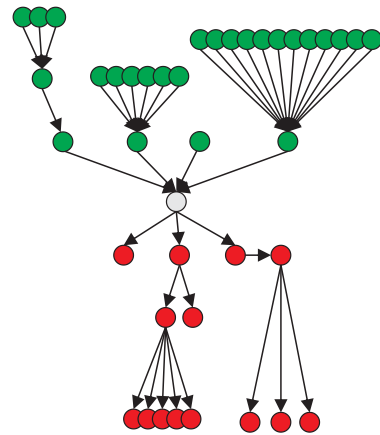
(*outGoing chain*). Essas cadeias de contato são medidas levando-se em consideração o aspecto temporal do movimento de bovinos, permitindo identificar fazendas que enviaram e/ou receberam animais infectados, por exemplo. Ou seja, fornece informações que podem ser relevantes para o controle de doenças ou para intervenções estratégicas durante uma investigação epidemiológica, a exemplo de uma epidemia. Na figura 21 mostramos um exemplo simples e outro mais sofisticado de uma cadeia de contato (NÖREMARK et al., 2014). No exemplo, o ponto de partida é o círculo cinza em que os círculos verdes correspondem aos contatos de chegada (*inGoing chain*) e os de cor vermelha, os de saída (*outGoing chain*).

Figure 21 – Exemplo de cadeia de contato simples e uma complexa.

(a) Cadeia simples.



(b) Cadeia complexa.



O nó em análise é o cinza, os verdes representam a cadeia de contato de chegada e os vermelhos, os de saída. Utilizando o pacote no R *Epicontacttrace*.

Com o objetivo de identificar a cadeia de contato entre os nós (contatos diretos e indiretos de chegada e de saída) em um determinado intervalo de tempo, utilizou-se um pacote oferecido no CRAN do programa R chamado *Epicontacttrace* (NÖREMARK et al., 2014). Para esse estudo, foi utilizado o intervalo de sete (7) dias (semanal). Para cada dia foi construída uma cadeia de contato resultando 365 observações por ano, isto é, utilizou-se cada dia para construir o intervalo de sete dias, sendo observado três dias antes e depois do dia analisado. Os valores foram plotados em gráficos para verificar a distribuição do tamanho e a frequência das cadeias de contato.

3 RESULTADOS

Serão apresentados os resultado das análises descritivas do trânsito de bovídeos em Minas Gerais, Brasil - 2013 até 2016, seguidos das análises de rede.

Parte dos resultados das análises descritivas foram apresentados no artigo anterior sobre padrões de trânsito de bovídeos em Minas Gerais.

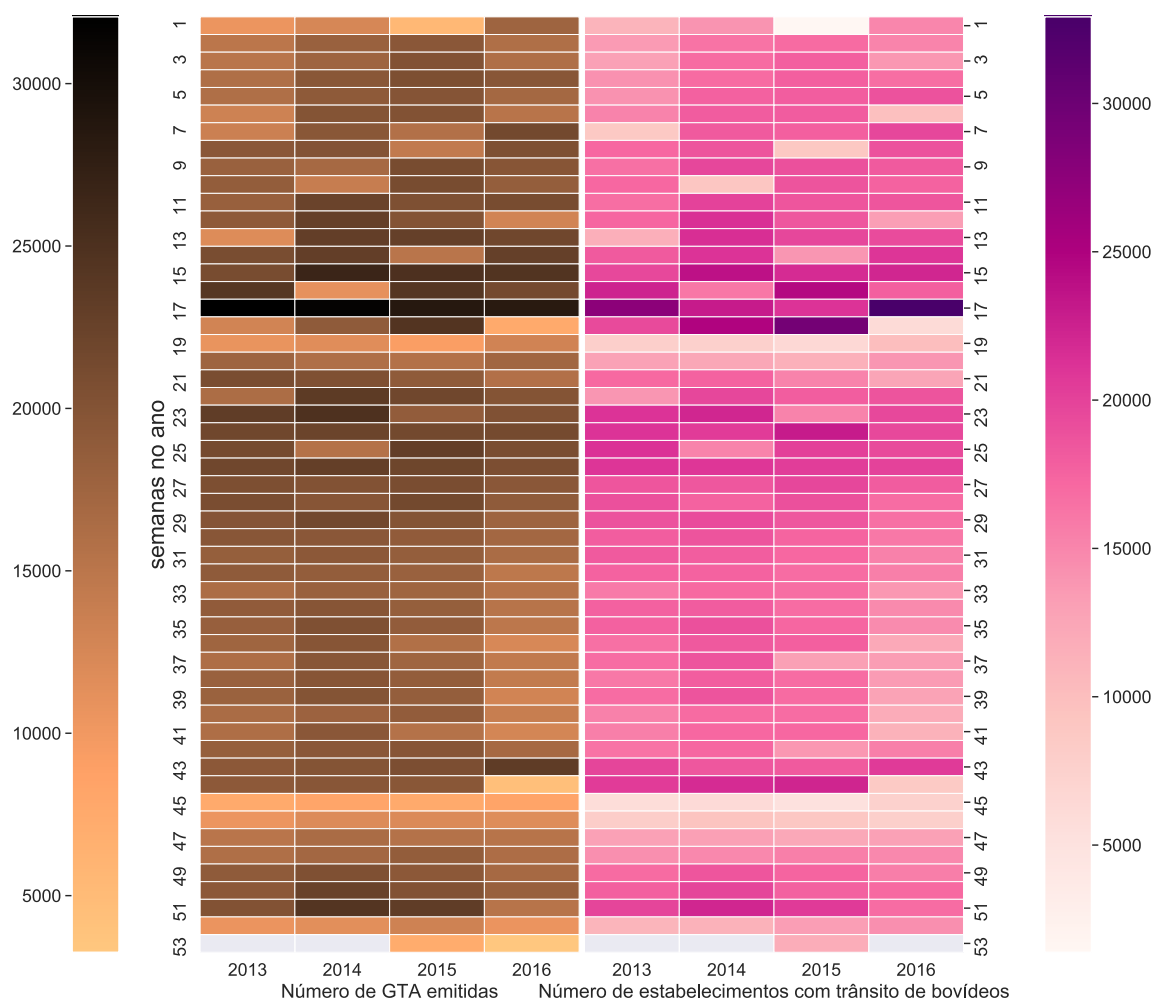
Dos 420.000 estabelecimentos cadastrados (fazendas, local de evento pecuário e frigoríficos) cerca de 190.000 apresentaram ativos, em média, anualmente. Totalizando 3,784 milhões de GTA emitidas (média de 946 mil) nas diversas finalidades, sendo o número médio anual de cabeças movimentadas foi de 16,282 milhões.

Foi observada sazonalidade de seis (6) meses no número de nós ativos, . Sendo que coincidente com o intervalo entre as campanhas de vacinação contra febre aftosa (maio e novembro). Ainda, que o pico que antecede o mês de maio apresentou maior número de nós ativos se comparado com o pico que antecede o mês de novembro.

Observando o comportamento das fazendas, àquelas que participam de eventos pecuários apresentaram maior número de vezes atividade ao longo do ano.

Como forma de entender melhor a sazonalidade, agrupou-se os valores diários em intervalos de sete dias e comparando o número de documentos emitidos (GTA) com a quantidade de nós ativos que pode ser visto na figura 22. Para investigar tal fenômeno, organizou-se a emissão de GTA em conjuntos semanais, contabilizando as 52 semanas de cada ano de 2013 a 2016, bem como o número de nós ativos em cada conjunto (figura 22).

Figure 22 – Comparativo entre o número de GTA emitidas (em tons laranja) com o número de nós ativos (em tons rosados) considerando $\Delta t=07$ dias, 2013 - 2016, Minas Gerais.



O agregar em intervalos de sete dias evidenciou os picos, que formaram nos períodos que antecederam as campanhas de vacinação contra febre aftosa no mês de maio. Mostrou-se que esse período possui não somente maior número de movimentações (entende-se número de GTA) e número de nós ativos.

3.2 Análise de redes

Observou-se que os padrões da rede de trânsito demonstraram comportamento semelhante ao longo dos anos. Portanto, escolheu-se de forma arbitrária, o ano de 2014 para apresentar os resultados desse artigo. Serão apresentados: 1.um comparativo das cadeias de contato entre fazendas que realizam participação em eventos pecuário com aquelas que não participam; 2.a fragmentação da componente gigante por meio das medidas de centralidades com o objetivo de conhecer a efetividade das mesmas como ferramenta para identificar propriedades com

maior risco para propagação de doenças infecciosas e; 3.a distância em que ocorre o trânsito de bovídeos, comparando os propósitos que motivou o deslocamento desses animais: cria, recria, engorda, reprodução ou abate e leilão.

3.2.1 Cadeia de Contato

A construção da cadeia de contato, em intervalos de sete dias, possibilitou ver a flutuação do tamanho da cadeia no mês. Assim, foi possível identificar momentos em que há maior número de nós interconectados, que gera cadeias longas, ou seja, caminhos contínuos que permitem a propagação.

O fato de não participar diretamente de eventos não impede as fazendas de possuírem cadeias longas, tal qual aquelas que participam de eventos (figura 23), porém, frequência muito menor (figura 24). As cadeias *inGoing* não apresentaram diferença visual nos tamanhos, mas as cadeias *outGoing* apresentaram-se maiores as que participam de eventos. Todavia, ao observar a frequência (figura 25), fica nítido o quanto as fazendas que participam de eventos são mais ativas com cadeias de contato longas em maior frequência, que as que não participam. As fazendas que não participam de eventos tendem a possuir menor atividade no transporte de animais (figura 24).

Outro ponto a se observar, é o fato de que no mês, que antecede a campanha de maio, há uma redução nos tamanhos das cadeias, a medida que aproxima do final do mês. No mês de março, há cadeias de contatos de tamanho maiores, apesar de não ter a maior quantidade de nós ativos no período. Esse comportamento necessita ser melhor analisado em novos estudos.

Figure 23 – Comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2014, Minas Gerais, Brasil.

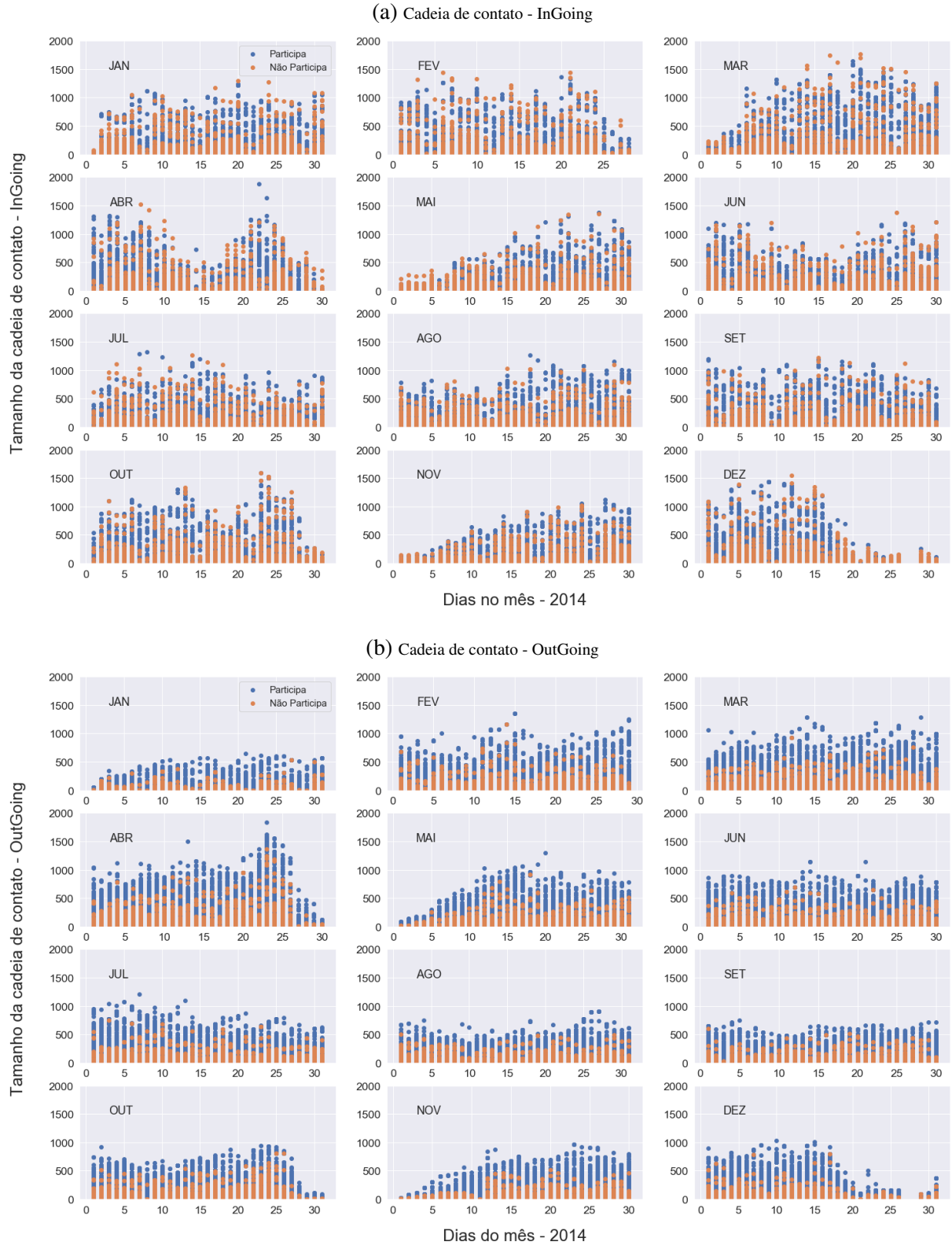


Figure 24 – Boxplot comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2014, Minas Gerais.

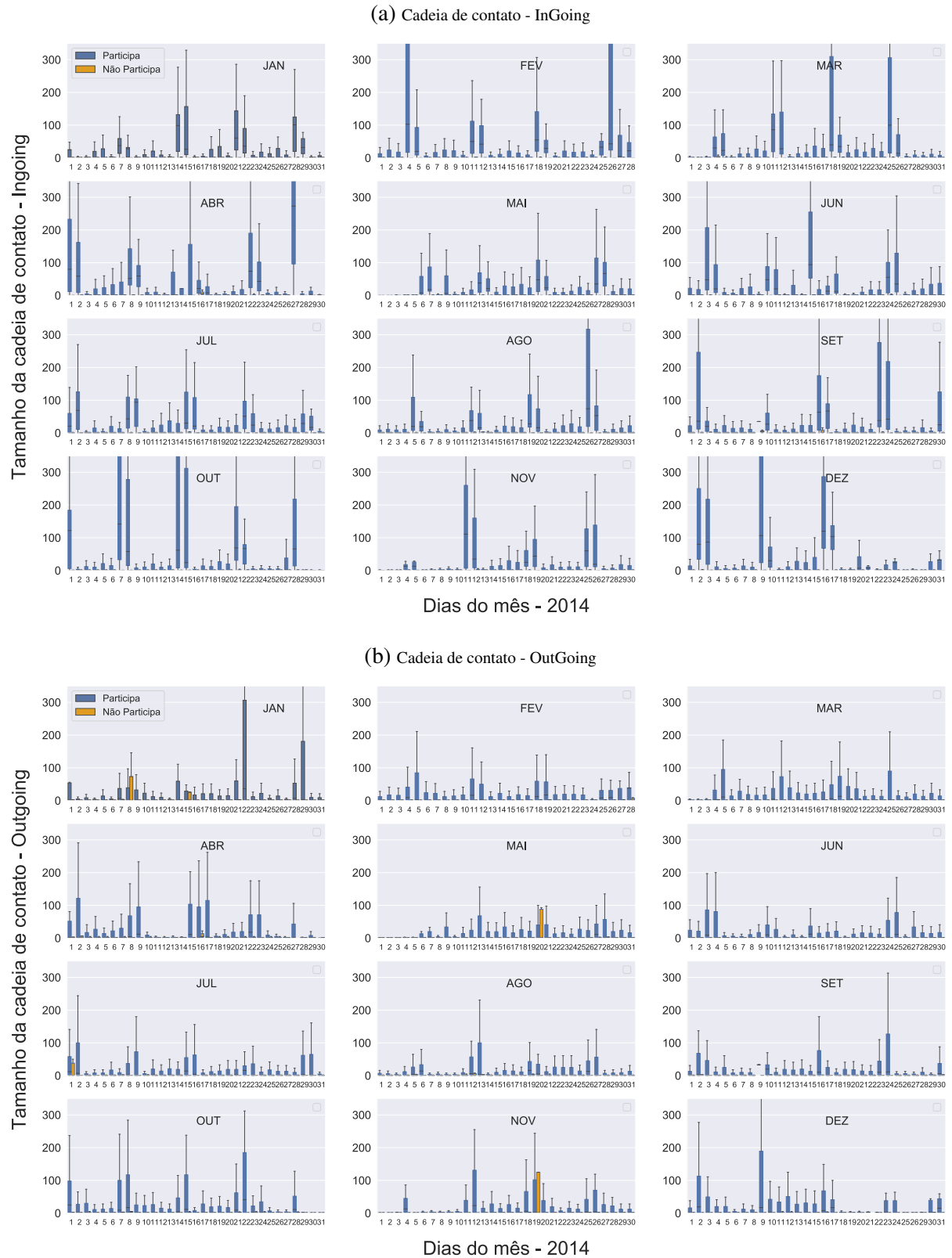
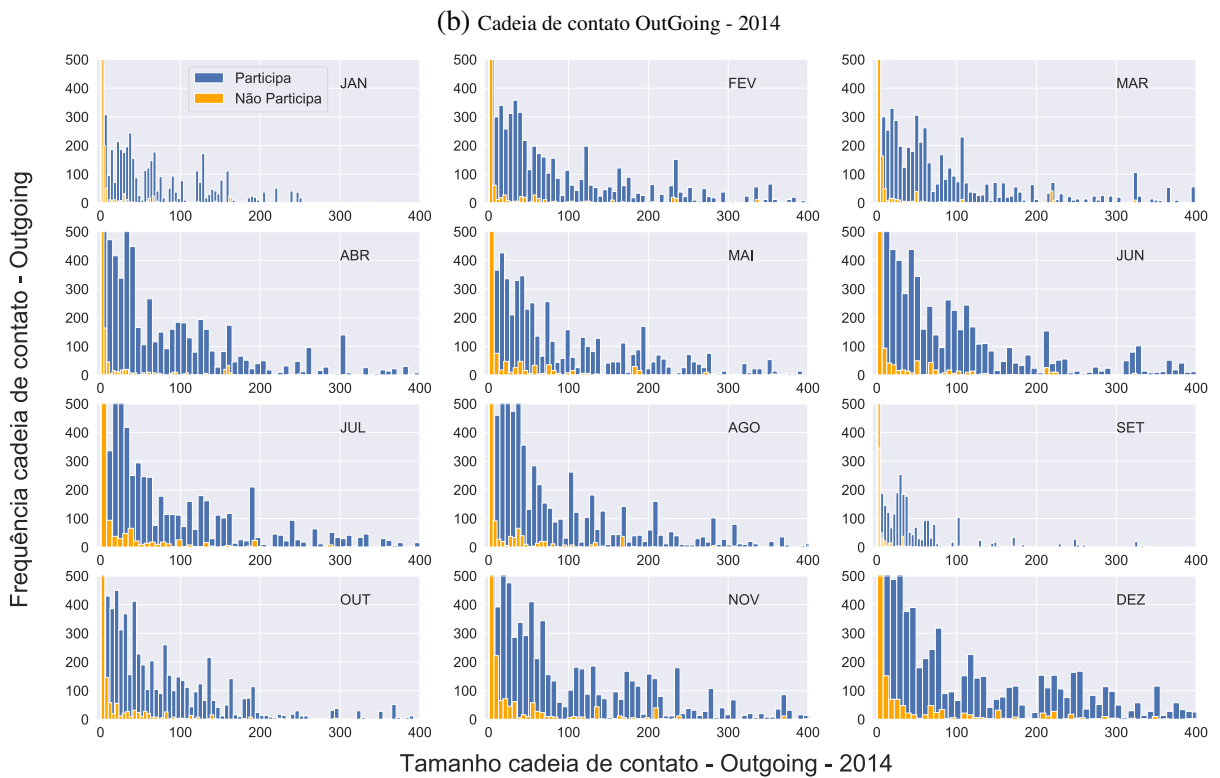
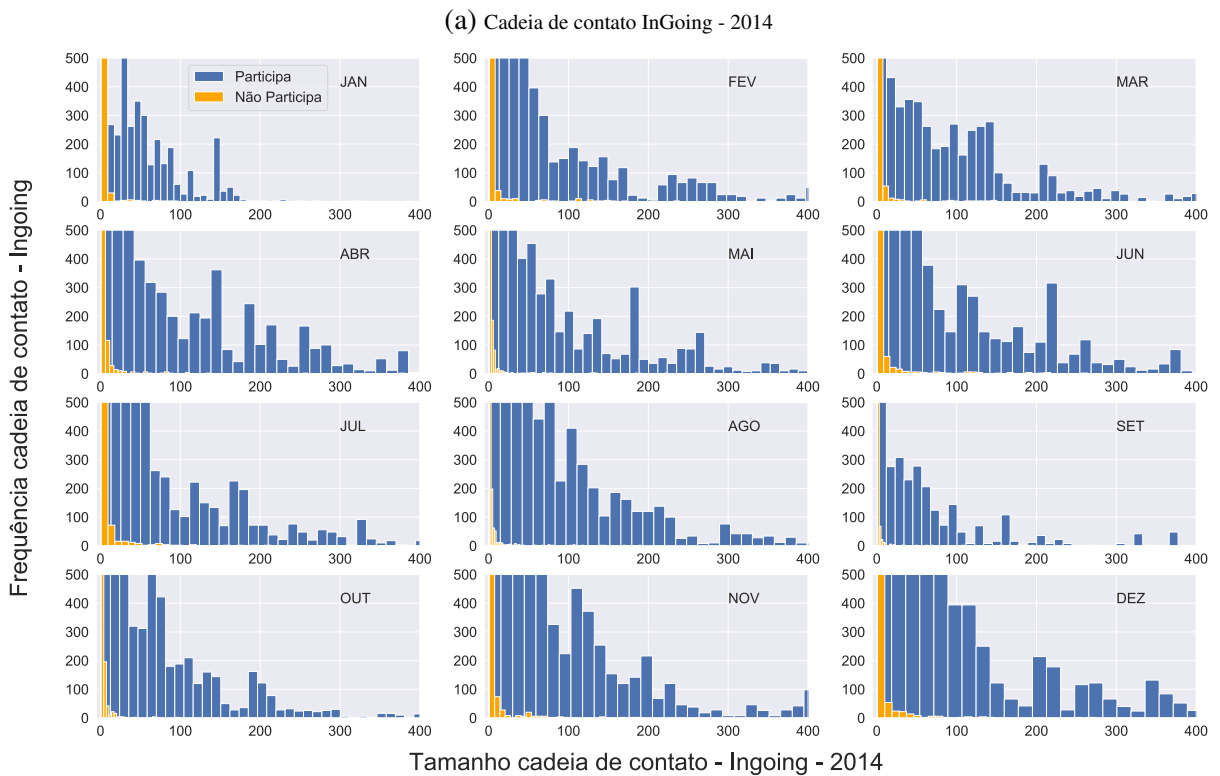


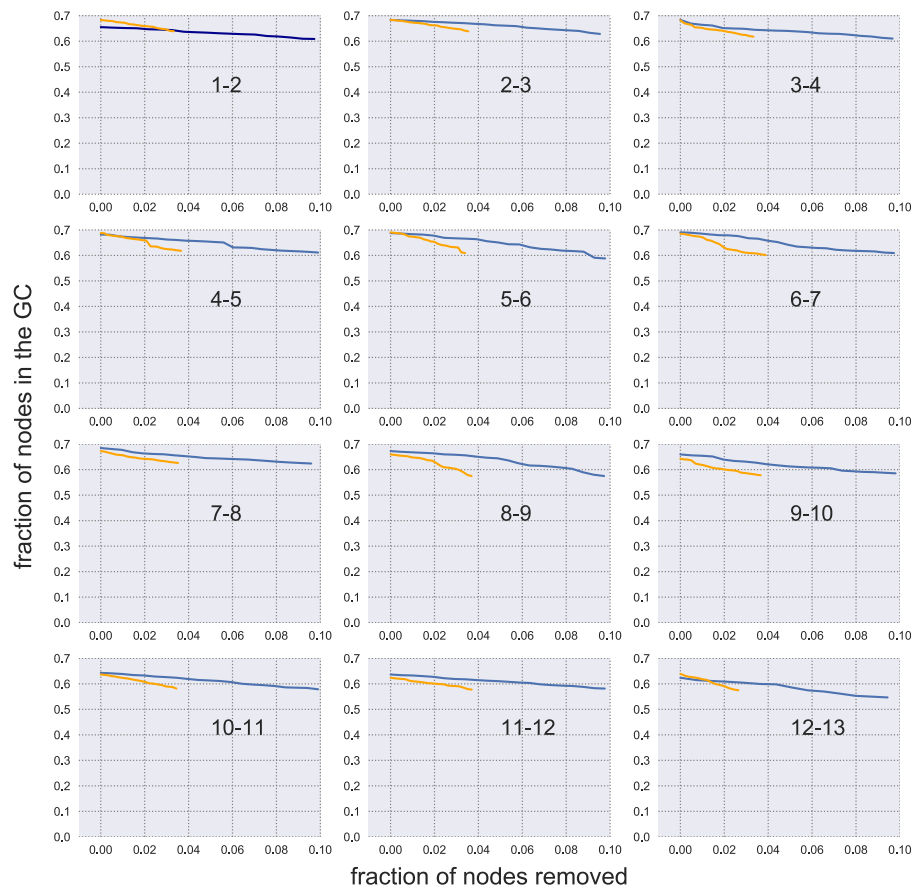
Figure 25 – Frequência da cadeias de contato (a) InGoing e (b) OutGoing com $\Delta t = 7$ dias, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, 2014, Minas Gerais.



3.2.2 Fragmentação da Componente Gigante

Uma das formas de verificar a efetividade de uma medida de centralidade na identificação de nós influentes é a fragmentação da GC. Se realizado de forma aleatória não se consegue o objetivo proposto (figura 26). Em que comparou-se entre dois meses consecutivos a fragmentação da componente gigante. A listagem de nós foi extraído no mês i e extraídos ao mesmo tempo no mês i e mês $i + 1$. Sendo a linha laranja referente ao mês i e o azul, o mês $i + 1$. O ideal é reduzir a proporção de nós presentes na GC a quase zero, ou seja sua fragmentação.

Figure 26 – Fragmentação da componente gigante por retirada dos nós aleatoriamente, 2014, Minas Gerais.

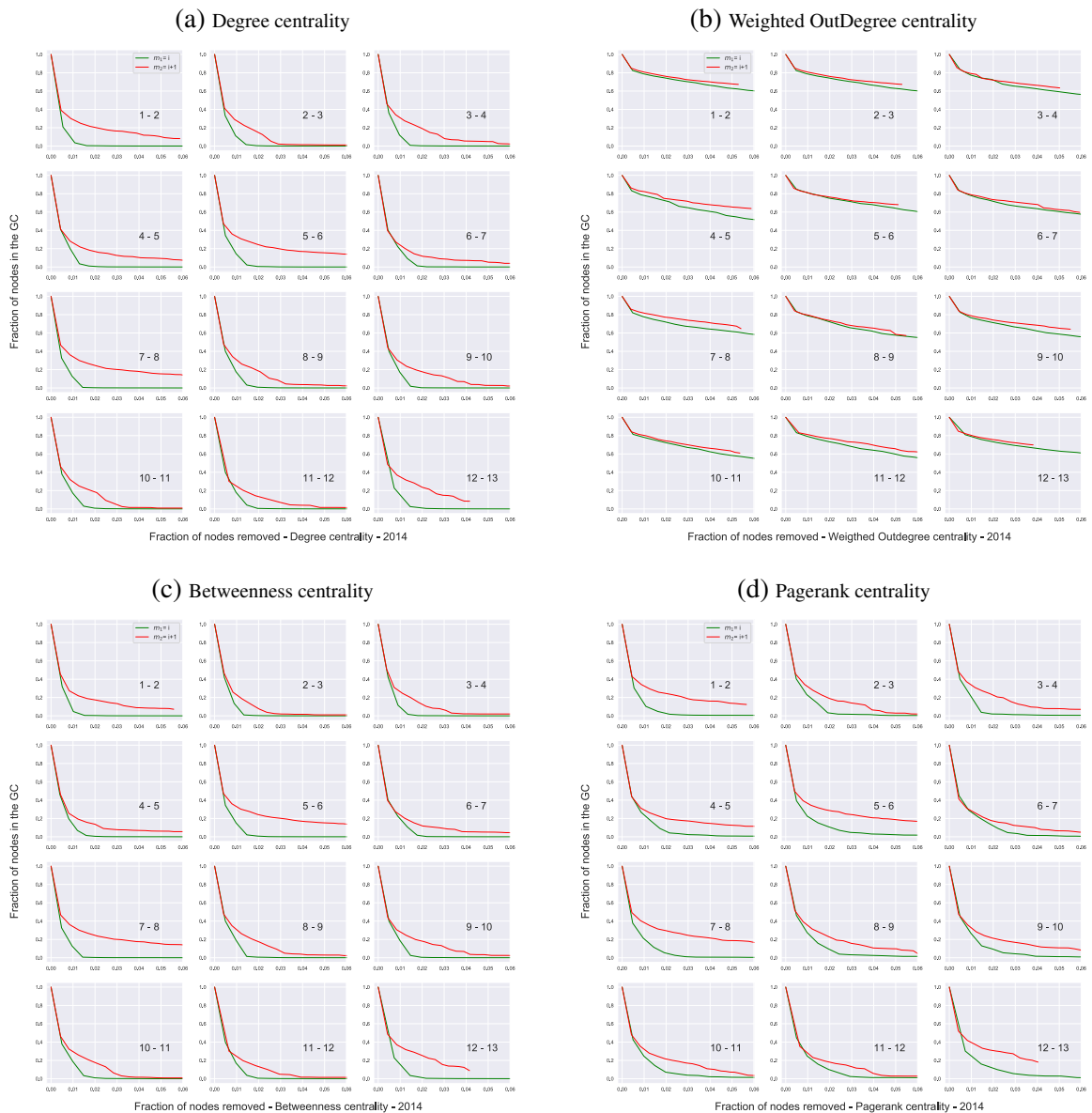


Dessa forma, fica clara a necessidade de ranquear os nós da rede de acordo com a sua importância ponderada por meio de medidas de centralidade. Tais nós foram removidos continuamente do mês em questão i e também do mês posterior $i + 1$, até que um total de 10% dos nós da rede fossem retirados. A figura 27 mostra que a fragmentação do GC melhora ao promovermos tais ataques direcionados na rede. Ainda, que é suficiente retirar apenas 6% dos nós mais centrais da rede para que haja efetividade no desmonte do GC.

As medias de centralidade utilizadas para promover a fragmentação da rede foram: *weighted degree* (número total de estabelecimentos com que o nó teve contato, ponderado pelo número de cabeças movimentados), *weighted indegree* (número de contatos que recebeu determinado nó, ponderado pelo número de cabeças movimentados), *weighted outdegree* (número de contatos que saiu de um determinado nó, ponderado pelo número de cabeças movimentados), *PageRank* (identificar a importância do nó relacionada com a dos seus vizinhos), *Betweenness* (proporção de todos os menores caminhos entre os nós i e j que passa pelo nó m dividido pelo menores caminhos entre os nós i e j) e *closeness* como detalhada na seção de redes na primeira parte.

A maior parte apresentou resultados satisfatórios para o desmonte da GC, exceto a *closeness* e *weighted OutDegree*. O resultado da medida *weighted OutDegree* pode ser vista na figura 27b. O aspecto satisfatório é a condição em que a proporção de nós presentes na GC foi reduzida a porcentagem menor que 10% (valor aleatório escolhido) e aquelas que não foram satisfatórias apresentaram uma porcentagem de nós presentes na componente gigante maior que 10%. Fato também observado quando a remoção dos nós acontece de forma arbitrária (figura 26).

Figure 27 – Fragmentação da GC em meses consecutivos no ano de 2014, Minas Gerais.



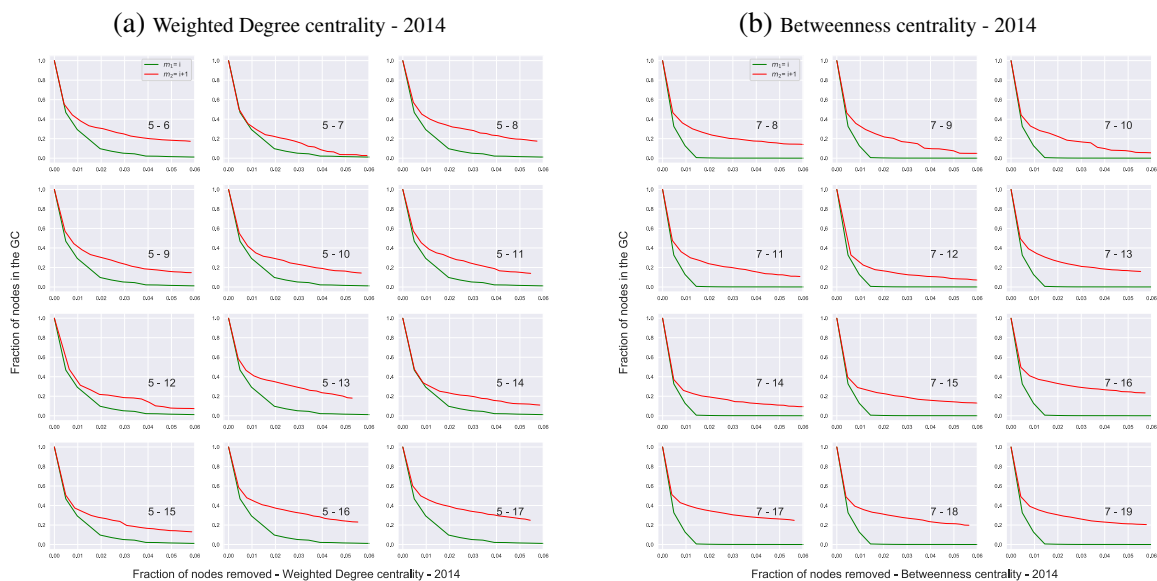
Finalmente, foi feita a análise de quão duradoura é a eficiência dessa estratégia. Para tanto, seguiu-se o mesmo caminho da análise, isto é: um determinado mês foi fixado, os nós foram ranqueados de acordo com as medidas de centralidade e, como feito anteriormente, os nós mais centrais foram removidos sucessivamente até que 10% do total de nós fosse retirado. Porém, ao analisar os 12 meses subsequentes, foram removidos os mesmos nós que já haviam sido previamente classificados no primeiro mês. Esse diagnóstico foi feito para avaliar se, a partir de uma informação prévia (dados já cadastrados de um determinado mês), pode-se garantir a proteção da rede nos meses posteriores. Caso seja possível, dessa forma, pode-se

extrapolar para saúde animal e prever a provável propagação de determinada doença, tomando ações para contê-la.

Porém, ao analisar os 12 meses subsequentes, foram removidos os mesmos nós que já haviam sido previamente classificados no primeiro mês. Esse diagnóstico foi feito para avaliar se, a partir de uma informação prévia (dados já cadastrados de um determinado mês), pode-se garantir a proteção da rede nos meses posteriores. Caso seja possível, dessa forma, pode-se extrapolar para saúde animal e prever a provável propagação de determinada doença, tomando ações para contê-la.

Na figura 28, nota-se que ainda assim há o desmonte da GC, porém, não ocorre de maneira tão eficiente a partir de 6 meses, pois observamos que ainda permanece cerca de 15% a 20% dos nós conectados na GC. Dependendo do mês e do tipo de doença a ser controlada, isso pode não ser suficiente.

Figure 28 – Fragmentação da GC comparando um mês (i) com os demais 12 meses ($i + n$; $n=1, 2, 3, \dots, 12$), para os anos de 2014, Minas Gerais.



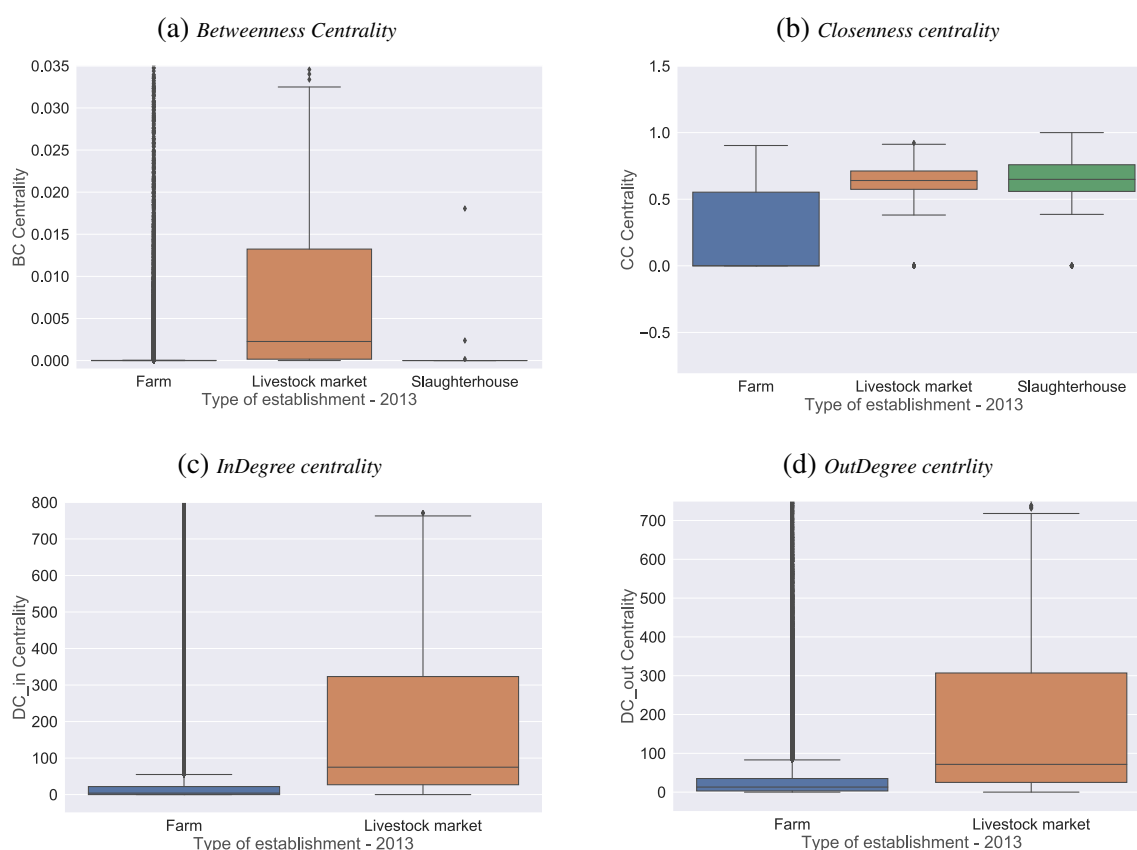
3.2.3 Comparação das medidas de centralidade por tipos de estabelecimentos

A figura 29 apresenta a distribuição das medidas de centralidades (*Betweenness centrality*, *Closeness centrality*, *InDegree centrality* e *OutDegree centrality*), segundo os tipos de estabelecimentos (fazenda, local de evento pecuário e Frigorífico). Demonstra que os locais de eventos pecuários possuem a característica de serem o caminho mais característico de ligação entre dois outros nós quaisquer da rede.

Quanto a medida de centralidade *closeness centrality*, os locais de eventos pecuários e frigoríficos apresentam semelhança na distribuição conforme (figura 29b). Nessa medida, o quanto os nós estão próximos dos demais nós da rede, destaca-se novamente os locais de eventos pecuários, assim como os locais de abate, como aqueles nós com maior proximidade dos demais nós na rede se comparado com as fazendas. Essa proximidade se dá não geograficamente e sim pela distância entre os nós nas ligações.

Quando considera-se o movimento de animais entre estabelecimentos, as medidas mais diretas de entrada e saída - (figuras 29c e 29d) os locais de eventos apresentam valores acentuados, evidenciando que os contatos diretos nesses estabelecimentos são, em média, bem mais elevados que nas fazendas.

Figure 29 – Boxplot das medidas de centralidade (a) *Betweenness centrality*, (b) *Closeness centrality*, (c) *InDegree centrality*, (d) *OutDegree centrality* segundo o tipo de estabelecimento, 2013, Minas Gerais.



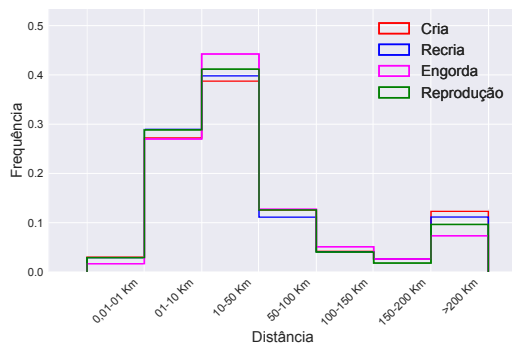
3.2.3 Distância Geográfica entre os nós: alta interconexão local

Nessa seção será analisada as distribuições das distâncias geográficas entre um único deslocamento, ou seja, a distância geográfica entre a propriedade de origem e a propriedade

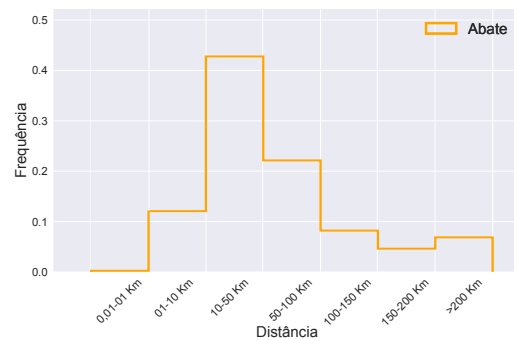
de destino. A figura 30, mostra-se um histograma da frequência da distância entre dois nós conectados da rede. Apesar do trânsito entre fazendas ter diferentes finalidades, isto é, cria, recria, engorda e reprodução, eles apresentaram praticamente a mesma distribuição de distância. Observa-se também uma alta interconexão local uma vez que cerca de 70% do movimento de bovinos ocorre até 50 Km de distância da origem.

Figure 30 – Distância de transporte de bovídeos, na semana, 2014, Minas Gerais.

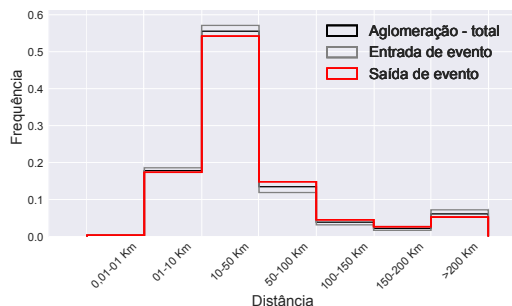
(a) Transporte com entre propriedades (finalidades: cria, recria, engorda e reprodução).



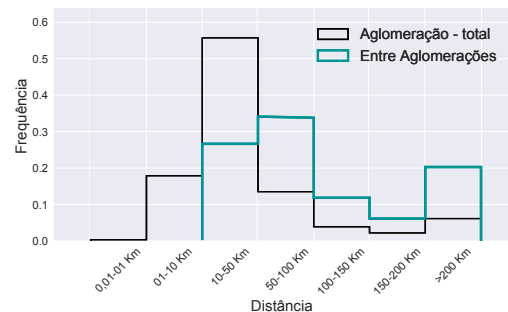
(b) Transporte com finalidade de abate.



(c) Transporte com finalidade de participar de eventos pecuários.



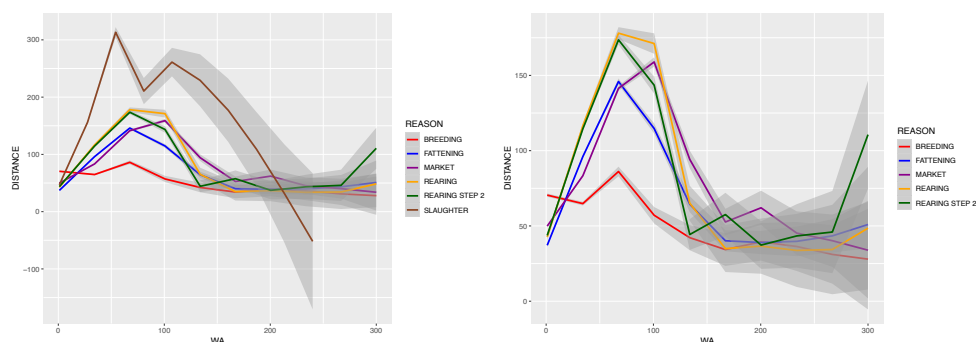
(d) Transporte entre eventos pecuários.



Na figura 31 pode-se observar a distribuição da distância em função da quantidade de bovídeos transportados considerando diferentes destinos e finalidades: 1.fazendas: cria, recria, engorda e reprodução; 2.estabelecimentos: frigorífico, locais de aglomeração como feira/leilão. Destacam-se as finalidades de abate e reprodução que apresentaram tendências diferentes das demais, por se tratarem de eventos bastante característicos. Os dados possuem uma margem de erro de 95% de confiança, que aumenta a medida que o tamanho dos lotes transportados aumentam. Nota-se, que prevalece o transporte em distâncias curtas, quando se trata de cargas menores. Porém, a distância atinge um máximo (aproximadamente 150 Km) quando se trata do

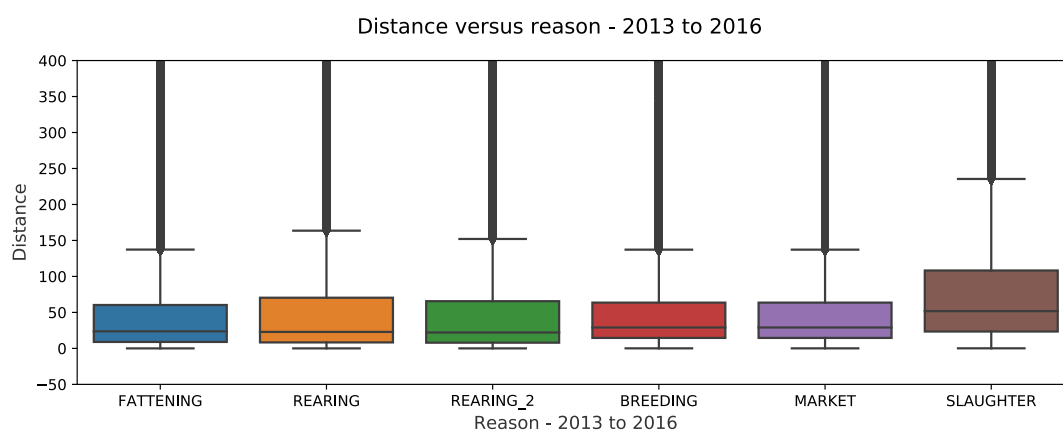
transporte de lotes próximos a 80 cabeças. Observa-se também, uma tendência em diminuir a distância, a medida em que o tamanho do lote transportado aumenta.

Figure 31 – Distribuição da distância (*DISTANCE*) versus quantidade de bovídeos transportados (*WA*) nas diversas finalidades de trânsito, 2013 - 2016, Minas Gerais.



O trânsito de bovídeos separado por finalidade apresentaram a seguinte distribuição de distâncias medianas percorridas: cria com mediana 22,41 Km (IQR=7,97 - 82,09), recria com mediana 21,67 Km (IQR = 7,62 - 80,07), engorda com mediana 23,37 Km (IQR = 8,65 - 69,54), reprodução com mediana 21,06 Km (IQR = 7,26 - 66,076), abate com mediana 51,81 Km (IQR = 23,45 - 83,72) e aglomeração com mediana 29,03 Km (IQR = 23,45 - 83,72) (figura 32).

Figure 32 – Boxplot da distância (*DISTANCE*) nas diversas finalidades de trânsito, 2013 - 2016, Minas Gerais.



4 DISCUSSÃO

A estratégia de identificar nós influentes através de medidas de centralidade têm sido utilizada em muitos trabalhos teóricos e aplicados, pois se trata de uma técnica eficiente no controle de disseminação de doenças (KITSACK et al., 2010; CHEN et al., 2012; ZHANG et al., 2013; WEI et al., 2013; LIU; REN; GUO, 2013; DU et al., 2014; LIANG; LI, 2014;

BAE; KIM, 2014; FRÖSSLING et al., 2014; GAO et al., 2014; LI et al., 2014; TANG et al., 2015; FU; HUANG; SUN, 2015; GANDHI; MURUGANANTHAM, 2015; LI et al., 2016; MA et al., 2016; ZHU et al., 2016; TAGO et al., 2016; BIAN; HU; DENG, 2017; BAO et al., 2017). E na área da veterinária, identificar esses tipos de nós significa identificar fazendas que possuem um alto potencial de propagar determinada infecção mais rapidamente. As medidas de centralidade em redes são critérios utilizados para classificar os nós (estabelecimentos) de acordo com o grau de importância na introdução e disseminação de doenças, (DORJEE et al., 2013; BÜTTNER et al., 2013a; RAUTUREAU; DUFOUR; DURAND, 2012; NATALE et al., 2009; SÁNCHEZ-MATAMOROS et al., 2013; BÜTTNER; KRIETER; TRAULSEN, 2015; BAJARDI et al., 2012; VANDERWAAL et al., 2016).

A ideia central é desmontar a componente gigante da rede através de ataques direcionados aos nós mais "importantes". Tal importância é mensurada de acordo com as medidas de centralidade. Considerando o raciocínio para o controle de doenças transmissíveis e observando os nós como fazendas, remover o nó da rede, significa eliminar o risco da transmissão de patógenos.

Isso poderia ser feito por interdição, que removeria literalmente esse nó da rede, ou por meio de vacinação ou outras medidas, que possam ser tomadas *in loco*, que mitiguem o risco, dependendo do tipo de transmissão.

As diretrizes da OIE para o desenvolvimento e implementação de um programa de controle de doenças animais nos países, considera que deve incluir objetivos, políticas e estratégias adaptadas às necessidades nacionais. Alguns fatores devem ser considerados na definição dos objetivos dos programas, dentre eles a movimentação animal, pontos críticos e mercado (OIE, 2014).

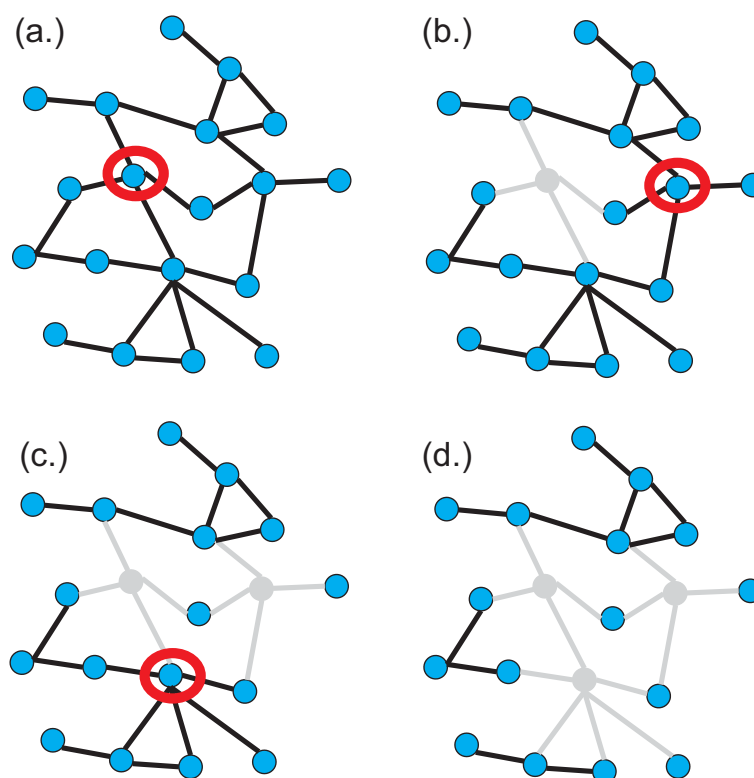
Os resultados demonstraram que interdição de fazendas aleatórias não representa uma estratégia eficiente, uma vez que seria necessário o bloqueio de um número significativo de estabelecimentos (cerca de 80%) para que a componente gigante possa ser desestruturada e, portanto, isso seria inviável para que uma eventual epidemia fosse contida, do ponto de vista econômico e prático.

Uma maneira efetiva de identificar propriedades de maior risco sanitário é por meio de ataques à rede que provocam a fragmentação da componente gigante da rede. Toda rede é suscetível a ataques ou danos. Em uma rede elétrica, por exemplo, o rompimento de apenas um cabo pode provocar um imenso *blackout*. Neste contexto, pode-se classificar as redes em dois

tipos: 1. Conectadas, se para quaisquer dois nós na rede, existe um caminho entre eles, ou 2. Fragmentadas, caso contrário.

Assim, define-se uma componente da rede como os subconjuntos de nós tais que exista pelo menos um caminho entre quaisquer dois nós que pertençam a esse grupo. Assim, redes conectadas possuem apenas uma componente, enquanto que redes fragmentadas possuem pelo menos duas. A GC de uma rede é a componente que possui o maior número de nós. Ao remover, de maneira aleatória ou de maneira pré-definida, alguns nós da rede, consegue-se fragmentar a GC, como exemplificado na figura 33.

Figure 33 – Fragmentação da componente gigante. Adaptado Barabasi (2016)



Tem-se observado em estudos recentes (BÜTTNER et al., 2013b; DUTTA; EZANNO; VERGU, 2014; LENTZ et al., 2016; MOTTA et al., 2017) que, a remoção de nós que apresentam um maior valor de alguma medida de centralidade citada anteriormente, aumenta a rapidez e efetividade na fragmentação da componente gigante. Considerando a sanidade animal, essa desfragmentação seria o equivalente a efetiva ruptura do espalhamento da doença infectocontagiosa na rede de propriedades da cadeia animal. Além disso, tal estratégia permite o monitorea-

mento, de maneira mais efetiva, tais propriedades comportam-se como "super propagadores" de epidemias, que merecem maior vigilância e controle.

Planos de contingência de epidemias devem ser preparados pela Autoridade Veterinária e devem ter como principais componentes: 1. cadeia de comando estabelecida, 2. sistemas para detecção e confirmação rápida OIE; 3 procedimentos de investigação de surto; 4. medidas de contenção rápidas (por exemplo, controle de movimento, desinfecção, vacinação, abate); e 5. estratégia de comunicação (OIE, 2014). Dessa forma fica claro, que para uma contenção rápida é necessário o controle do movimento e, mesmo as outras medidas também podem ser racionalizadas, se dirigidas às propriedades que têm maior risco de espalhamento.

Agregar as funcionalidade de cada medida, aumenta a capacidade de identificar nós influentes na rede com finalidade de diagnosticar e monitorar propriedades prioritárias no processo de transmissão de doenças. Baseado nessa justificativa, fica clara a importância de se comparar as medidas de centralidade para identificar as que são mais efetivas na fragmentação da GC. Essas poderão ser utilizadas para realizar o monitoramento identificando propriedades de maior risco sanitário e que devem merecer ações prioritárias de monitoramento e intervenção pelo Serviço Veterinário Oficial.

Observou-se que o número de nós ativos ao longo do ano, ou seja, os estabelecimentos que participaram da movimentação de gado, apresentaram uma periodicidade em torno de seis meses, já Bajardi et al. (2011), que estudaram a rede de trânsito de bovinos na Itália em 2007, observaram uma estabilidade nos dados analisados tanto na escala $\Delta t = 01$ dia e na de $\Delta t = 07$ dias. Além disso, também apresentou uma redução no número de nós ativos no meio do ano (junho-agosto). Já o que observamos em MG foi um aumento do número de nós ativos nos primeiros quatro meses. Na escala de um dia, os nós ativos apresentam valores próximos, exceto nos dias que antecedem etapas de vacinação. No início, isso pode ser justificado pela legislação vigente, que determina que os animais não podem transitar segundo a idade: 1 - animais primos vacinados devem aguardar 15 dias; 2 - aqueles que recebem a segunda dose (participa pela segunda vez na campanha) 07 dias após a vacinação. Também não podem ser movimentados animais sem vacinação após o início da campanha (BRASIL, 2007). A agregação por semana ($\Delta t = 07$ dias) evidencia a sazonalidade apresentada na distribuição diária dos nós ativos em $\Delta t = 01$ dia (Figura 8).

Observou-se, ainda, que tanto a emissão de GTA, número de nós ativos e a proporção de nós na GC apresentaram quantidades maiores na semana 17 (Figuras 22a, 8, 10). O tamanho da

cadeia de contato mensurada diariamente foi reduzido na semana 17 (figura 8, que antecede a campanha de vacinação. Isso significa, que essa semana necessita de atenção especial do SVE. Pois, a quantidade de nós ativos aumentou mas a cadeia de contato diminuiu. O que fornece evidências de que o menor caminho médio entre os nós da rede está diminuindo, proporcionando um cenário onde a disseminação de patógenos é favorecida. Determinando um aumento na vulnerabilidade dos estabelecimentos do Estado nessa semana (OIE, 2018).

Outra questão importante na análise de redes de trânsito é a determinação de fazendas que participam de eventos pecuários. As fazendas que participaram de evento pecuário, em algum momento, apresentaram tamanhos de cadeias de contato semelhante as que não participam, porém, com frequência superior, principalmente, com números de contatos indiretos superiores a 50 nós (figura 23). Quando animais infectados (fontes de infecção) são transitados de um estabelecimento para outro, e na sequência, para um terceiro e assim por diante, esses atos criam um caminho para uma potencial via de transmissão de patógenos. Isso chama a atenção para uma necessidade maior de monitoramento do SVE sobre essas propriedades. Os autores, Dubé, Ribble e Kelton (2010) analisaram o trânsito de bovinos leiteiros destinados ao comércio em dois estabelecimentos de evento pecuário em Ontário, Canadá e concluíram que esses estabelecimentos possuem alto potencial de disseminar doenças. O fato de animais de um vendedor ser comprado por mais de um criador caracteriza uma possível forma de propagar doenças.

Em Pernambuco, Silva Júnior et al. (2017), em estudo sobre trânsito de bovinos em estabelecimentos de eventos pecuários, demonstraram que o trânsito com finalidade aglomeração foi o segundo maior, representando 28,77% do total no período de 2012 a 2013. Afirmaram que a ação do SVE devem ser priorizadas e concentradas nesses estabelecimentos para auxiliar na prevenção e mitigação de riscos de disseminação de doenças e, portanto, tornar o trabalho do SVE mais eficiente.

Em MG, cerca de 31,77% do trânsito total foi destinado a eventos pecuários no período de 2013-16. Além disso, vimos que fazendas que participam de tais eventos possuem maior número de contatos indiretos. Isso demonstra como é fundamental acompanhar os estabelecimentos que estão envolvidos em atividades de aglomeração em MG.

Na Grã Bretanha, Robinson e Christley (2007) descreveram o trânsito de bovinos envolvidos em leilões durante o período de 2002 a 2004. Assim também, Vidondo e Voelkl (2018), em que analisaram o impacto do comércio de bovinos nos Alpes suíços, apontaram os eventos de leilão como sendo aqueles que oferecem maior risco sanitário na disseminação de patóge-

nos. Também Identificaram características diferentes nos tipos de comércio de animais e no risco sanitário associado a esses estabelecimentos . Utilizar redes para estimar riscos associados ao transporte com finalidade de aglomeração pode melhorar o serviço de vigilância. A clara identificação de que fazendas que participam de eventos pecuários possuem perfis diferenciados, daquelas que não participam, permite tomadas de decisão mais eficazes e econômicas ao Serviço Oficial.

A distância percorrida entre as origens e os destinos no transporte de animais também foi objeto de estudo deste trabalho. Observamos que a maioria da movimentação ocorre entre 10 e 50 Km. Foi observado no Reino Unido Christley et al. (2005) onde os autores analisaram o trânsito de bovinos durante quatro semanas encontraram uma distância mediana de 3 Km, sendo que as distâncias mais comuns se encontram entre 10 e 100 Km. (VERNON, 2011). Em Portugal, na região de Azores e Madeira, a análise realizada pelos autores Baptista e Nunes (2007) mostrou que também prevalece a curta distância no transporte de bovídeos, cerca de 35 Km. Na Bélgica, Ensoy et al. (2014) concluíram que a maioria das movimentações aconteceram em menos de 25 Km e aquelas mais distantes entre 75 a 125 Km. Na Nova Zelândia, Sanson (2005) encontraram uma média de 30,9 Km na distância percorrida no trânsito de bovinos em dias úteis com base em entrevista com 500 criadores. Na Argentina, Aznar et al. (2011) analisaram o trânsito de bovinos entre as regiões e foi encontrado valores maiores, medianas entre 140 a 246 Km, se comparado aos resultados dos trabalhos citados anteriormente e ao de Minas Gerais. No Brasil, há trabalhos como: Risia Negreiros (2010) que caracterizou o trânsito de bovinos no Mato Grosso e encontrou valores com médias semelhantes às encontradas nesse trabalho. Há uma regularidade no trânsito em distâncias encontradas nesse trabalho, mostrando que o comércio tende a ficar regionalizado. Na figura 30, as distâncias nas diversas finalidades (cria, recria, engorda e reprodução) apresentaram distribuição semelhantes.

Apesar de haver aumento no número de destino dos animais comercializados, esses permanecem, em grande parte, próximos à origem. Claro, que não se pode negligenciar a existência, em menor frequência, de trânsito de longa distâncias. Isso nos leva a observar, que é possível traçar um raio de ação da vigilância sanitária junto aos eventos de aglomeração com a finalidade de identificar os estabelecimentos de maior risco para propagação de doenças. Uma das formas é monitorar as fazendas, que enviam e recebem animais destinados a eventos pecuários.

Apesar da alta interconexão local e do predomínio de pequenas distâncias no transporte entre os estabelecimentos, é importante lembrar que tais redes possuem um comportamento altamente heterogêneo, como mostrado no artigo sobre os padrões de trânsito de bovinos. Isso significa, que existem alguns nós da rede, que possuem um alto grau de conectividade, os "*hubs*", que influenciam fortemente a propagação de epidemias. Por isso, todos os fatores como medidas de centralidade e distância geográfica dos nós foram levados em consideração para descrever essa rede de movimentação de bovinos.

O transporte com a finalidade de abate é um caso um pouco mais atípico. Pois, é dependente da localização da planta frigorífica, o que determina os destinos fixos. Por questões mercadológicas, os criadores optam pelo local de abate que oferecer melhor relação custo/benefício. O abate de bovinos depende da localização da planta frigorífica o que pode explicar a diferença de tendência apresentada na figura 31a. Quando observado a finalidade aglomeração (participação de eventos pecuários) a origem dos animais a serem vendidos e o destino após o evento apresentaram a mesma distribuição. Eventos pecuários, configuram-se como aglomeração e segue padrão semelhante do abate, porém, diferente do frigorífico, não é fixo, pois a região em que acontece o evento determina a melhor praça para comercializar seus animais (figura 30c).

5 CONCLUSÃO

Há um padrão na movimentação de animais em MG, que se mantém ao longo dos anos com sazonalidade marcada pela época de vacinação oficial da febre aftosa.

As propriedades que participam de eventos pecuários possuem maior atividade no trânsito de animais, principalmente de saída, e no aumento da frequência de cadeias longas, determinando maior riscos sanitários para doenças transmissíveis.

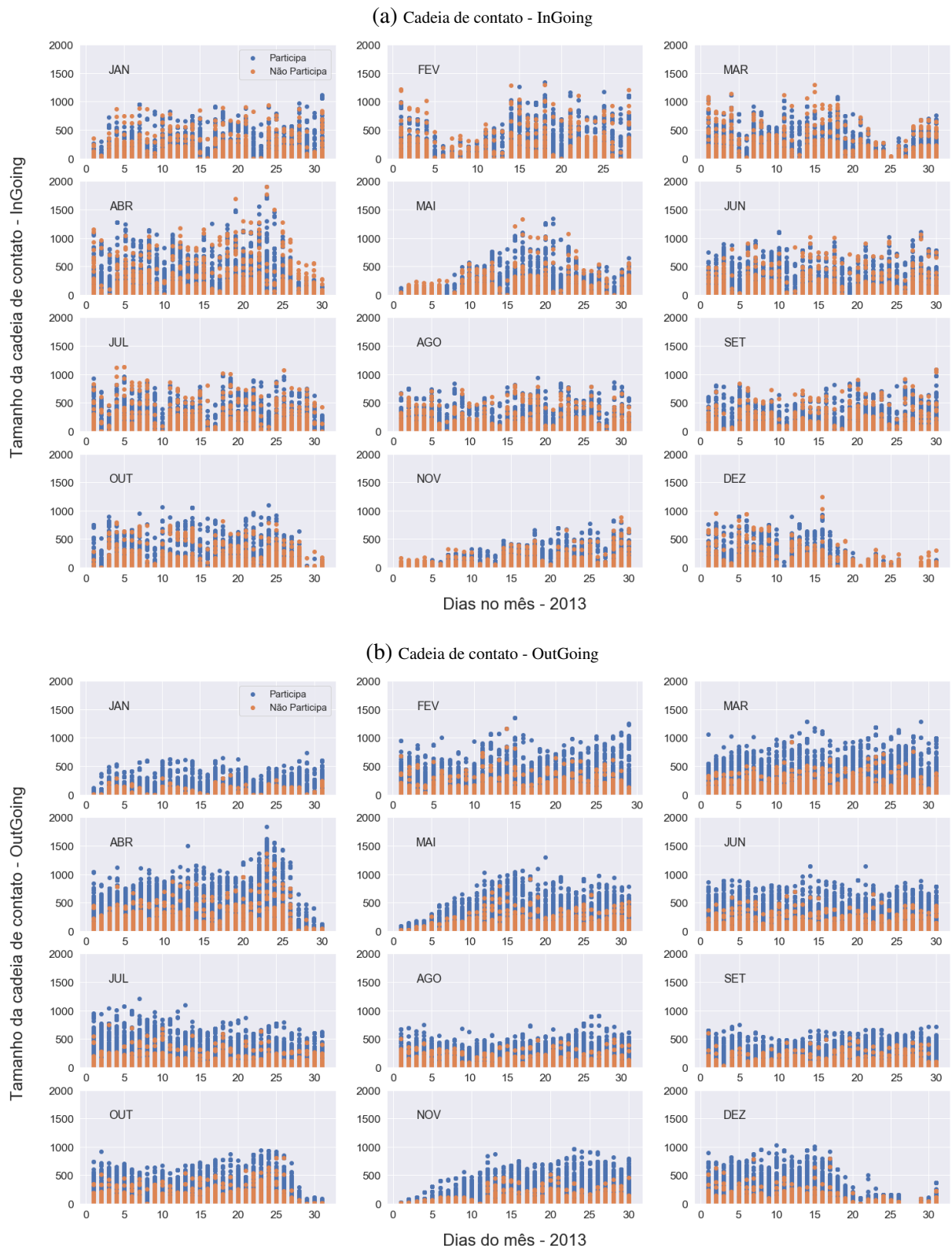
O uso de medidas de centralidades trazem melhor efetividade na identificação de propriedades com maior risco sanitário e que devem ter prioridade de ações para contenção de epidemias.

Todas as medidas de centralidade apresentaram resultados satisfatórios para a fragmentação da GC, exceto a *closeness* e *weighted OutDegree*.

Há um padrão na distribuição das distâncias de comercialização e número de animais por GTA, de acordo com o tipo de estabelecimento, com maior frequência entre 10-50 km entre estabelecimentos.

ANEXO A - Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2013.

Figure 34 – Comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2013, Minas Gerais, Brasil.

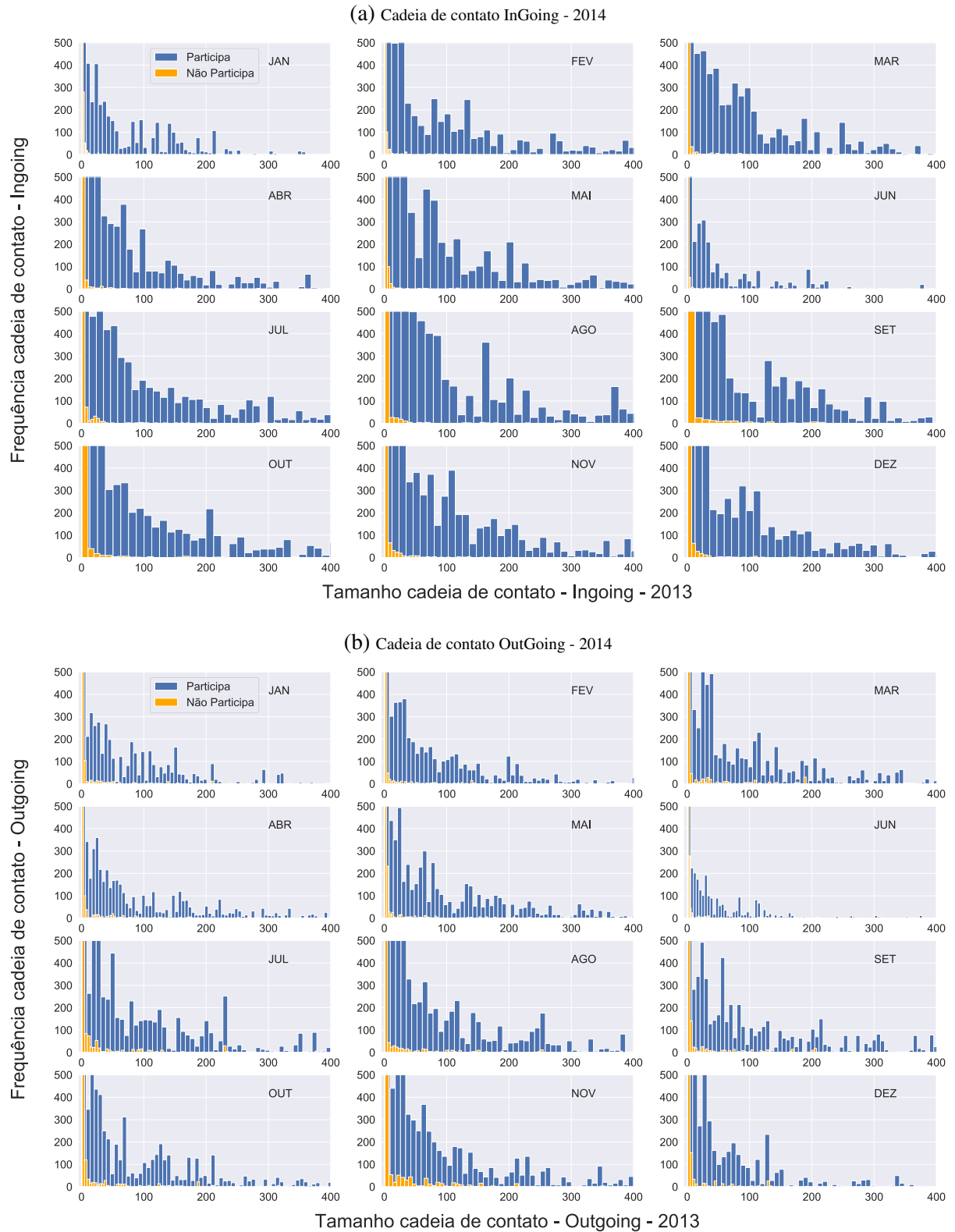


ANEXO B - Boxspot Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2013

Figure 35 – Boxspot comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2013, Minas Gerais.

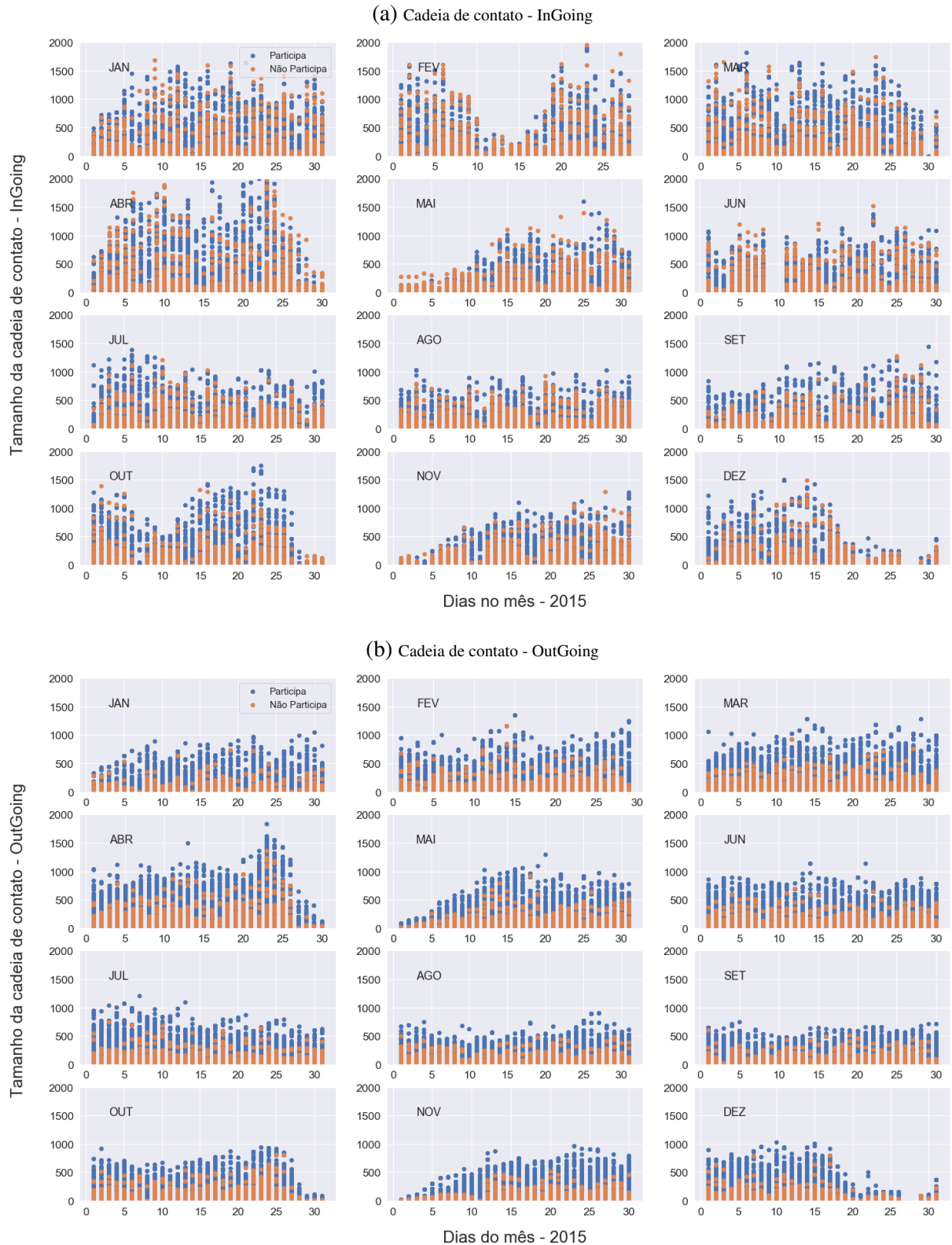


ANEXO C - Histograma Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2013

Figure 36 – Frequência da cadeias de contato (a) InGoing e (b) OutGoing com $\Delta t = 7$ dias, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, 2013, Minas Gerais.

ANEXO D - Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2015.

Figure 37 – Comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2015, Minas Gerais, Brasil.

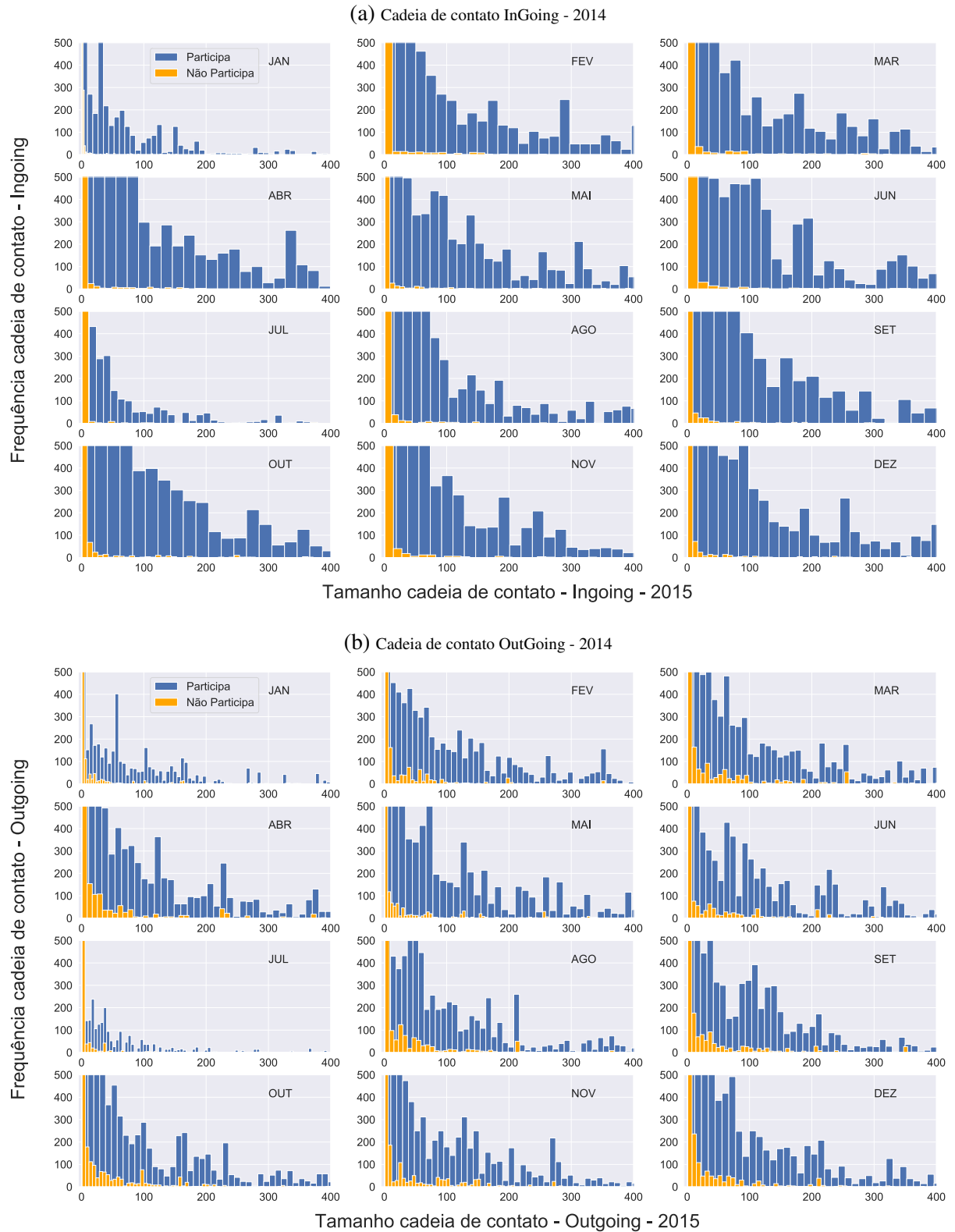


ANEXO E - Boxspot Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2015.

Figure 38 – Boxspot comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2015, Minas Gerais.

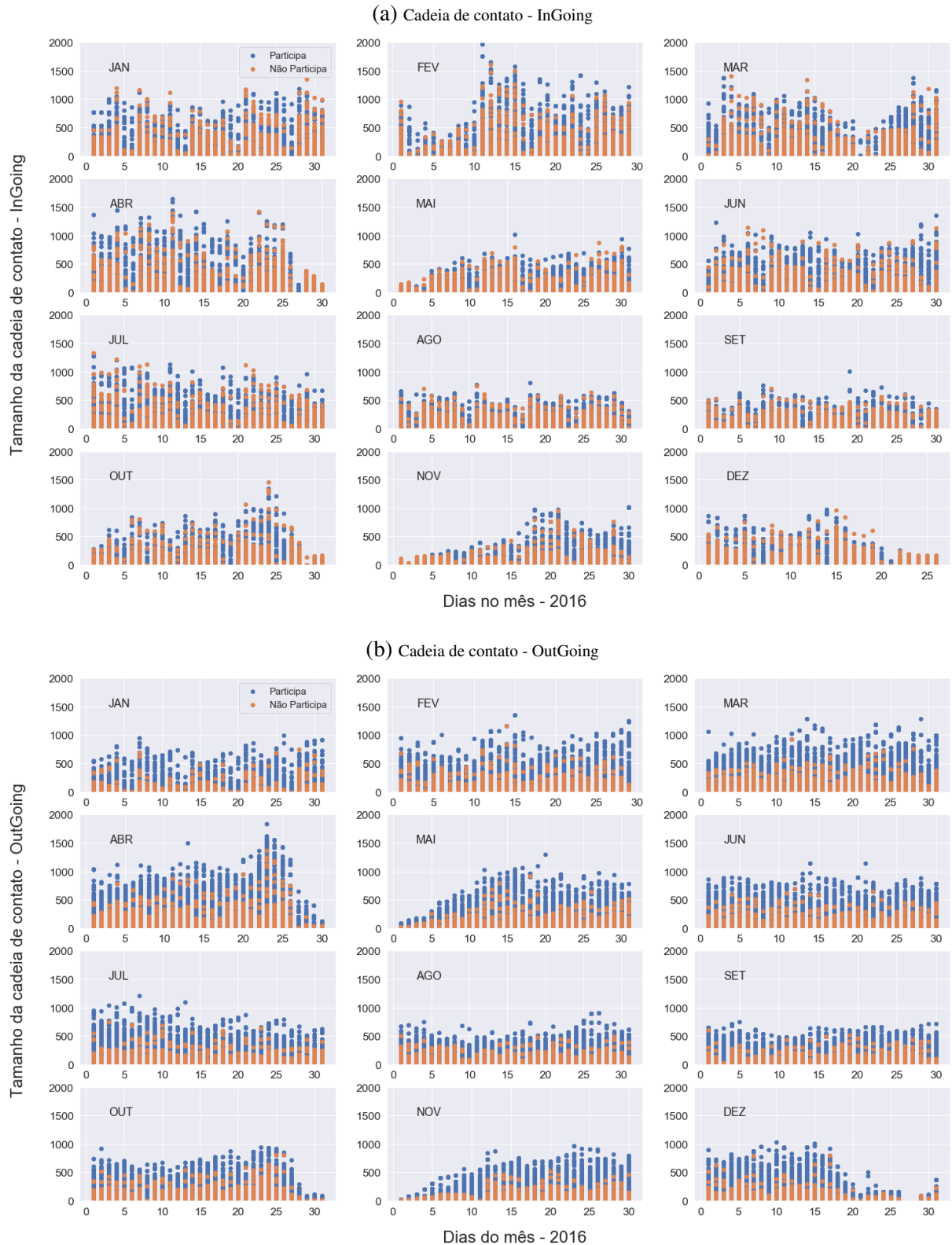


ANEXO F - Histograma Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2015.

Figure 39 – Frequência da cadeias de contato (a) InGoing e (b) OutGoing com $\Delta t = 7$ dias, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, 2015, Minas Gerais.

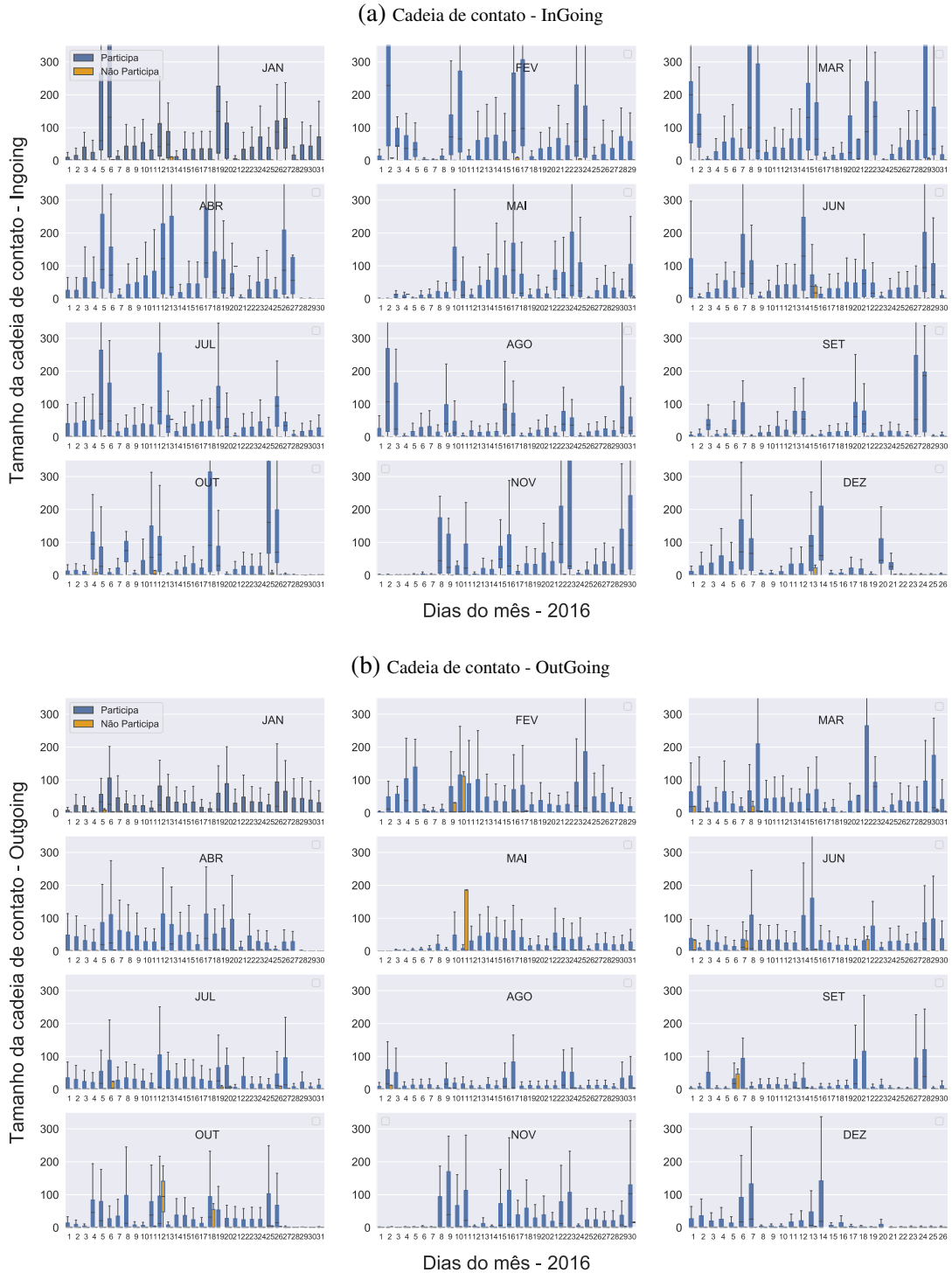
ANEXO G - Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2016.

Figure 40 – Comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2016, Minas Gerais, Brasil.



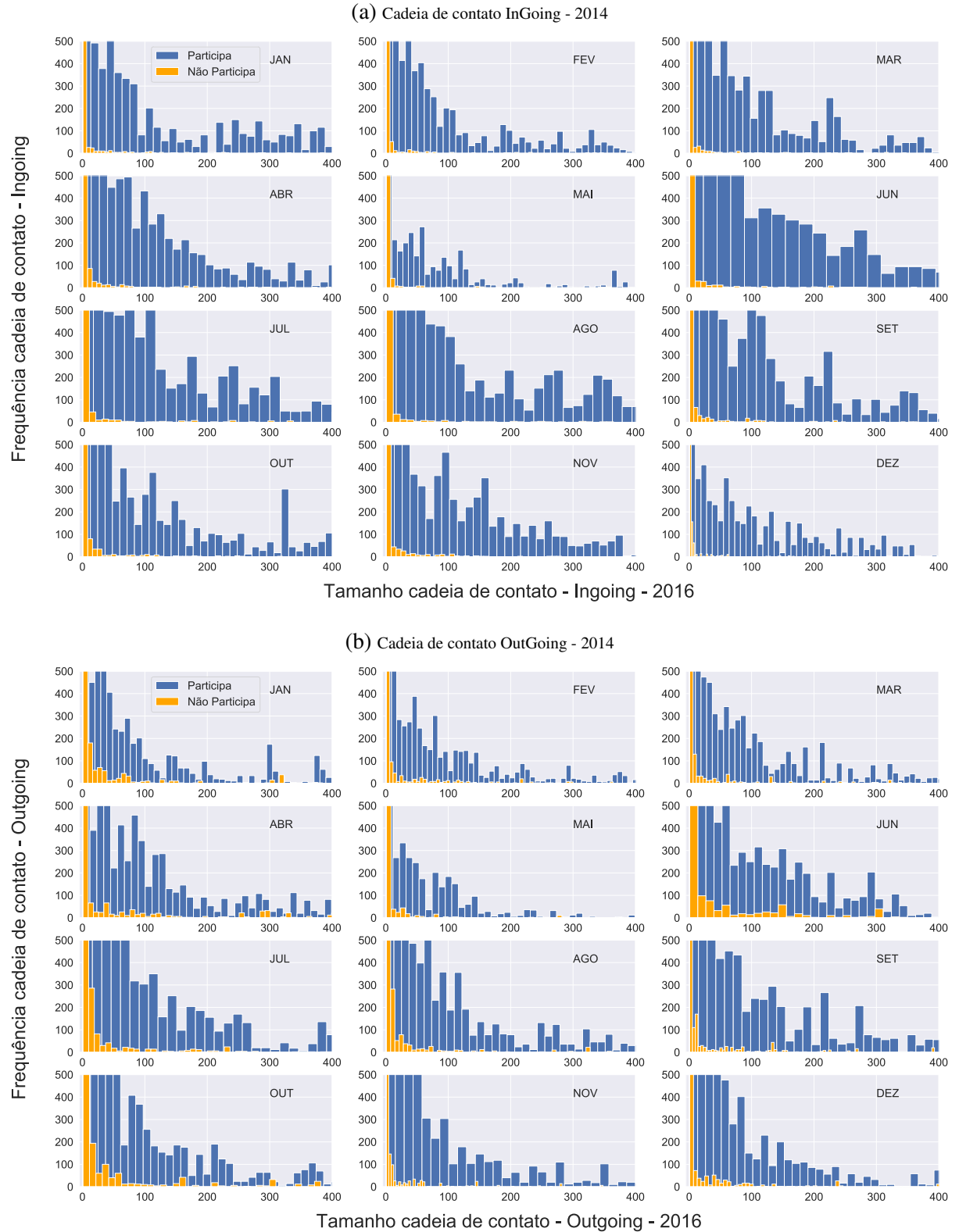
ANEXO H - Boxspot Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2016.

Figure 41 – Boxspot comparativo da cadeia de contato, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, diária construída com a janela de intervalo de sete dias. Em (a) o tamanho das cadeias de contato de entrada (InGoing) e em (b) as de saída (OutGoing) para o ano de 2016, Minas Gerais.



ANEXO I - Histograma Tamanho da Cadeia de Contato - fazendas - 2016.

Figure 42 – Frequência da cadeias de contato (a) InGoing e (b) OutGoing com $\Delta t = 7$ dias, das fazendas classificadas segundo a participação ou não em eventos pecuários, 2016, Minas Gerais.



ARTIGO 3 : IDENTIFICAÇÃO DE PROPRIEDADES DE MAIOR RISCO SANITÁRIO COM BASE EM MULTICRITÉRIO DE TOMADA DE DECISÃO

IDENTIFICATION OF THE FARMS OF GREATER SANITARY RISK BASED ON DECISION-MAKING MULTICRITERIY

1 INTRODUÇÃO

Análise de redes complexas constitui uma ferramenta interdisciplinar (NEWMAN, 2010). Sua funcionalidade desperta interesse devido a representatividade simples de modelos complexos (STROGATZ, 2001). Uma utilidade das redes se dá pela capacidade de apontar nós que possuem maior influência na rede por meio das medidas de centralidades (POZO et al., 2011; ARRUDA et al., 2014; RUSINOWSKA et al., 2011). Essas medidas apontam a forma com que informações (ZHU et al., 2016), rumores (WANG; ZHAO; HUANG, 2014) e doenças (LEBL et al., 2016), entre outras, espalham rapidamente para um grande número de nós partindo de um nó com maior influência.

Utilizar essa metodologia para identificar nós, que são capazes de influenciar o espalhamento de doenças (MARQUETOUX et al., 2016) é um dos propósitos para a epidemiologia (RAUTUREAU; DUFOUR; DURAND, 2011). O fluxo de animais comercializados pode ser analisado como uma rede. Nessas, os nós são as propriedades e as ligações são o comércio entre dois estabelecimentos (ex. duas fazendas). Identificar propriedades consideradas de maior risco para introdução e disseminação de doenças de contato é uma das principais funções do Serviço de Vigilância Oficial (SVE), como forma de realizar prevenção e controle de doenças no Estado.

Há trabalhos, que utilizaram medidas de centralidades para identificar nós, que são potencialmente capazes de promover o espalhamento de doenças ou rumores, tais como: Centralidade de grau (FREEMAN, 1978); *Betweenness* (FREEMAN, 1978; BRANDES, 2001); *Eigenvector* (BONACICH, 2007); *PageRank* (PAGE et al., 1999); *LeaderRank* (LÜ et al., 2011) entre outras (KITSACK et al., 2010; BAE; KIM, 2014). Segundo Fei, Zhang e Deng (2018) a centralidade de grau é a medida de mais fácil utilização. Pois, resulta em informações locais dos nós, sem levar em conta as informações globais.

As técnicas de análise Multicritério de Tomada de Decisão se apresentam como alternativas para agregar as centralidades em um valor, que representa a fusão delas. Há várias técnicas utilizadas para identificar nós influenciadores: Processo Hierárquico Analítico (BIAN; HU;

DENG, 2017); TOPSIS (DU et al., 2014; ZAREIE; SHEIKHAHMADI; KHAMFOROOSH, 2018) e outras. Identificamos a metodologia proposta por Hu et al. (2015) ser mais interessante para agregar as características de cada medida de centralidade por utilizar o *weighted TOPSIS*.

Essa técnica denominada de *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* - (TOPSIS) tem como objetivo identificar a melhor solução. Parte de um conjunto limitado de alternativas (nesse caso de medidas de centralidades). Baseia-se na menor distância da alternativa com a solução ideal e a maior distância da alternativa com a solução anti-ideal (indesejada). Diferente do método tradicional o *weighted TOPSIS* (*w-TOPSIS*) utiliza peso para cada atributo utilizado na fusão das centralidades.

Dessa forma, esse estudo tem por objetivo identificar as propriedades de maior risco de transmissão de patógenos utilizando modelagem epidêmica e o método de multicritério de decisão *w-TOPSIS*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área estudada

O Brasil possui 26 estados e um Distrito Federal. Nesse trabalho, utilizamos os dados referentes ao trânsito de bovídeos do Estado de Minas Gerais, quarto maior em extensão (aproximadamente 586,5 milhões km²) e o primeiro em número de municípios ($n=853$). Faz fronteira com outros seis estados (São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia, Goiás e Mato Grosso do Sul) e o Distrito Federal. Possui doze mesorregiões e 66 microrregiões (IBGE, 2018). Composto de cerca de 325 mil propriedades cadastradas, que possuem um total de 23,5 milhões de bovídeos (IBGE, 2018).

2.2 Banco de dados

Os dados foram disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA), que é responsável pelas ações de defesa sanitária animal do Estado. São dados diários do trânsito de bovídeos em Minas Gerais entre os anos de 2013 à 2016. E para demonstrar a metodologia, optou-se pelo ano 2016 arbitrariamente. Esses dados são obtidos por meio da Guia de Trânsito Animal (GTA), documento oficial emitido para o controle e acompanhamento do transporte de animais.

O controle da emissão desse documento é feito via internet, por meio do programa denominado SIDADGRO (Sistema de Defesa Agropecuário). Na GTA, os estabelecimentos possuem identificação única de origem e destino onde constam: o número de animais movimentados, espécie, sexo, idade e a finalidade do trânsito. O cadastro das propriedades possuem informações de georreferenciamento, que foram utilizadas para calcular a distância entre os nós. Considerou-se neste estudo apenas as GTA preenchidas completa e corretamente, isto é, 99,98% das GTA válidas.

2.3 Análise *w-TOPSIS*

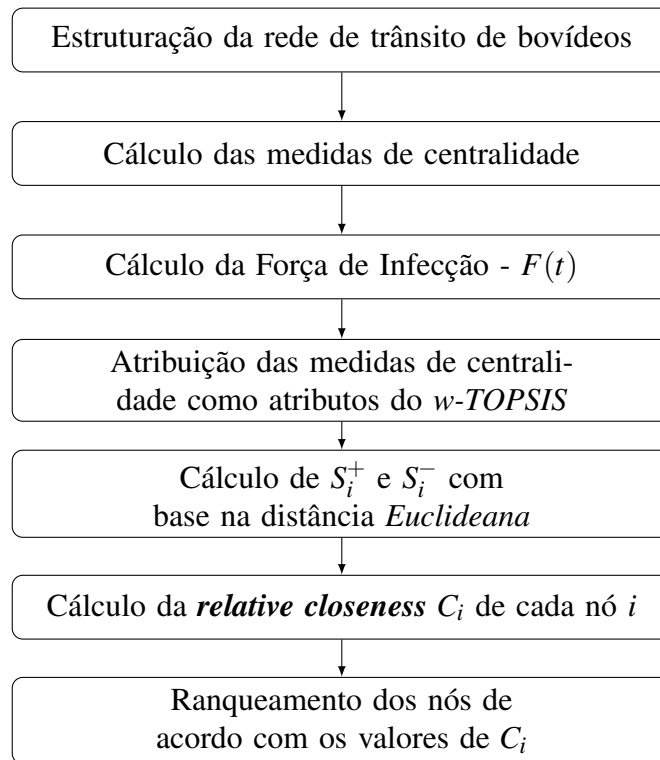
Com base no banco de dados do ano de 2016, inciou-se a construção da rede de trânsito de bovídeos de Minas Gerais. Para compor o score final, utilizou-se nove (09) medidas de centralidade: 1. *Betweenness*, 2. *Weighted Degree*, 3. *Pagerank*, 4. *Eigenvector*, 5. Cadeia de contato *Ingoing* 6. Cadeia de contato *Outgoing*, 7. *Weighted Indegree* 8. *Weighted Outdegree* 9. a força de infecção (calculada com base em modelo epidêmico SIR).

A cadeia de contato foi construída diariamente, no ano, com intervalo de sete (7) dias. A cada atividade do nó, apresentou-se valores diferentes no número de nós envolvidos na cadeia de contato calculada. Os resultados foram normalizados e os dados foram agrupados por nó, somando os valores.

Depois de obter os valores das medidas de centralidade, aplicou-se a metodologia descrita por Hu et al. (2015). Calculou-se o peso de cada medida. Em seguida, o desvio (positivos e negativos) com base em distância *Euclidiana*. O próximo passo foi calcular *relative closeness*. Pode ser definido como uma força para encontrar os nós com maior influência na rede. Consequentemente, define-se os nós que tem a maior capacidade de propagar doença. Na figura 43 estão apresentadas as etapas realizadas na simulação.

Para a análise baseada na tomada de decisão por multicritério, foi necessário cumprir as seguintes etapas:

Figure 43 – Fluxograma mostrando os passos da Metodologia utilizada, adaptado (HU et al., 2015).



Primeira etapa: Considerando a matriz $D=(X_{mn})$, as colunas $n - 1$ representam os diferentes valores de centralidade calculados e a última coluna é a força de infecção, calculada utilizando o modelo SIR.

O modelo epidêmico SIR (Suscetível-Infetado-Recuperado) apresenta um sistema em que os indivíduos podem assumir um dos três estados: suscetível (S) (aqueles que estão saudáveis e podem ficar doentes), infectado (I) (aqueles que ficaram doentes por contato com a doença e podem, eventualmente, transmitir a doença para os indivíduos saudáveis) ou recuperado (R) (aqueles que ficaram curados e não podem mais ficar doentes) (GILLESPIE, 1976; FERREIRA; CASTELLANO; PASTOR-SATORRAS, 2012). A população total (N) é a soma dessas classes:

$$N = S_{(t)} + I_{(t)} + R_{(t)} \quad (11)$$

E a força de infecção é calculada determinando um nó como semente e, após o tempo de 100 unidades, verifica-se a soma de nós infectados e recuperados. Repete-se 100 vezes o procedimento para cada nó. A média representa a força de infecção de cada nó na rede. Isto é, a capacidade que cada um nó possui de infectar os demais da rede (HU et al., 2015).

$$D(X_{mn}) = \begin{pmatrix} DC_1 & BC_1 & \dots & F_1(t) \\ DC_2 & BC_2 & & F_2(t) \\ DC_3 & BC_3 & & F_3(t) \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ DC_n & BC_n & \dots & F_n(t) \end{pmatrix}_{m \times n} \quad (12)$$

Segunda etapa: Construção de uma submatriz $M=(Y_{mk})$ da matriz $D=(X_{mn})(k = n - 1)$ que inclui somente as medidas de centralidade, sem a força de infecção.

$$M(Y_{mk}) = \begin{pmatrix} DC_1 & BC_1 & \dots & CC_1 \\ DC_2 & BC_2 & & CC_2 \\ DC_3 & BC_3 & & CC_3 \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ DC_m & BC_m & \dots & CC_m \end{pmatrix}_{m \times k} \quad (13)$$

Terceira etapa: Normalização da matriz $D=(X_{mn})$:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n. \quad (14)$$

Em que x_{ij} é cada valor da medida que compõe a matriz e r_{ij} é resultado normalizado. Para cada medida de centralidade na matriz, o valor é dividido pelo somatório de todos os valores presente na medida.

Quarta etapa: Igualizar o resultado normalizado (r_{ij}) com o parâmetro $F(t)$, conforme fórmula abaixo:

$$v_{ij} = \frac{1}{|r_{ij} - r_{in}|}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, k \quad (15)$$

Em que r_{in} representa o valor de $F(t)$ na matriz D . Nessa etapa

Quinta etapa: Ponderação de cada atributo (medidas de centralidade e força de infecção) da matriz $M=(Y_{mk})$:

$$e_j = \sum_{i=1}^m v_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, k. \quad (16)$$

$$w_j = \frac{e_j}{\sum_{j=1}^k e_j}, j = 1, 2, \dots, k. \quad (17)$$

Sexta etapa: Normalização da matriz $M=Y_{mk}$:

$$h_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_i^m y_{ij}^2}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, k. \quad (18)$$

Sétima etapa: Multiplicação da coluna da matriz normalizada pelo valor associado ao peso (obtido na quinta etapa) para obter a matriz de decisão ponderada $B=(b_{mk})$:

$$b_{ij} = w_j x h_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, k. \quad (19)$$

em que w_j corresponde ao peso do critério j .

Oitava etapa: Verificação dos valores positivo (A^+) e negativo (A^-) da solução ideal.

$$A^+ = \{b_1^+, b_2^+, \dots, b_k^+\} = \{(max_i b_{ij} | j \in K_b)(min_i b_{ij} | j \in K_c)\} \quad (20)$$

$$A^- = \{b_1^-, b_2^-, \dots, b_k^-\} = \{(max_i b_{ij} | j \in K_b)(min_i b_{ij} | j \in K_c)\} \quad (21)$$

em que K_b representa o benefício do critério e K_c o custo.

Nona etapa: Análise do quanto as medidas estão distantes do valor ideal (obtido através das soluções ideais positivas (S^+) e negativas (S^-)) Tal medida é baseada em distância matematicamente *Euclidiana* dos autovalores.

$$S_j^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (b_j^+ - b_{ij})^2}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, k. \quad (22)$$

$$S_j^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (b_j^- - b_{ij})^2}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, k. \quad (23)$$

Décima etapa: Cálculo do *relative closeness* para solução ideal.

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- - S_i^+}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (24)$$

Aplicada a metodologia proposta por (HU et al., 2015) para o cálculo de C_i foi obtido o ranqueamento dos nós mais influentes da rede. Neste trabalho, utilizando a rede de trânsito de bovinos, foi proposta a análise que tais nós podem representar estabelecimentos que possuem maior risco sanitário, considerando tais estabelecimentos como aqueles capazes de propagar patógenos rapidamente na rede.

Finalmente, foi comparado a eficiência desta medida em relação às medidas de centralidade para diagnosticar qual estabelecimento possui maior risco sanitário. Para isso, foi utilizado o desmonte da componente gigante e a propagação de um patógeno na rede utilizando o modelo Suscetível-Infectado-Recuperado. Neste modelo, foi calculado o tempo médio gasto para que a infecção se propague até um percentual pré-definido na rede, nesse caso, 50% dos nós infectados.

3 RESULTADOS

Em 2016, cerca de 183.704 nós apresentaram-se ativos ao longo do ano totalizando 993.904 GTA.

Na tabela 4 pode-se observar que o resultado comparativo dos nós ranqueados, segundo as medidas de centralidade e o *score* obtido pelo *w-TOPSIS*, apresentam diferentes estabelecimentos como os nós de maior importância na rede. Isso demonstra a relevância de se considerar diferentes medidas de centralidade ou tomada de decisão por multicritério.

Table 4 – Nós ranqueados *top10* de acordo com cada medida de centralidade: *Degree* (DC), *Weighed OutDegree* (W_outDC), *Weighed InDegree* (W_inDC), *Betweenness* (BC), *Pagerank* (PR), *Eigenvector* (EC), *Cadeia de contato de chegada* (CC_Ingoing), *Cadeia de contato de saída* (CC_Outgoing), *Forçade Infecção* (F(t)) e *w-TOPSIS*, 2016, Minas Gerais.

RANK	DC	W_outDC	W_inDC	BC	PR	EC	CC_Ingoing	CC_outgoing	F(t)	w-TOPSIS
1	28	183417	28	183417	28	13414	182843	183416	113952	13414
2	183416	183416	182833	162730	49	13486	28	183655	19812	13486
3	183417	183123	182849	183416	81584	14072	182683	183620	137359	183655
4	183655	183655	182467	28	182834	13724	182846	183417	132908	183416
5	183123	183120	182604	183655	182467	168328	10222	10222	122897	183417
6	182833	183676	81584	183123	182604	42	183416	174227	122841	28
7	182849	182978	45628	80709	182849	102672	174051	68730	136966	183620
8	183120	183121	182827	183834	19	14085	183655	129846	113947	162730
9	183121	182977	46	183620	35	13812	182575	63947	137481	183123
10	182467	183471	182834	182979	182833	102676	182833	174051	122761	183121

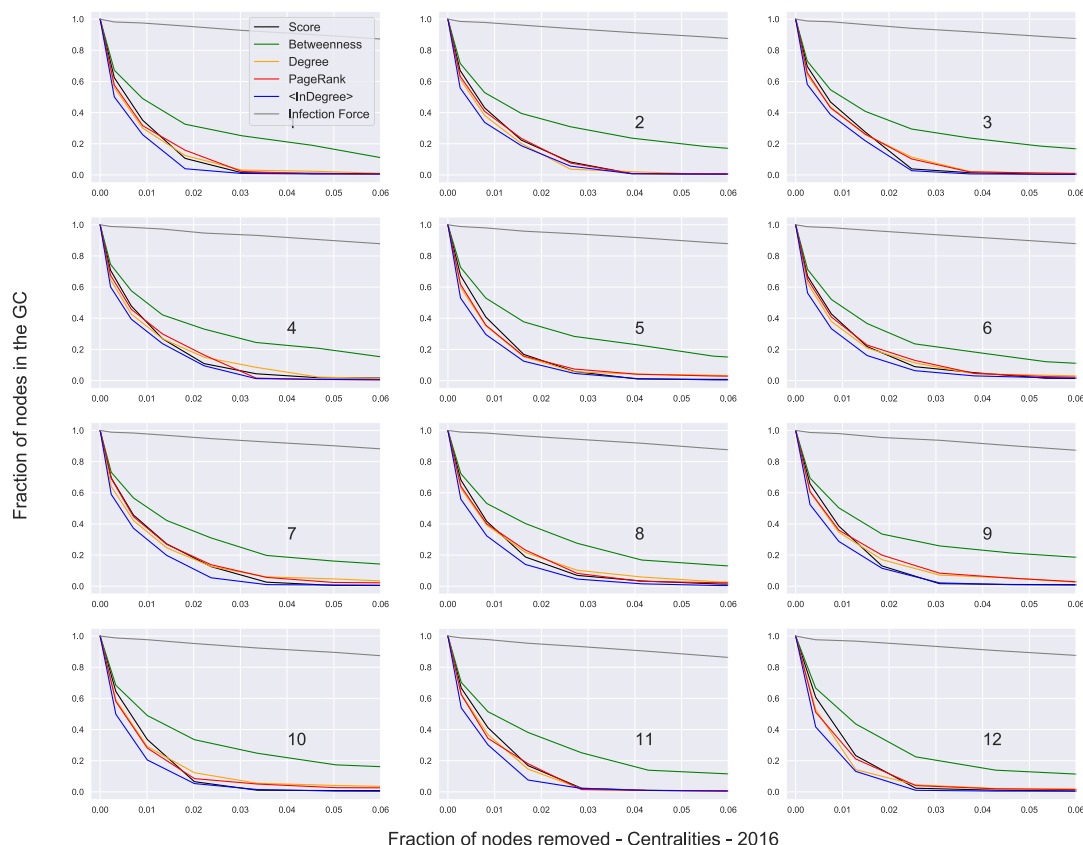
Obs.: Os números da tabela representam os nós (estabelecimentos) da rede de trânsito de bovinos que é composta por 190.513 nós.

Na figura 44 observa-se a fragmentação da componente gigante em função do número de nós removidos. A remoção dos nós foi feita de acordo com a sua importância na rede que foi ranqueada utilizando as medidas de centralidade ou o *score* obtido pelo *w-TOPSIS*. Desta forma,

quanto mais rápida a fragmentação da rede, mais eficiente foi considerado tal atributo para diagnosticar estabelecimentos de maior importância sanitária num bloqueio de foco epidêmico.

Observou-se que não há diferença significativa entre o *score* e as demais medidas, exceto o *Betweenness* e o grau de saída *OutDegree*.

Figure 44 – Comparativo entre as medidas de centralidade com o *score* segundo a metodologia TOPSIS, 2016, Minas Gerais.



4 DISCUSSÃO

A proposta deste artigo foi mostrar que a análise de multicritério pode ser uma alternativa mais completa no diagnóstico dos estabelecimentos mais importantes da rede de trânsito animal com vistas a mitigação de riscos sanitários. Pois tal ferramenta pondera as medidas de centralidade, considerando suas vantagens e limitações. Alguns trabalhos já apontam para esse caminho (BIAN; HU; DENG, 2017; DU et al., 2014; HU et al., 2015; FEI; ZHANG; DENG, 2018; YANG; XU; CHEN, 2018). Além disso, esse estudo nos leva a refletir sobre os aspectos relevantes de cada medida de centralidade na sua aplicação relacionada à defesa sanitária.

Observando a tabela 4, fica claro que, entre os dez nós com maior importância de acordo com cada medida de centralidade, há divergências no ranqueamento. A exemplo, o nó de nú-

mero 28 destaca-se por possuir maior número de animais movimentados (DC), maior quantidade de animais recebidos (WC_{inDC}) e maior PageRank (PR) porém, ocupa a sexta posição no *score*. Já outros nós, como os de número 13414 e 13486 não foram ranqueados entre os 10 mais importantes em nenhuma medida de centralidade, sendo os primeiros no multicritério *w-TOPSIS*. Possivelmente, tal diferença se deve à importância da força de infecção, que também é contabilizada e associada aos demais atributos avaliados no *w-TOPSIS*.

Foi observado que a fragmentação da componente gigante aconteceu de maneira mais eficiente utilizando o *score* do que o grau de saída que, a princípio, é a medida mais utilizada no controle de epidemias. Porém, há trabalhos que apontam que a tal medida realmente pode ser menos efetiva pois leva em consideração apenas informações locais da rede (GAO et al., 2014; CHEN et al., 2012; GAO et al., 2013).

Ainda é necessária uma análise mais completa para definir quais medidas de centralidade são realmente relevantes na composição do *score*. Pois é interessante considerar medidas mais viáveis, ou seja, medidas que, apesar da sua simplicidade, fornecem informação significativa da rede.

Neste sentido, uma alternativa que já está sendo testada, é substituir a força de infecção pela força esperada sugerida por Lawyer (2015). Essa medida traz a vantagem de permitir uma análise local da rede pois não leva em consideração apenas o grau de conectividade de cada nó, mas também o grau de conectividade de seus vizinhos.

5 CONCLUSÃO

Há diferença no ranqueamento dos estabelecimentos de maior importância na rede de acordo com cada atributo utilizado (medidas centralidade ou *score* do *w-TOPSIS*).

A tomada de decisão por multicritério *w-TOPSIS* demonstrou ser uma ferramenta eficiente no diagnóstico dos estabelecimentos mais relevantes na contenção de uma epidemia por contato, visto que são eficientes no desmonte do *Giant Component*.

É necessário outros estudos para definição de quais medidas de centralidade e outros atributos devem compor o *score* do *w-TOPSIS* para identificar nós de maior risco sanitário e assim propor ações prioritárias de vigilância epidemiológica.

REFERÊNCIAS

- ABIEC. **Perfil da Pecuária no Brasil - Realtório Anual**. [S.l.], 2018. v. 91, 399–404 p.
- ARRUDA, G. F. de et al. Role of centrality for the identification of influential spreaders in complex networks. **Physical Review E**, v. 90, n. 3, p. 032812, sep 2014. ISSN 1539-3755. Disponível em: <<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.90.032812>>.
- ASTUDILLO, V. M. formas de organização da produção como determinantes de risco de febre aftosa retirar. **A hora Veterinária**, v. 17, n. ano 3, p. 11–20, 1984.
- ASTUDILLO, V. M.; DORA, J. F.; SILVA, A. J. ECOSYSTEMS AND REGIONAL STRATEGIES FOR FOOT-AND-MOUTH DISEASE CONTROL. APPLICATION TO THE CASE OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL. **Boletim Centro Panamericano Fiebre Aftosa**, Boletim Centro Panamericano Fiebre Aftosa, n. 52, p. 63–77, 1986.
- AZNAR, M. N. et al. Analysis of cattle movements in Argentina, 2005. **Preventive veterinary medicine**, Elsevier B.V., v. 98, n. 2-3, p. 119–27, feb 2011. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587710003272http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21122931>>.
- BAE, J.; KIM, S. Identifying and ranking influential spreaders in complex networks by neighborhood coreness. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 395, p. 549–559, feb 2014. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437113010406https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437113010406>>.
- BAJARDI, P. et al. Dynamical patterns of cattle trade movements. **PLoS ONE**, v. 6, n. 5, p. 1–51, jan 2011. ISSN 19326203. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3097215{&}tool=pmcentrez{&}rendertype=ab>>.
- BAJARDI, P. et al. Optimizing surveillance for livestock disease spreading through animal movements. **Journal of The Royal Society Interface**, v. 9, n. 76, p. 2814–2825, nov 2012. ISSN 1742-5689. Disponível em: <<http://rsif.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rsif.2012.0289>>.
- BALCAN, D. et al. Multiscale mobility networks and the spatial spreading of infectious diseases. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 51, p. 21484–21489, dec 2009. ISSN 0027-8424.
- BAO, Z.-K. et al. Identification of influential nodes in complex networks: Method from spreading probability viewpoint. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 468, p. 391–397, feb 2017. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437116307907https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437116307907>>.
- BAPTISTA, F. M.; NUNES, T. Spatial analysis of cattle movement patterns in Portugal. **Veterinaria Italiana**, v. 43, n. 3, p. 611–619, 2007. ISSN 1828-1427.
- BARABASI, A.-L. NETWORK SCIENCE INTRODUCTION. In: **Network Science**. [S.l.: s.n.], 2016. cap. 04.

- BARABASI, A.-L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. **Science**, v. 286, n. 5439, p. 509–512, oct 1999. ISSN 00368075. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/cond-mat/9910332http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.286.5439.509http://dx.doi.org/10.1126/science.286.5439.509>>.
- BIAN, T.; HU, J.; DENG, Y. Identifying influential nodes in complex networks based on AHP. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 479, p. 422–436, aug 2017. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2017.02.085https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437117302194>>.
- BIGRAS-POULIN, M. et al. Relationship of trade patterns of the Danish swine industry animal movements network to potential disease spread. **Preventive veterinary medicine**, v. 80, n. 2-3, p. 143–65, jul 2007. ISSN 0167-5877. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17383759http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587707000384>>.
- BOCCALETTI, S. et al. Complex networks: Structure and dynamics. **Physics Reports**, v. 424, n. 4-5, p. 175–308, feb 2006. ISSN 03701573. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037015730500462X>>.
- BONACICH, P. Some unique properties of eigenvector centrality. **Social Networks**, v. 29, n. 4, p. 555–564, oct 2007. ISSN 03788733. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378873307000342>>.
- BRANDES, U. A faster algorithm for betweenness centrality. **The Journal of Mathematical Sociology**, Routledge, v. 25, n. 2, p. 163–177, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/0022250X.2001.9990249>>.
- BRASIL, M. d. A. P. e. A. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 18, DE 18 DE JULHO DE 2006**. DF; Brasília: [s.n.], 2006. p. 6 p. Disponível em: <[>](http://sistemasweb.agricultura.gov.br/action/detalhaAto.do?method=imprimirAto{&}tipo=INM{&}numeroAto=00000018{&}seqAto=000{&}valorAno=2006{&}orgao=MAPA{&}codTipo={&}.>></p>
<p>BRASIL, M. d. A. P. e. A. Instrução Normativa n. 44, de 02 de outubro de 2007. Aprovar as diretrizes gerais para a Erradicação e a Prevenção da Febre Aftosa. Brasília - DF: Diário Oficial da União, 2007.</p>
<p>BRASIL, M. d. A. P. e. A. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 19, DE 3 DE MAIO DE 2011. DF; Brasília: [s.n.], 2011. p. 2 p. Disponível em: <<a href=)
- BRENNAN, M. L.; KEMP, R.; CHRISTLEY, R. M. Direct and indirect contacts between cattle farms in north-west England. **Preventive veterinary medicine**, v. 84, n. 3-4, p. 242–60, may 2008. ISSN 0167-5877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016758770700253X>>.
- BROOKS-POLLOCK, E. et al. Challenges in modelling infectious livestock diseases. **Epidemics**, Elsevier B.V., v. 10, p. 1–5, aug 2014. ISSN 17554365. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1755436514000401>>.
- BUHNERKEMPE, M. G. et al. The Impact of Movements and Animal Density on Continental Scale Cattle Disease Outbreaks in the United States. **PLoS ONE**, v. 9, n. 3, p. 1–10, 2014. ISSN 19326203.

BÜTTNER, K. et al. Efficient interruption of infection chains by targeted removal of central holdings in an animal trade network. **PloS one**, v. 8, n. 9, p. e74292, jan 2013. ISSN 1932-6203. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3771899&tool=pmcentrez&rendertype=ab>>.

BÜTTNER, K. et al. Static network analysis of a pork supply chain in Northern Germany—Characterisation of the potential spread of infectious diseases via animal movements. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 110, n. 3-4, p. 418–428, jul 2013. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587713000287><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23462679><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587713000287>>.

BÜTTNER, K.; KRIETER, J.; TRAULSEN, I. Characterization of Contact Structures for the Spread of Infectious Diseases in a Pork Supply Chain in Northern Germany by Dynamic Network Analysis of Yearly and Monthly Networks. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 62, n. 2, p. 188–199, apr 2015. ISSN 18651674. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/tbed.12106>>.

CARPENTER, T. E. Methods to investigate spatial and temporal clustering in veterinary epidemiology. **Preventive veterinary medicine**, v. 48, n. 4, p. 303–20, mar 2001. ISSN 0167-5877. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11259822><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587700001999>>.

CARPENTER, T. E. et al. 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**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 23, n. 1, p. 26–33, 2011.

CHEN, D. et al. Identifying influential nodes in complex networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 391, n. 4, p. 1777–1787, feb 2012. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437111007333><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437111007333>>.

CHRISTLEY, R. M. et al. **Network analysis of cattle movement in Great Britain**. [S.l.], 2005. 234–244 p. Disponível em: <<http://www.cabdirect.org/abstracts/20053202486.html>>.

CIPULLO, R. I. et al. Cattle movement network, herd size, and bovine brucellosis in the State of Mato Grosso, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 5, p. 3777–3792, 2016. ISSN 16790359.

COHEN, R.; HAVLIN, S. **Complex Networks: Structure, Robustness and Function**. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 243 p. ISBN 9780511780356.

CRABB, H. K. et al. The use of social network analysis to examine the transmission of *Salmonella* spp. within a vertically integrated broiler enterprise. **Food Microbiology**, Elsevier Ltd, p. 1–9, 2016. ISSN 10959998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2017.03.008>>.

DENT, J. E. et al. Contact structures in the poultry industry in Great Britain: exploring transmission routes for a potential avian influenza virus epidemic. **BMC Veterinary Research**, v. 4, n. August, p. 27, 2008. ISSN 1746-6148. Disponível em: <<http://apps.webofknowledge>>.

com/full{_}record.do?product=UA{&}search{_}mode=GeneralSearch{&}qid=2{&}SID=S1yLHI4KUgVJT9Bh7CZ>.

DIEHL, C. A. CUSTOS INTANGÍVEIS : UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO. In: **VI Congresso Brasileiro de Custos**. São Paulo - SP: [s.n.], 1999. p. 17.

DORJEE, S. et al. Network analysis of swine shipments in Ontario, Canada, to support disease spread modelling and risk-based disease management. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 112, n. 1-2, p. 118–127, oct 2013. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587713002079><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587713002079>>.

DOROGOVTSEV, S. N.; MENDES, J. F. F. The shortest path to complex networks. p. 1–24, 2004. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/cond-mat/0404593>>.

DREWE, J. A. et al. Patterns of direct and indirect contact between cattle and badgers naturally infected with tuberculosis. **Epidemiology and Infection**, v. 141, n. 07, p. 1467–1475, jul 2013. ISSN 0950-2688. Disponível em: <http://www.journals.cambridge.org/abstract{_}S0950268813000>.

DU, Y. et al. A new method of identifying influential nodes in complex networks based on TOPSIS. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 399, p. 57–69, apr 2014. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2013.12.031><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437113011552>>.

DUBÉ, C.; RIBBLE, C.; KELTON, D. An analysis of the movement of dairy cattle through 2 large livestock markets in the province of Ontario, Canada. **Canadian Veterinary Journal**, v. 51, n. 11, p. 1254–1260, 2010. ISSN 00085286.

DUBÉ, C. et al. Comparing network analysis measures to determine potential epidemic size of highly contagious exotic diseases in fragmented monthly networks of dairy cattle movements in Ontario, Canada. **Transboundary and emerging diseases**, v. 55, n. 9-10, p. 382–92, dec 2008. ISSN 1865-1674. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18840200>>.

DUTTA, B. L.; EZANNO, P.; VERGU, E. Characteristics of the spatio-temporal network of cattle movements in France over a 5-year period. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 117, n. 1, p. 79–94, nov 2014. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587714002943><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587714002943>>.

Embrapa Gado de Leite. **Anuário Leite 2018**. [S.l.], 2018. 116 p. Disponível em: <www.embrapa.br/gado-de-leite>.

ENSOY, C. et al. Exploring cattle movements in Belgium. **Preventive veterinary medicine**, Elsevier B.V., v. 116, n. 1-2, p. 89–101, sep 2014. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24881483>>.

ERDÖS, P.; RÉNYI, A. On random graphs. **Publicationes Mathematicae (Debrecen)**, v. 6, p. 290–297, 1959.

ERDÖS, P.; RÉNYI, A. On the evolution of random graphs. **Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci**, v. 5, n. 1, p. 17–60, 1960.

FEI, L.; ZHANG, Q.; DENG, Y. Identifying influential nodes in complex networks based on the inverse-square law. **Physica A**, Elsevier B.V., v. 512, p. 1044–1059, 2018. ISSN 0378-4371. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.08.135>>.

FERREIRA, S. C.; CASTELLANO, C.; PASTOR-SATORRAS, R. Epidemic thresholds of the Susceptible-Infected-Susceptible model on networks: A comparison of numerical and theoretical results. **PHYSICAL REVIEW E**, v. 86, n. 041125, p. 1–9, 2012.

FÈVRE, E. M. et al. Animal movements and the spread of infectious diseases. **Trends in microbiology**, v. 14, n. 3, p. 125–31, mar 2006. ISSN 0966-842X. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16460942><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966842X06000175>>.

FIRESTONE, S. M. et al. Adding the spatial dimension to the social network analysis of an epidemic: investigation of the 2007 outbreak of equine influenza in Australia. **Preventive veterinary medicine**, Elsevier B.V., v. 106, n. 2, p. 123–35, sep 2012. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22365721>>.

FREEMAN, L. C. A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. **Sociometry**, v. 40, n. 1, p. 35, 1977. ISSN 00380431. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3033543?origin=crossref>>.

FREEMAN, L. C. Centrality in social networks conceptual clarification. **Social Networks**, v. 1, n. 3, p. 215–239, jan 1978. ISSN 03788733. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378873378900217>>.

FRÖSSLING, J. et al. A novel method to identify herds with an increased probability of disease introduction due to animal trade. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 117, n. 2, p. 367–374, nov 2014. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587714002487><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587714002487>>.

FRÖSSLING, J. et al. Application of network analysis parameters in risk-based surveillance - examples based on cattle trade data and bovine infections in Sweden. **Preventive veterinary medicine**, Elsevier B.V., v. 105, n. 3, p. 202–8, jul 2012. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587711003990><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22265643>>.

FU, Y.-h.; HUANG, C.-y.; SUN, C.-t. Using global diversity and local topology features to identify influential network spreaders. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 433, p. 344–355, sep 2015. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2015.03.042><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437115003040>>.

GANDHI, M.; MURUGANANTHAM, A. Potential Influencers Identification Using Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods. **Procedia Computer Science**, Elsevier Masson SAS, v. 57, p. 1179–1188, 2015. ISSN 18770509. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.411><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050915019407>>.

GAO, C. et al. A Bio-Inspired Methodology of Identifying Influential Nodes in Complex Networks. **PLoS ONE**, v. 8, n. 6, 2013. ISSN 19326203.

- GAO, S. et al. Ranking the spreading ability of nodes in complex networks based on local structure. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 403, p. 130–147, jun 2014. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437114001411>><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437114001411>>.
- GATES, M. C.; WOOLHOUSE, M. E. Controlling infectious disease through the targeted manipulation of contact network structure. **Epidemics**, Elsevier B.V., v. 12, p. 11–19, sep 2015. ISSN 17554365. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.epidem.2015.02.008>><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1755436515000304>>.
- GERBIER, G. et al. A point pattern model of the spread of foot-and-mouth disease. v. 56, 2002.
- GILBERT, M. et al. Cattle movements and bovine tuberculosis in Great Britain. **Nature**, v. 435, n. 7041, p. 491–6, may 2005. ISSN 1476-4687. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15917808>>.
- GILLESPIE, D. T. A General Method for Numerically Simulating the Stochastic Time Evolution of Coupled Chemical Reactions. **Journal of Computational Physics**, v. 22, p. 403–434, 1976.
- GIRVAN, M.; NEWMAN, M. E. J. Community structure in social and biological networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 12, p. 7821–7826, jun 2002. ISSN 0027-8424. Disponível em: <<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.122653799>>.
- GONZA, M. C. Understanding individual human mobility patterns. v. 453, n. June, p. 779–782, 2008.
- GORSICH, E. E. et al. Mapping U.S. cattle shipment networks: Spatial and temporal patterns of trade communities from 2009 to 2011. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 134, p. 82–91, 2016. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.09.023>>.
- GREAR, D. a. et al. Local cattle movements in response to ongoing bovine tuberculosis zonation and regulations in Michigan, USA. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 114, n. 3-4, p. 201–212, mar 2014. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587714001032>><http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.03.008>>.
- GREEN, D. M.; GREGORY, A.; MUNRO, L. A. Small- and large-scale network structure of live fish movements in Scotland. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 91, n. 2-4, p. 261–269, oct 2009. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587709001731>>.
- GREEN, D. M.; KISS, I. Z.; KAO, R. R. Modelling the initial spread of foot-and-mouth disease through animal movements. **Proceedings. Biological sciences / The Royal Society**, v. 273, n. 1602, p. 2729–2735, 2006. ISSN 0962-8452.
- GUINAT, C. et al. Exploring pig trade patterns to inform the design of risk-based disease surveillance and control strategies. **Scientific Reports**, Nature Publishing Group, v. 6, n. August, p. 28429, 2016. ISSN 2045-2322. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/srep28429>><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27357836>>

[//www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4928095http://www.nature.com/articles/srep284](http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4928095http://www.nature.com/articles/srep284)}.>

HADORN, D. C.; STÄRK, K. D. C. Original article Evaluation and optimization of surveillance systems for rare and emerging infectious diseases. **Veterinary Research**, v. 39:57, p. 1–12, 2008.

HAYDON, D. T. et al. The construction and analysis of epidemic trees with reference to the 2001 UK foot-and-mouth outbreak. **Proceedings. Biological sciences / The Royal Society**, v. 270, n. 1511, p. 121–7, jan 2003. ISSN 0962-8452. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1691228{&}tool=pmcentrez{&}rendertype=ab>>.

HIDANO, A. et al. Evaluating the efficacy of regionalisation in limiting high-risk livestock trade movements. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 133, p. 31–41, oct 2016. ISSN 01675877. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587716303610>>.

HOLME, P. Epidemiologically Optimal Static Networks from Temporal Network Data. **PLoS Computational Biology**, v. 9, n. 7, 2013. ISSN 1553734X.

HU, J. et al. A modified weighted TOPSIS to identify influential nodes in complex networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., n. xxxx, 2015. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437115007554>>.

HWANG, C.-L.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making Methods**. 1. ed. Berlin: [s.n.], 1981. 263 p. ISBN 9783540105589.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. [S.l.], 2018.

IOTTI, B. et al. Farm productive realities and the dynamics of bovine viral diarrhoea (BVD) transmission. 2017.

KAO, R. et al. Demographic structure and pathogen dynamics on the network of livestock movements in Great Britain. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 273, n. 1597, p. 1999–2007, aug 2006. ISSN 0962-8452. Disponível em: <<http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/royprsb/273/1597/1999.full.pdfhttp://www.royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2006.3505>>.

KARRER, B.; NEWMAN, M. E. J. Competing epidemics on complex networks. **Physical Review E**, v. 84, n. 3, p. 036106, sep 2011. ISSN 1539-3755. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1105.3424http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevE.84.036106https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.84.036106>>.

KEELING, M. J. et al. Individual identity and movement networks for disease metapopulations. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 19, p. 8866–8870, 2010. ISSN 0027-8424. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/107/19/8866.abstracthttp://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1000416107>>.

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 / the Royal Society**, v. 3, n. 10, p. 669–677, oct 2006. ISSN 1742-5689. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1664651{&}tool=pmcentrez{&}rendertype=ab>>.

KITSACK, M. et al. Identification of influential spreaders in complex networks. **Nature Physics**, Nature Publishing Group, v. 6, n. 11, p. 888–893, nov 2010. ISSN 1745-2473. Disponível em: <<http://www.nature.com/doi/10.1038/nphys1746><http://arxiv.org/abs/1001.5285><http://www.nature.com/articles/nphys1746>>.

KUKIELKA, E. A.; MARTÍNEZ-LÓPEZ, B.; BELTRÁN-ALCRUDO, D. Modeling the live-pig trade network in Georgia: Implications for disease prevention and control. **PLoS ONE**, v. 12, n. 6, p. 1–15, 2017. ISSN 19326203.

KURODA, R. B. D. S. **Avaliação da dinâmica do efetivo bovino no Estado do Mato Grosso e seu impacto no controle da brucelose bovina**. 66 p. Tese (Tese (Doutorado em Ciências)) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

LAWYER, G. Understanding the influence of all nodes in a network. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 8665, aug 2015. ISSN 2045-2322. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/srep08665>>.

LEBL, K. et al. Impact of Network Activity on the Spread of Infectious Diseases through the German Pig Trade Network. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 3, n. June, p. 48, jun 2016. ISSN 2297-1769. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fvets.2016.00048/abstract>>.

LEE, K. et al. Unraveling the contact patterns and network structure of pig shipments in the United States and its association with porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) outbreaks. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 138, p. 113–123, 2017. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.02.001>>.

LENTZ, H. H. K. et al. Disease spread through animal movements: A static and temporal network analysis of pig trade in Germany. **PLoS ONE**, v. 11, n. 5, p. 1–32, 2016. ISSN 19326203. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1602.09108>>.

LEÓN, E. a. et al. The use of geographic information systems for foot and mouth disease surveillance in Argentina. **Veterinaria italiana**, v. 43, n. 3, p. 469–75, 2007. ISSN 1828-1427. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20422523>>.

LI, Q. et al. Identifying influential spreaders by weighted LeaderRank. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 404, p. 47–55, jun 2014. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2014.02.041><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437114001502>>.

LI, X. et al. Identifying social influence in complex networks: A novel conductance eigenvector centrality model. **Neurocomputing**, v. 210, p. 141–154, oct 2016. ISSN 09252312. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925231216305860><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925231216305860>>.

LIANG, Z.-W.; LI, J.-P. Identifying and ranking influential spreaders in complex networks. In: **2014 11th International Computer Conference on Wavelet Actiev Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)**. IEEE, 2014. v. 452, p. 393–396. ISBN 978-1-4799-7207-4. ISSN 03784371. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437116001941><http://ieeexplore.ieee.org/document/7073434/>>.

LIU, J.-G.; REN, Z.-M.; GUO, Q. Ranking the spreading influence in complex networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 392, n. 18, p. 4154–4159, sep 2013. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437113003506><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437113003506>>.

LIU, Q.-h. et al. Measurability of the epidemic reproduction number in data-driven contact networks. p. 1–6, 2018.

LÜ, L. et al. Leaders in Social Networks, the Delicious Case. **PLoS ONE**, v. 6, n. 6, p. e21202, jun 2011. ISSN 1932-6203. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0021202>>.

LUSSEAU, D.; NEWMAN, M. E. J. Identifying the role that animals play in their social networks. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 271, n. suppl_6, p. 477–481, dec 2004. ISSN 1471-2954. Disponível em: <<http://www.royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsbl.2004.0225>>.

MA, L.-l. et al. Identifying influential spreaders in complex networks based on gravity formula. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 451, p. 205–212, jun 2016. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2015.12.162><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437116000959>>.

MARABELLI, R. The role of official veterinary services in dealing with new social challenges: animal health and protection, food safety, and the environment. **Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.**, v. 22, n. 2, p. 363–371, 2003. ISSN 0253-1933 (Print). Disponível em: <<http://www.oie.int/doc/ged/D399.PDF>>.

MARDONES, F. O. et al. The value of animal movement tracing: a case study simulating the spread and control of foot-and-mouth disease in California. **Preventive veterinary medicine**, Elsevier B.V., v. 110, n. 2, p. 133–8, jun 2013. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23260796><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587712004011>>.

MARQUETOUX, N. et al. Using social network analysis to inform disease control interventions. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 126, p. 94–104, apr 2016. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.01.022><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587716300393>>.

MARTÍNEZ-LÓPEZ, B. et al. A multi-analysis approach for space-time and economic evaluation of risks related with livestock diseases: The example of FMD in Peru. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 114, n. 1, p. 47–63, 2014. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.01.013>>.

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, n. 1, p. 29–38, sep 2009. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19500865>>.

MARTÍNEZ-LÓPEZ, B.; PEREZ, A. M.; SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, J. M. Social Network Analysis. Review of General Concepts and Use in Preventive Veterinary Medicine. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 56, n. 4, p. 109–120, may 2009. ISSN 18651674. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1865-1682.2009.01073.x>>.

MATA, A. S. da. **EPIDEMIC PROCESSES AND DIFFUSION ON NETWORKS : ANALYTICAL AND COMPUTATIONAL**. Tese (Tese) — Tese (doutorado em Física) - UNiversidade Federal de Viçosa, 2015.

MCDERMOTT, J.; GRACE, D.; ZINSSTAG, J. Economics of brucellosis impact and control in low-income countries. **Rev Sci Tech**, v. 32, n. 1, p. 249–61, 2013.

MELO, F. L. N. B. de et al. Apoio ao processo de avaliação do serviço de abastecimento de água no Rio Grande do Norte: uma abordagem multicritério. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 675–686, 2018. ISSN 1413-4152.

MOHR, S. et al. Manipulation of contact network structure and the impact on foot-and-mouth disease transmission. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier, v. 157, n. May, p. 8–18, 2018. ISSN 01675877. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.05.006>>.

MORAES, G. M. de. The bovine commercialization circuits as elements of sanitary intervention. **Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa**, Boletim Centro Panamericano Fiebre Aftosa, v. 59, n. 59, p. 29–44, 1993.

MOTTA, P. et al. Implications of the cattle trade network in Cameroon for regional disease prevention and control. **Scientific Reports**, Nature Publishing Group, v. 7, n. 1, p. 43932, dec 2017. ISSN 2045-2322. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/srep43932>><http://www.nature.com/articles/srep43932>>.

NAPP, S. et al. Understanding the legal trade of cattle and camels and the derived risk of Rift Valley Fever introduction into and transmission within Egypt. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 12, n. 1, p. 1–25, 2018. ISSN 19352735.

NATALE, F. et al. Network analysis of italian cattle trade patterns and evaluation of risks for potential disease spread. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 92, n. 4, p. 341 – 350, 2009. ISSN 0167-5877. Special section: Schwabe Symposium 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587709002542>>.

NATALE, F. et al. Evaluation of risk and vulnerability using a Disease Flow Centrality measure in dynamic cattle trade networks. **Preventive veterinary medicine**, Elsevier B.V., v. 98, n. 2-3, p. 111–118, feb 2011. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.11.013>><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587710003363>>.

NEWMAN, M. **NETWORKS An Introduction**. Oxford university press, 2010. 1042 p. Disponível em: <<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.122653799>>.

NEWMAN, M. E. J. Spread of epidemic disease on networks. **Physical Review E**, v. 66, n. 1, p. 016128, jul 2002. ISSN 1063-651X. Disponível em: <<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.66.016128>>.

NEWMAN, M. E. J. The Structure and Function of Complex Networks. **SIAM Review**, v. 45, n. 2, p. 167–256, jan 2003. ISSN 0036-1445. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/cond-mat/0303516><http://dx.doi.org/10.1137/S003614450342480><http://epubs.siam.org/doi/10.1137/S003614450342480>>.

NÖREMARK, M. et al. Network analysis of cattle and pig movements in Sweden: measures relevant for disease control and risk based surveillance. **Preventive veterinary medicine**, v. 99, n. 2-4, p. 78–90, may 2011. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587711000043><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21288583>>.

NÖREMARK, M. et al. EpiContactTrace: an R-package for contact tracing during livestock disease outbreaks and for risk-based surveillance. **BMC veterinary research**, v. 10, p. 71, 2014. ISSN 1746-6148. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1746-6148/10/71>{\protect\T1\textbraceright5Cn<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84897437346>{&}partnerID=tZO}>.

OBIAGA, J. A. et al. **LAS CARACTERISTICAS DE LA PRODUCCION PECUARIA COMO DETERMINANTES DE LOS ECOSISTEMAS DE FIEBRE AFTOSA**. 1979. 33–42 p.

OIE. **Zoning and compartmentalisation**. 2014. 4–7 p.

OIE. Animal Health Surveillance. In: OIE (Ed.). **Terrestrial Animal Health Code**. 27th editi. ed. [S.l.]: OIE, 2018. cap. Chapter 1., p. 1–10. ISBN 978-92-95108-58-5.

ORTIZ-PELAEZ, A. et al. 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, n. 1-2, p. 40–55, sep 2006. ISSN 0167-5877. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16769142><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587706000808>>.

ÖZCAN, T.; ÇELEBI, N.; ESNAF, Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 9773–9779, aug 2011. ISSN 09574174. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957417411002284>>.

PAGE, L. et al. **The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web**. [S.l.], 1999. 1–17 p. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1810.06925>>.

PALISSON, A.; COURCOUL, A. A.; DURAND, B. Role of cattle movements in bovine Tuberculosis spread in France between 2005 and 2014. **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, p. 1–19, 2016. ISSN 19326203.

PASTORE Y PIONTTI, A. et al. The infection tree of global epidemics. **Network Science**, v. 2, n. 01, p. 132–137, apr 2014. ISSN 2050-1242. Disponível em: <http://www.journals.cambridge.org/abstract/_S2050124214000>.

PENA, C. S. **Análise das Redes de Trânsito Animal Integrada à Simulação da Difusão de Enfermidades Infeciosas**. Tese (Universidade Federal de Minas Gerais) — Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

PEREZ, A. et al. Global animal disease surveillance. **Spatial and Spatio-temporal Epidemiology**, Elsevier Ltd, v. 2, n. 3, p. 135–145, sep 2011. ISSN 18775845. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22748173><http://dx.doi.org/10.1016/j.sste.2011.07.006>>.

PETRY, J. F.; ZANIEVICZ, M.; SILVA, D. A. Sinal Dos Tempos : O Ambiente Da Organização Que Transcende Sign of the Times : the Environment of the Organization That Transcends. **Revista Alcance**, v. 23, n. 2, p. 214–235, 2016.

POLJAK, Z. et al. Prevalence of and risk factors for influenza in southern Ontario swine herds in 2001 and 2003 *Résumé*. v. 8, n. 519, p. 7–17, 2008.

POZO, M. del et al. Centrality in directed social networks. A game theoretic approach. **Social Networks**, v. 33, n. 3, p. 191–200, jul 2011. ISSN 03788733. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378873311000177>>.

POZO, P. et al. Analysis of the cattle movement network and its association with the risk of bovine tuberculosis at the farm level in Castilla y Leon, Spain. **Transboundary and Emerging Diseases**, p. 0–3, 2018. ISSN 18651674. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/tbed.13025>>.

PRIMO, L. P. **PRÉ-SELEÇÃO DE AÇÕES COM O MÉTODO MULTICRITÉRIO TOPSIS**. 103 p. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Economia e Finanças IBMEC, 2013.

RAUTUREAU, S.; DUFOUR, B.; DURAND, B. Vulnerability of Animal Trade Networks to The Spread of Infectious Diseases: A Methodological Approach Applied to Evaluation and Emergency Control Strategies in Cattle, France, 2005. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 58, n. 2, p. 110–120, apr 2011. ISSN 18651674. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21159152><http://doi.wiley.com/10.1111/j.1865-1682.2010.01187.x>>.

RAUTUREAU, S.; DUFOUR, B.; DURAND, B. Structural vulnerability of the French swine industry trade network to the spread of infectious diseases. **animal**, v. 6, n. 07, p. 1152–1162, jul 2012. ISSN 1751-7311. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23031477>http://www.journals.cambridge.org/abstract/_S1751731111002>.

REID, S. a. Trypanosoma evansi control and containment in Australasia. **Trends in parasitology**, v. 18, n. 5, p. 219–24, may 2002. ISSN 1471-4922. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11983603>>.

Risia Negreiros. **Caracterização e análise da rede de movimento de bovinos no Estado de Mato Grosso São Paulo**. Tese (Doutorado) — USP, 2010.

ROBINSON, S. E.; CHRISTLEY, R. M. Exploring the role of auction markets in cattle movements within Great Britain. **Preventive veterinary medicine**, v. 81, n. 1-3, p. 21–37, sep 2007. ISSN 0167-5877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587707000827><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17482296>>.

ROSSI, G. et al. The Potential Role of Direct and Indirect Contacts on Infection Spread in Dairy Farm Networks. **PLOS Computational Biology**, v. 13, n. 1, p. e1005301, 2017. ISSN 1553-7358. Disponível em: <<http://dx.plos.org/10.1371/journal.pcbi.1005301>>.

ROY, B.; BOUYSSOU, D. **Aide multicritere à la décision: Méthodes et Cas.** [S.l.]: gestion, 1993. 695 p.

RUSINOWSKA, A. et al. Social networks: Prestige, centrality, and influence (Invited paper). In: SWART de (Ed.). **RAMICS 2011.** Springer, 2011, (Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 6663). p. 22–39. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00633859>>.

SALMAN, M. D. Animal disease surveillance and survey systems : methods and applications. v. 2001, p. xii, 222 p., 2003.

SÁNCHEZ-MATAMOROS, A. et al. Social Network Analysis of Equidae Movements and Its Application to Risk-Based Surveillance and to Control of Spread of Potential Equidae Diseases. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 60, n. 5, p. 448–459, oct 2013. ISSN 18651674. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1865-1682.2012.01365.x>>.

SANJAY, M. et al. TOPSIS method for selection of best composite laminate. In: **Modelling of Damage Processes in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites.** Elsevier, 2019. p. 199–209. ISBN 9780081022894. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081022894000114>>.

SANSON, R. L. A survey to investigate movements off sheep and cattle farms in new zealand, with reference to the potential transmission of foot -and-mouth disease. **New Zealand Veterinary Journal**, v. 53, n. 4, p. 223–233, 2005. ISSN 11760710.

SCHÄRRER, S. et al. Evaluation of farm-level parameters derived from animal movements for use in risk-based surveillance programmes of cattle in Switzerland. **BMC Veterinary Research**, BMC Veterinary Research, v. 11, n. 1, p. 149, 2015. ISSN 1746-6148. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1746-6148/11/149>>.

SCHULZ, J. et al. Network analysis of pig movements : Loyalty patterns and contact chains of different holding types in Denmark. **PloS one**, n. 33010, p. 1–19, jun 2017. ISSN 19326203.

SCHUMM, P. et al. Global epidemic invasion thresholds in directed cattle subpopulation networks having source, sink, and transit nodes. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, v. 367, p. 203–221, 2015. ISSN 10958541. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtbi.2014.12.007>> <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022519314006961>> <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtbi.2014.12.0>>.

ŠIKIĆ, M. et al. Epidemic centrality — is there an underestimated epidemic impact of network peripheral nodes? **The European Physical Journal B**, v. 86, n. 10, p. 440, oct 2013. ISSN 1434-6028. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1140/epjb/e2013-31025-5>>.

SILVA, A. S. **DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES APLICANDO ANÁLISE DE INCERTEZAS E SENSIBILIDADE.** 459 p. Tese (Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina), 2016.

Silva Júnior, J. L. et al. Livestock markets play an important role in the cattle movement network in Pernambuco, Brazil. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 54, n. 3, p. 225, 2017. ISSN 1678-4456. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/bjvras/article/view/124303>>.

- SINTAYEHU, D. W. et al. Disease transmission in animal transfer networks. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 137, p. 36–42, 2017. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.12.017>>.
- SQUARTINI, T. et al. Reciprocity of weighted networks. **Scientific Reports**, v. 3, n. 1, p. 2729, dec 2013. ISSN 2045-2322. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/srep02729>>.
- STÄRK, K. D.; HÄSLER, B. The value of information: Current challenges in surveillance implementation. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 122, n. 1-2, p. 229–234, nov 2015. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587715001889>>.
- STROGATZ, S. H. Exploring complex networks. **Nature**, v. 410, p. 268–276, 2001.
- TAGO, D. et al. The Impact of Farmers' Strategic Behavior on the Spread of Animal Infectious Diseases. **PLOS ONE**, v. 11, n. 6, p. e0157450, jun 2016. ISSN 1932-6203. Disponível em: <<http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0157450>>.
- TANG, S. et al. Identification of highly susceptible individuals in complex networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 432, p. 363–372, aug 2015. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437115003088>>.
- THAKUR, K. K. et al. Analysis of Swine Movement in Four Canadian Regions: Network Structure and Implications for Disease Spread. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 63, n. 1, p. e14–e26, apr 2016. ISSN 18651682. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24739480>>.
- THOMPSON, D. et al. Economic costs of the foot and mouth disease outbreak in the united kingdom in 2001. **Revue scientifique et technique-Office international des epizooties**, OIE Office International Des Epizooties, v. 21, n. 3, p. 675–685, 2002.
- TOMLEY, F. M.; SHIRLEY, M. W. **Livestock infectious diseases and zoonoses**. [S.l.]: The Royal Society, 2009.
- TRIANANTAPHYLLOU, E. Multi-criteria decision making methods. In: **Multi-criteria decision making methods: A comparative study**. [S.l.]: Springer, 2000. p. 5–21.
- USDA. **Country Production Exports Country Production Exports Country Production Exports Livestock and Poultry: World Markets and Trade Pork and Chicken Meat Trade Strengthen, Beef Trade Slackens in 2019**. [S.l.], 2018. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock{_}poultry.>
- VALDANO, E. et al. Predicting Epidemic Risk from Past Temporal Contact Data. **PLoS Computational Biology**, v. 11, n. 3, p. 1–19, 2015. ISSN 15537358.
- Van Schaik, G. et al. Probability of and risk factors for introduction of infectious diseases into Dutch SPF dairy farms: A cohort study. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 54, n. 3, p. 279–289, 2002. ISSN 01675877.

VANDERWAAL, K. L. et al. Network analysis of cattle movements in Uruguay: Quantifying heterogeneity for risk-based disease surveillance and control. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 123, n. August, p. 12–22, jan 2016. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.12.003https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587715300945>>.

VASSILEV, V. T. et al. Information System for Veterinary and Sanitary Control 1. n. 5055, 2001.

VELTHUIS, a. G. J.; MOURITS, M. C. M. Effectiveness of movement-prevention regulations to reduce the spread of foot-and-mouth disease in The Netherlands. **Preventive veterinary medicine**, v. 82, n. 3-4, p. 262–81, dec 2007. ISSN 0167-5877. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17628726>>.

VERNON, M. C. Demographics of cattle movements in the United Kingdom. **BMC veterinary research**, BioMed Central Ltd, v. 7, n. 1, p. 31, jan 2011. ISSN 1746-6148. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1746-6148/7/31http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3148972{&}tool=pmcentrez{&}rendertype=ab>>.

VIDONDO, B.; VOELKL, B. Dynamic network measures reveal the impact of cattle markets and alpine summering on the risk of epidemic outbreaks in the Swiss cattle population. **BMC Veterinary Research**, BMC Veterinary Research, v. 14, n. 1, p. 1–11, 2018. ISSN 17466148.

VOLKOVA, V. V. et al. Potential for transmission of infections in networks of cattle farms. **Epidemics**, Elsevier B.V., v. 2, n. 3, p. 116–22, sep 2010. ISSN 1878-0067. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755436510000460http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21352782http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1755436510000460>>.

VOLKOVA, V. V. et al. Sheep movement networks and the transmission of infectious diseases. **PLoS one**, v. 5, n. 6, p. e11185, jan 2010. ISSN 1932-6203. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2887355{&}tool=pmcentrez{&}rendertype=ab>>.

WANG, J.; ZHAO, L.; HUANG, R. SIRaRu rumor spreading model in complex networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 398, p. 43–55, mar 2014. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2013.12.004https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437113011278>>.

WEI, D. et al. Identifying influential nodes in weighted networks based on evidence theory. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 392, n. 10, p. 2564–2575, may 2013. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2013.01.054https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437113001076>>.

YAMAUCHI, T. et al. Quantitative effects of a declaration of a state of emergency on foot-and-mouth disease. **Environmental health and preventive medicine**, Springer Japan, n. August, 2016. ISSN 1347-4715. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27032773>>.

YANG, P.; XU, G.; CHEN, H. Multi-attribute ranking method for identifying key nodes in complex networks based on GRA. **International Journal of Modern Physics B**, v. 32, n. 32, p. 1850363, dec 2018. ISSN 0217-9792. Disponível em: <<https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0217979218503630>>.

YANG, Z.; ZHOU, T. Epidemic spreading in weighted networks: An edge-based mean-field solution. **Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics**, v. 85, n. 5, p. 1–7, 2012. ISSN 15393755.

YOON, K. P.; HWANG, C.-L. **Multiple attribute decision making: an introduction**. [S.l.]: Sage publications, 1995. v. 104.

ZAREIE, A.; SHEIKHAHMADI, A.; KHAMFOROOSH, K. Influence maximization in social networks based on TOPSIS. **Expert Systems with Applications**, Elsevier Ltd, v. 108, p. 96–107, oct 2018. ISSN 09574174. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957417418302781>>.

ZHANG, X. et al. Identifying influential nodes in complex networks with community structure. **Knowledge-Based Systems**, v. 42, p. 74–84, apr 2013. ISSN 09507051. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950705113000294><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950705113000294><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950705113000294>>.

ZHU, H. et al. Identifying the main paths of information diffusion in online social networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 452, p. 320–328, jun 2016. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2016.01.048><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037843711600087X>>.

REFERÊNCIAS

- ABIEC. **Perfil da Pecuária no Brasil - Realtório Anual**. [S.l.], 2018. v. 91, 399–404 p.
- ARRUDA, G. F. de et al. Role of centrality for the identification of influential spreaders in complex networks. **Physical Review E**, v. 90, n. 3, p. 032812, sep 2014. ISSN 1539-3755. Disponível em: <<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.90.032812>>.
- ASTUDILLO, V. M. formas de organização da produção como determinantes de risco de febre aftosa retirar. **A hora Veterinária**, v. 17, n. ano 3, p. 11–20, 1984.
- ASTUDILLO, V. M.; DORA, J. F.; SILVA, A. J. ECOSYSTEMS AND REGIONAL STRATEGIES FOR FOOT-AND-MOUTH DISEASE CONTROL. APPLICATION TO THE CASE OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL. **Boletim Centro Panamericano Fiebre Aftosa**, Boletim Centro Panamericano Fiebre Aftosa, n. 52, p. 63–77, 1986.
- AZNAR, M. N. et al. Analysis of cattle movements in Argentina, 2005. **Preventive veterinary medicine**, Elsevier B.V., v. 98, n. 2-3, p. 119–27, feb 2011. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587710003272http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21122931>>.
- BAE, J.; KIM, S. Identifying and ranking influential spreaders in complex networks by neighborhood coreness. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 395, p. 549–559, feb 2014. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437113010406https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437113010406>>.
- BAJARDI, P. et al. Dynamical patterns of cattle trade movements. **PLoS ONE**, v. 6, n. 5, p. 1–51, jan 2011. ISSN 19326203. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3097215{&}tool=pmcentrez{&}rendertype=ab>>.
- BAJARDI, P. et al. Optimizing surveillance for livestock disease spreading through animal movements. **Journal of The Royal Society Interface**, v. 9, n. 76, p. 2814–2825, nov 2012. ISSN 1742-5689. Disponível em: <<http://rsif.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rsif.2012.0289>>.
- BALCAN, D. et al. Multiscale mobility networks and the spatial spreading of infectious diseases. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 51, p. 21484–21489, dec 2009. ISSN 0027-8424.
- BAO, Z.-K. et al. Identification of influential nodes in complex networks: Method from spreading probability viewpoint. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 468, p. 391–397, feb 2017. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437116307907https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437116307907>>.
- BAPTISTA, F. M.; NUNES, T. Spatial analysis of cattle movement patterns in Portugal. **Veterinaria Italiana**, v. 43, n. 3, p. 611–619, 2007. ISSN 1828-1427.
- BARABASI, A.-L. NETWORK SCIENCE INTRODUCTION. In: **Network Science**. [S.l.: s.n.], 2016. cap. 04.

- BARABASI, A.-L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. **Science**, v. 286, n. 5439, p. 509–512, oct 1999. ISSN 00368075. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/cond-mat/9910332http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.286.5439.509http://dx.doi.org/10.1126/science.286.5439.509>>.
- BIAN, T.; HU, J.; DENG, Y. Identifying influential nodes in complex networks based on AHP. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 479, p. 422–436, aug 2017. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2017.02.085https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437117302194>>.
- BIGRAS-POULIN, M. et al. Relationship of trade patterns of the Danish swine industry animal movements network to potential disease spread. **Preventive veterinary medicine**, v. 80, n. 2-3, p. 143–65, jul 2007. ISSN 0167-5877. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17383759http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587707000384>>.
- BOCCALETTI, S. et al. Complex networks: Structure and dynamics. **Physics Reports**, v. 424, n. 4-5, p. 175–308, feb 2006. ISSN 03701573. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037015730500462X>>.
- BONACICH, P. Some unique properties of eigenvector centrality. **Social Networks**, v. 29, n. 4, p. 555–564, oct 2007. ISSN 03788733. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378873307000342>>.
- BRANDES, U. A faster algorithm for betweenness centrality. **The Journal of Mathematical Sociology**, Routledge, v. 25, n. 2, p. 163–177, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/0022250X.2001.9990249>>.
- BRASIL, M. d. A. P. e. A. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 18, DE 18 DE JULHO DE 2006**. DF; Brasília: [s.n.], 2006. p. 6 p. Disponível em: <[>](http://sistemasweb.agricultura.gov.br/action/detalhaAto.do?method=imprimirAto{&}tipo=INM{&}numeroAto=00000018{&}seqAto=000{&}valorAno=2006{&}orgao=MAPA{&}codTipo={&}.>></p>
<p>BRASIL, M. d. A. P. e. A. Instrução Normativa n. 44, de 02 de outubro de 2007. Aprovar as diretrizes gerais para a Erradicação e a Prevenção da Febre Aftosa. Brasília - DF: Diário Oficial da União, 2007.</p>
<p>BRASIL, M. d. A. P. e. A. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 19, DE 3 DE MAIO DE 2011. DF; Brasília: [s.n.], 2011. p. 2 p. Disponível em: <<a href=)
- BRENNAN, M. L.; KEMP, R.; CHRISTLEY, R. M. Direct and indirect contacts between cattle farms in north-west England. **Preventive veterinary medicine**, v. 84, n. 3-4, p. 242–60, may 2008. ISSN 0167-5877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016758770700253X>>.
- BROOKS-POLLOCK, E. et al. Challenges in modelling infectious livestock diseases. **Epidemics**, Elsevier B.V., v. 10, p. 1–5, aug 2014. ISSN 17554365. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1755436514000401>>.
- BUHNERKEMPE, M. G. et al. The Impact of Movements and Animal Density on Continental Scale Cattle Disease Outbreaks in the United States. **PLoS ONE**, v. 9, n. 3, p. 1–10, 2014. ISSN 19326203.

BÜTTNER, K. et al. Efficient interruption of infection chains by targeted removal of central holdings in an animal trade network. **PloS one**, v. 8, n. 9, p. e74292, jan 2013. ISSN 1932-6203. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3771899&tool=pmcentrez&rendertype=ab>>.

BÜTTNER, K. et al. Static network analysis of a pork supply chain in Northern Germany—Characterisation of the potential spread of infectious diseases via animal movements. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 110, n. 3-4, p. 418–428, jul 2013. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587713000287><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23462679><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587713000287>>.

BÜTTNER, K.; KRIETER, J.; TRAULSEN, I. Characterization of Contact Structures for the Spread of Infectious Diseases in a Pork Supply Chain in Northern Germany by Dynamic Network Analysis of Yearly and Monthly Networks. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 62, n. 2, p. 188–199, apr 2015. ISSN 18651674. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/tbed.12106>>.

CARPENTER, T. E. Methods to investigate spatial and temporal clustering in veterinary epidemiology. **Preventive veterinary medicine**, v. 48, n. 4, p. 303–20, mar 2001. ISSN 0167-5877. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11259822><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587700001999>>.

CARPENTER, T. E. et al. 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**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 23, n. 1, p. 26–33, 2011.

CHEN, D. et al. Identifying influential nodes in complex networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 391, n. 4, p. 1777–1787, feb 2012. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437111007333><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437111007333>>.

CHRISTLEY, R. M. et al. **Network analysis of cattle movement in Great Britain**. [S.l.], 2005. 234–244 p. Disponível em: <<http://www.cabdirect.org/abstracts/20053202486.html>>.

CIPULLO, R. I. et al. Cattle movement network, herd size, and bovine brucellosis in the State of Mato Grosso, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 5, p. 3777–3792, 2016. ISSN 16790359.

COHEN, R.; HAVLIN, S. **Complex Networks: Structure, Robustness and Function**. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 243 p. ISBN 9780511780356.

CRABB, H. K. et al. The use of social network analysis to examine the transmission of *Salmonella* spp. within a vertically integrated broiler enterprise. **Food Microbiology**, Elsevier Ltd, p. 1–9, 2016. ISSN 10959998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2017.03.008>>.

DENT, J. E. et al. Contact structures in the poultry industry in Great Britain: exploring transmission routes for a potential avian influenza virus epidemic. **BMC Veterinary Research**, v. 4, n. August, p. 27, 2008. ISSN 1746-6148. Disponível em: <<http://apps.webofknowledge.com>>.

com/full{_}record.do?product=UA{&}search{_}mode=GeneralSearch{&}qid=2{&}SID=S1yLHI4KUgVJT9Bh7CZ>.

DIEHL, C. A. CUSTOS INTANGÍVEIS : UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO. In: **VI Congresso Brasileiro de Custos**. São Paulo - SP: [s.n.], 1999. p. 17.

DORJEE, S. et al. Network analysis of swine shipments in Ontario, Canada, to support disease spread modelling and risk-based disease management. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 112, n. 1-2, p. 118–127, oct 2013. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587713002079><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587713002079>>.

DOROGOVTSEV, S. N.; MENDES, J. F. F. The shortest path to complex networks. p. 1–24, 2004. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/cond-mat/0404593>>.

DREWE, J. A. et al. Patterns of direct and indirect contact between cattle and badgers naturally infected with tuberculosis. **Epidemiology and Infection**, v. 141, n. 07, p. 1467–1475, jul 2013. ISSN 0950-2688. Disponível em: <http://www.journals.cambridge.org/abstract{_}S0950268813000>.

DU, Y. et al. A new method of identifying influential nodes in complex networks based on TOPSIS. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 399, p. 57–69, apr 2014. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2013.12.031><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437113011552>>.

DUBÉ, C.; RIBBLE, C.; KELTON, D. An analysis of the movement of dairy cattle through 2 large livestock markets in the province of Ontario, Canada. **Canadian Veterinary Journal**, v. 51, n. 11, p. 1254–1260, 2010. ISSN 00085286.

DUBÉ, C. et al. Comparing network analysis measures to determine potential epidemic size of highly contagious exotic diseases in fragmented monthly networks of dairy cattle movements in Ontario, Canada. **Transboundary and emerging diseases**, v. 55, n. 9-10, p. 382–92, dec 2008. ISSN 1865-1674. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18840200>>.

DUTTA, B. L.; EZANNO, P.; VERGU, E. Characteristics of the spatio-temporal network of cattle movements in France over a 5-year period. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 117, n. 1, p. 79–94, nov 2014. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587714002943><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587714002943>>.

Embrapa Gado de Leite. **Anuário Leite 2018**. [S.l.], 2018. 116 p. Disponível em: <www.embrapa.br/gado-de-leite>.

ENSOY, C. et al. Exploring cattle movements in Belgium. **Preventive veterinary medicine**, Elsevier B.V., v. 116, n. 1-2, p. 89–101, sep 2014. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24881483>>.

ERDÖS, P.; RÉNYI, A. On random graphs. **Publicationes Mathematicae (Debrecen)**, v. 6, p. 290–297, 1959.

ERDÖS, P.; RÉNYI, A. On the evolution of random graphs. **Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci**, v. 5, n. 1, p. 17–60, 1960.

FEI, L.; ZHANG, Q.; DENG, Y. Identifying influential nodes in complex networks based on the inverse-square law. **Physica A**, Elsevier B.V., v. 512, p. 1044–1059, 2018. ISSN 0378-4371. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.08.135>>.

FERREIRA, S. C.; CASTELLANO, C.; PASTOR-SATORRAS, R. Epidemic thresholds of the Susceptible-Infected-Susceptible model on networks: A comparison of numerical and theoretical results. **PHYSICAL REVIEW E**, v. 86, n. 041125, p. 1–9, 2012.

FÈVRE, E. M. et al. Animal movements and the spread of infectious diseases. **Trends in microbiology**, v. 14, n. 3, p. 125–31, mar 2006. ISSN 0966-842X. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16460942><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966842X06000175>>.

FIRESTONE, S. M. et al. Adding the spatial dimension to the social network analysis of an epidemic: investigation of the 2007 outbreak of equine influenza in Australia. **Preventive veterinary medicine**, Elsevier B.V., v. 106, n. 2, p. 123–35, sep 2012. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22365721>>.

FREEMAN, L. C. A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. **Sociometry**, v. 40, n. 1, p. 35, 1977. ISSN 00380431. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3033543?origin=crossref>>.

FREEMAN, L. C. Centrality in social networks conceptual clarification. **Social Networks**, v. 1, n. 3, p. 215–239, jan 1978. ISSN 03788733. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378873378900217>>.

FRÖSSLING, J. et al. A novel method to identify herds with an increased probability of disease introduction due to animal trade. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 117, n. 2, p. 367–374, nov 2014. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587714002487><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587714002487>>.

FRÖSSLING, J. et al. Application of network analysis parameters in risk-based surveillance - examples based on cattle trade data and bovine infections in Sweden. **Preventive veterinary medicine**, Elsevier B.V., v. 105, n. 3, p. 202–8, jul 2012. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587711003990><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22265643>>.

FU, Y.-h.; HUANG, C.-y.; SUN, C.-t. Using global diversity and local topology features to identify influential network spreaders. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 433, p. 344–355, sep 2015. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2015.03.042><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437115003040>>.

GANDHI, M.; MURUGANANTHAM, A. Potential Influencers Identification Using Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods. **Procedia Computer Science**, Elsevier Masson SAS, v. 57, p. 1179–1188, 2015. ISSN 18770509. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.411><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050915019407>>.

GAO, C. et al. A Bio-Inspired Methodology of Identifying Influential Nodes in Complex Networks. **PLoS ONE**, v. 8, n. 6, 2013. ISSN 19326203.

- GAO, S. et al. Ranking the spreading ability of nodes in complex networks based on local structure. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 403, p. 130–147, jun 2014. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437114001411>><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437114001411>>.
- GATES, M. C.; WOOLHOUSE, M. E. Controlling infectious disease through the targeted manipulation of contact network structure. **Epidemics**, Elsevier B.V., v. 12, p. 11–19, sep 2015. ISSN 17554365. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.epidem.2015.02.008>><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1755436515000304>>.
- GERBIER, G. et al. A point pattern model of the spread of foot-and-mouth disease. v. 56, 2002.
- GILBERT, M. et al. Cattle movements and bovine tuberculosis in Great Britain. **Nature**, v. 435, n. 7041, p. 491–6, may 2005. ISSN 1476-4687. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15917808>>.
- GILLESPIE, D. T. A General Method for Numerically Simulating the Stochastic Time Evolution of Coupled Chemical Reactions. **Journal of Computational Physics**, v. 22, p. 403–434, 1976.
- GIRVAN, M.; NEWMAN, M. E. J. Community structure in social and biological networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 12, p. 7821–7826, jun 2002. ISSN 0027-8424. Disponível em: <<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.122653799>>.
- GONZA, M. C. Understanding individual human mobility patterns. v. 453, n. June, p. 779–782, 2008.
- GORSICH, E. E. et al. Mapping U.S. cattle shipment networks: Spatial and temporal patterns of trade communities from 2009 to 2011. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 134, p. 82–91, 2016. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.09.023>>.
- GREAR, D. a. et al. Local cattle movements in response to ongoing bovine tuberculosis zonation and regulations in Michigan, USA. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 114, n. 3-4, p. 201–212, mar 2014. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587714001032>><http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.03.008>>.
- GREEN, D. M.; GREGORY, A.; MUNRO, L. A. Small- and large-scale network structure of live fish movements in Scotland. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 91, n. 2-4, p. 261–269, oct 2009. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587709001731>>.
- GREEN, D. M.; KISS, I. Z.; KAO, R. R. Modelling the initial spread of foot-and-mouth disease through animal movements. **Proceedings. Biological sciences / The Royal Society**, v. 273, n. 1602, p. 2729–2735, 2006. ISSN 0962-8452.
- GUINAT, C. et al. Exploring pig trade patterns to inform the design of risk-based disease surveillance and control strategies. **Scientific Reports**, Nature Publishing Group, v. 6, n. August, p. 28429, 2016. ISSN 2045-2322. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/srep28429>><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27357836>>

[//www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4928095http://www.nature.com/articles/srep284](http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4928095http://www.nature.com/articles/srep284)}.>

HADORN, D. C.; STÄRK, K. D. C. Original article Evaluation and optimization of surveillance systems for rare and emerging infectious diseases. **Veterinary Research**, v. 39:57, p. 1–12, 2008.

HAYDON, D. T. et al. The construction and analysis of epidemic trees with reference to the 2001 UK foot-and-mouth outbreak. **Proceedings. Biological sciences / The Royal Society**, v. 270, n. 1511, p. 121–7, jan 2003. ISSN 0962-8452. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1691228>{&}tool=pmcentrez{&}rendertype=ab>.

HIDANO, A. et al. Evaluating the efficacy of regionalisation in limiting high-risk livestock trade movements. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 133, p. 31–41, oct 2016. ISSN 01675877. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587716303610>>.

HOLME, P. Epidemiologically Optimal Static Networks from Temporal Network Data. **PLoS Computational Biology**, v. 9, n. 7, 2013. ISSN 1553734X.

HU, J. et al. A modified weighted TOPSIS to identify influential nodes in complex networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., n. xxxx, 2015. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437115007554>>.

HWANG, C.-L.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making Methods**. 1. ed. Berlin: [s.n.], 1981. 263 p. ISBN 9783540105589.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. [S.l.], 2018.

IOTTI, B. et al. Farm productive realities and the dynamics of bovine viral diarrhoea (BVD) transmission. 2017.

KAO, R. et al. Demographic structure and pathogen dynamics on the network of livestock movements in Great Britain. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 273, n. 1597, p. 1999–2007, aug 2006. ISSN 0962-8452. Disponível em: <<http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/royprsb/273/1597/1999.full.pdf><http://www.royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2006.3505>>.

KARRER, B.; NEWMAN, M. E. J. Competing epidemics on complex networks. **Physical Review E**, v. 84, n. 3, p. 036106, sep 2011. ISSN 1539-3755. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1105.3424><http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevE.84.036106><https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.84.036106>>.

KEELING, M. J. et al. Individual identity and movement networks for disease metapopulations. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 19, p. 8866–8870, 2010. ISSN 0027-8424. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/107/19/8866.abstract><http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1000416107>>.

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 / the Royal Society**, v. 3, n. 10, p. 669–677, oct 2006. ISSN 1742-5689. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1664651>{&}tool=pmcentrez{&}rendertype=ab>.

KITSAK, M. et al. Identification of influential spreaders in complex networks. **Nature Physics**, Nature Publishing Group, v. 6, n. 11, p. 888–893, nov 2010. ISSN 1745-2473. Disponível em: <<http://www.nature.com/doi/10.1038/nphys1746><http://arxiv.org/abs/1001.5285><http://www.nature.com/articles/nphys1746>>.

KUKIELKA, E. A.; MARTÍNEZ-LÓPEZ, B.; BELTRÁN-ALCRUDO, D. Modeling the live-pig trade network in Georgia: Implications for disease prevention and control. **PLoS ONE**, v. 12, n. 6, p. 1–15, 2017. ISSN 19326203.

KURODA, R. B. D. S. **Avaliação da dinâmica do efetivo bovino no Estado do Mato Grosso e seu impacto no controle da brucelose bovina**. 66 p. Tese (Tese (Doutorado em Ciências)) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

LAWYER, G. Understanding the influence of all nodes in a network. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 8665, aug 2015. ISSN 2045-2322. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/srep08665>>.

LEBL, K. et al. Impact of Network Activity on the Spread of Infectious Diseases through the German Pig Trade Network. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 3, n. June, p. 48, jun 2016. ISSN 2297-1769. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fvets.2016.00048/abstract>>.

LEE, K. et al. Unraveling the contact patterns and network structure of pig shipments in the United States and its association with porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) outbreaks. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 138, p. 113–123, 2017. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.02.001>>.

LENTZ, H. H. K. et al. Disease spread through animal movements: A static and temporal network analysis of pig trade in Germany. **PLoS ONE**, v. 11, n. 5, p. 1–32, 2016. ISSN 19326203. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1602.09108>>.

LEÓN, E. a. et al. The use of geographic information systems for foot and mouth disease surveillance in Argentina. **Veterinaria italiana**, v. 43, n. 3, p. 469–75, 2007. ISSN 1828-1427. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20422523>>.

LI, Q. et al. Identifying influential spreaders by weighted LeaderRank. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 404, p. 47–55, jun 2014. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2014.02.041><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437114001502>>.

LI, X. et al. Identifying social influence in complex networks: A novel conductance eigenvector centrality model. **Neurocomputing**, v. 210, p. 141–154, oct 2016. ISSN 09252312. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925231216305860><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925231216305860>>.

LIANG, Z.-W.; LI, J.-P. Identifying and ranking influential spreaders in complex networks. In: **2014 11th International Computer Conference on Wavelet Actiev Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)**. IEEE, 2014. v. 452, p. 393–396. ISBN 978-1-4799-7207-4. ISSN 03784371. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437116001941><http://ieeexplore.ieee.org/document/7073434/>>.

LIU, J.-G.; REN, Z.-M.; GUO, Q. Ranking the spreading influence in complex networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 392, n. 18, p. 4154–4159, sep 2013. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437113003506><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437113003506>>.

LIU, Q.-h. et al. Measurability of the epidemic reproduction number in data-driven contact networks. p. 1–6, 2018.

LÜ, L. et al. Leaders in Social Networks, the Delicious Case. **PLoS ONE**, v. 6, n. 6, p. e21202, jun 2011. ISSN 1932-6203. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0021202>>.

LUSSEAU, D.; NEWMAN, M. E. J. Identifying the role that animals play in their social networks. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 271, n. suppl_6, p. 477–481, dec 2004. ISSN 1471-2954. Disponível em: <<http://www.royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsbl.2004.0225>>.

MA, L.-l. et al. Identifying influential spreaders in complex networks based on gravity formula. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 451, p. 205–212, jun 2016. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2015.12.162><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437116000959>>.

MARABELLI, R. The role of official veterinary services in dealing with new social challenges: animal health and protection, food safety, and the environment. **Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.**, v. 22, n. 2, p. 363–371, 2003. ISSN 0253-1933 (Print). Disponível em: <<http://www.oie.int/doc/ged/D399.PDF>>.

MARDONES, F. O. et al. The value of animal movement tracing: a case study simulating the spread and control of foot-and-mouth disease in California. **Preventive veterinary medicine**, Elsevier B.V., v. 110, n. 2, p. 133–8, jun 2013. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23260796><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587712004011>>.

MARQUETOUX, N. et al. Using social network analysis to inform disease control interventions. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 126, p. 94–104, apr 2016. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.01.022><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587716300393>>.

MARTÍNEZ-LÓPEZ, B. et al. A multi-analysis approach for space-time and economic evaluation of risks related with livestock diseases: The example of FMD in Peru. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 114, n. 1, p. 47–63, 2014. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.01.013>>.

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, n. 1, p. 29–38, sep 2009. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19500865>>.

MARTÍNEZ-LÓPEZ, B.; PEREZ, A. M.; SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, J. M. Social Network Analysis. Review of General Concepts and Use in Preventive Veterinary Medicine. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 56, n. 4, p. 109–120, may 2009. ISSN 18651674. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1865-1682.2009.01073.x>>.

MATA, A. S. da. **EPIDEMIC PROCESSES AND DIFFUSION ON NETWORKS : ANALYTICAL AND COMPUTATIONAL**. Tese (Tese) — Tese (doutorado em Física) - UNiversidade Federal de Viçosa, 2015.

MCDERMOTT, J.; GRACE, D.; ZINSSTAG, J. Economics of brucellosis impact and control in low-income countries. **Rev Sci Tech**, v. 32, n. 1, p. 249–61, 2013.

MELO, F. L. N. B. de et al. Apoio ao processo de avaliação do serviço de abastecimento de água no Rio Grande do Norte: uma abordagem multicritério. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 675–686, 2018. ISSN 1413-4152.

MOHR, S. et al. Manipulation of contact network structure and the impact on foot-and-mouth disease transmission. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier, v. 157, n. May, p. 8–18, 2018. ISSN 01675877. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.05.006>>.

MORAES, G. M. de. The bovine commercialization circuits as elements of sanitary intervention. **Boletín del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa**, Boletim Centro Panamericano Fiebre Aftosa, v. 59, n. 59, p. 29–44, 1993.

MOTTA, P. et al. Implications of the cattle trade network in Cameroon for regional disease prevention and control. **Scientific Reports**, Nature Publishing Group, v. 7, n. 1, p. 43932, dec 2017. ISSN 2045-2322. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/srep43932>><http://www.nature.com/articles/srep43932>>.

NAPP, S. et al. Understanding the legal trade of cattle and camels and the derived risk of Rift Valley Fever introduction into and transmission within Egypt. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 12, n. 1, p. 1–25, 2018. ISSN 19352735.

NATALE, F. et al. Network analysis of italian cattle trade patterns and evaluation of risks for potential disease spread. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 92, n. 4, p. 341 – 350, 2009. ISSN 0167-5877. Special section: Schwabe Symposium 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587709002542>>.

NATALE, F. et al. Evaluation of risk and vulnerability using a Disease Flow Centrality measure in dynamic cattle trade networks. **Preventive veterinary medicine**, Elsevier B.V., v. 98, n. 2-3, p. 111–118, feb 2011. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.11.013>><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587710003363>>.

NEWMAN, M. **NETWORKS An Introduction**. Oxford university press, 2010. 1042 p. Disponível em: <<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.122653799>>.

NEWMAN, M. E. J. Spread of epidemic disease on networks. **Physical Review E**, v. 66, n. 1, p. 016128, jul 2002. ISSN 1063-651X. Disponível em: <<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.66.016128>>.

NEWMAN, M. E. J. The Structure and Function of Complex Networks. **SIAM Review**, v. 45, n. 2, p. 167–256, jan 2003. ISSN 0036-1445. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/cond-mat/0303516><http://dx.doi.org/10.1137/S003614450342480><http://epubs.siam.org/doi/10.1137/S003614450342480>>.

NÖREMARK, M. et al. Network analysis of cattle and pig movements in Sweden: measures relevant for disease control and risk based surveillance. **Preventive veterinary medicine**, v. 99, n. 2-4, p. 78–90, may 2011. ISSN 1873-1716. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587711000043><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21288583>>.

NÖREMARK, M. et al. EpiContactTrace: an R-package for contact tracing during livestock disease outbreaks and for risk-based surveillance. **BMC veterinary research**, v. 10, p. 71, 2014. ISSN 1746-6148. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1746-6148/10/71>{\protect\T1\textbraceright5Cn<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84897437346>{&}partnerID=tZO}>.

OBIAGA, J. A. et al. **LAS CARACTERISTICAS DE LA PRODUCCION PECUARIA COMO DETERMINANTES DE LOS ECOSISTEMAS DE FIEBRE AFTOSA**. 1979. 33–42 p.

OIE. **Zoning and compartmentalisation**. 2014. 4–7 p.

OIE. Animal Health Surveillance. In: OIE (Ed.). **Terrestrial Animal Health Code**. 27th editi. ed. [S.l.]: OIE, 2018. cap. Chapter 1., p. 1–10. ISBN 978-92-95108-58-5.

ORTIZ-PELAEZ, A. et al. 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, n. 1-2, p. 40–55, sep 2006. ISSN 0167-5877. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16769142><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587706000808>>.

ÖZCAN, T.; ÇELEBI, N.; ESNAF, Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 9773–9779, aug 2011. ISSN 09574174. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957417411002284>>.

PAGE, L. et al. **The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web**. [S.l.], 1999. 1–17 p. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1810.06925>>.

PALISSON, A.; COURCOUL, A. A.; DURAND, B. Role of cattle movements in bovine Tuberculosis spread in France between 2005 and 2014. **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, p. 1–19, 2016. ISSN 19326203.

PASTORE Y PIONTTI, A. et al. The infection tree of global epidemics. **Network Science**, v. 2, n. 01, p. 132–137, apr 2014. ISSN 2050-1242. Disponível em: <http://www.journals.cambridge.org/abstract/_S2050124214000>.

PENA, C. S. **Análise das Redes de Trânsito Animal Integrada à Simulação da Difusão de Enfermidades Infeciosas**. Tese (Universidade Federal de Minas Gerais) — Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

PEREZ, A. et al. Global animal disease surveillance. **Spatial and Spatio-temporal Epidemiology**, Elsevier Ltd, v. 2, n. 3, p. 135–145, sep 2011. ISSN 18775845. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22748173><http://dx.doi.org/10.1016/j.sste.2011.07.006>>.

PETRY, J. F.; ZANIEVICZ, M.; SILVA, D. A. Sinal Dos Tempos : O Ambiente Da Organização Que Transcende Sign of the Times : the Environment of the Organization That Transcends. **Revista Alcance**, v. 23, n. 2, p. 214–235, 2016.

POLJAK, Z. et al. Prevalence of and risk factors for influenza in southern Ontario swine herds in 2001 and 2003 *Résumé*. v. 8, n. 519, p. 7–17, 2008.

POZO, M. del et al. Centrality in directed social networks. A game theoretic approach. **Social Networks**, v. 33, n. 3, p. 191–200, jul 2011. ISSN 03788733. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378873311000177>>.

POZO, P. et al. Analysis of the cattle movement network and its association with the risk of bovine tuberculosis at the farm level in Castilla y Leon, Spain. **Transboundary and Emerging Diseases**, p. 0–3, 2018. ISSN 18651674. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/tbed.13025>>.

PRIMO, L. P. **PRÉ-SELEÇÃO DE AÇÕES COM O MÉTODO MULTICRITÉRIO TOPSIS**. 103 p. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Economia e Finanças IBMEC, 2013.

RAUTUREAU, S.; DUFOUR, B.; DURAND, B. Vulnerability of Animal Trade Networks to The Spread of Infectious Diseases: A Methodological Approach Applied to Evaluation and Emergency Control Strategies in Cattle, France, 2005. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 58, n. 2, p. 110–120, apr 2011. ISSN 18651674. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21159152><http://doi.wiley.com/10.1111/j.1865-1682.2010.01187.x>>.

RAUTUREAU, S.; DUFOUR, B.; DURAND, B. Structural vulnerability of the French swine industry trade network to the spread of infectious diseases. **animal**, v. 6, n. 07, p. 1152–1162, jul 2012. ISSN 1751-7311. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23031477>http://www.journals.cambridge.org/abstract/_S1751731111002>.

REID, S. a. Trypanosoma evansi control and containment in Australasia. **Trends in parasitology**, v. 18, n. 5, p. 219–24, may 2002. ISSN 1471-4922. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11983603>>.

Risia Negreiros. **Caracterização e análise da rede de movimento de bovinos no Estado de Mato Grosso São Paulo**. Tese (Doutorado) — USP, 2010.

ROBINSON, S. E.; CHRISTLEY, R. M. Exploring the role of auction markets in cattle movements within Great Britain. **Preventive veterinary medicine**, v. 81, n. 1-3, p. 21–37, sep 2007. ISSN 0167-5877. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167587707000827><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17482296>>.

ROSSI, G. et al. The Potential Role of Direct and Indirect Contacts on Infection Spread in Dairy Farm Networks. **PLOS Computational Biology**, v. 13, n. 1, p. e1005301, 2017. ISSN 1553-7358. Disponível em: <<http://dx.plos.org/10.1371/journal.pcbi.1005301>>.

ROY, B.; BOUYSSOU, D. **Aide multicritere à la décision: Méthodes et Cas.** [S.l.]: gestion, 1993. 695 p.

RUSINOWSKA, A. et al. Social networks: Prestige, centrality, and influence (Invited paper). In: SWART de (Ed.). **RAMICS 2011.** Springer, 2011, (Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 6663). p. 22–39. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00633859>>.

SALMAN, M. D. Animal disease surveillance and survey systems : methods and applications. v. 2001, p. xii, 222 p., 2003.

SÁNCHEZ-MATAMOROS, A. et al. Social Network Analysis of Equidae Movements and Its Application to Risk-Based Surveillance and to Control of Spread of Potential Equidae Diseases. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 60, n. 5, p. 448–459, oct 2013. ISSN 18651674. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1865-1682.2012.01365.x>>.

SANJAY, M. et al. TOPSIS method for selection of best composite laminate. In: **Modelling of Damage Processes in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites.** Elsevier, 2019. p. 199–209. ISBN 9780081022894. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081022894000114>>.

SANSON, R. L. A survey to investigate movements off sheep and cattle farms in new zealand, with reference to the potential transmission of foot -and-mouth disease. **New Zealand Veterinary Journal**, v. 53, n. 4, p. 223–233, 2005. ISSN 11760710.

SCHÄRRER, S. et al. Evaluation of farm-level parameters derived from animal movements for use in risk-based surveillance programmes of cattle in Switzerland. **BMC Veterinary Research**, BMC Veterinary Research, v. 11, n. 1, p. 149, 2015. ISSN 1746-6148. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1746-6148/11/149>>.

SCHULZ, J. et al. Network analysis of pig movements : Loyalty patterns and contact chains of different holding types in Denmark. **PloS one**, n. 33010, p. 1–19, jun 2017. ISSN 19326203.

SCHUMM, P. et al. Global epidemic invasion thresholds in directed cattle subpopulation networks having source, sink, and transit nodes. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, v. 367, p. 203–221, 2015. ISSN 10958541. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtbi.2014.12.007>> <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022519314006961>> <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtbi.2014.12.0>>.

ŠIKIĆ, M. et al. Epidemic centrality — is there an underestimated epidemic impact of network peripheral nodes? **The European Physical Journal B**, v. 86, n. 10, p. 440, oct 2013. ISSN 1434-6028. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1140/epjb/e2013-31025-5>>.

SILVA, A. S. **DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES APLICANDO ANÁLISE DE INCERTEZAS E SENSIBILIDADE.** 459 p. Tese (Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina), 2016.

Silva Júnior, J. L. et al. Livestock markets play an important role in the cattle movement network in Pernambuco, Brazil. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 54, n. 3, p. 225, 2017. ISSN 1678-4456. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/bjvras/article/view/124303>>.

- SINTAYEHU, D. W. et al. Disease transmission in animal transfer networks. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 137, p. 36–42, 2017. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.12.017>>.
- SQUARTINI, T. et al. Reciprocity of weighted networks. **Scientific Reports**, v. 3, n. 1, p. 2729, dec 2013. ISSN 2045-2322. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/srep02729>>.
- STÄRK, K. D.; HÄSLER, B. The value of information: Current challenges in surveillance implementation. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 122, n. 1-2, p. 229–234, nov 2015. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587715001889>>.
- STROGATZ, S. H. Exploring complex networks. **Nature**, v. 410, p. 268–276, 2001.
- TAGO, D. et al. The Impact of Farmers' Strategic Behavior on the Spread of Animal Infectious Diseases. **PLOS ONE**, v. 11, n. 6, p. e0157450, jun 2016. ISSN 1932-6203. Disponível em: <<http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0157450>>.
- TANG, S. et al. Identification of highly susceptible individuals in complex networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 432, p. 363–372, aug 2015. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437115003088>>.
- THAKUR, K. K. et al. Analysis of Swine Movement in Four Canadian Regions: Network Structure and Implications for Disease Spread. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 63, n. 1, p. e14–e26, apr 2016. ISSN 18651682. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24739480>>.
- THOMPSON, D. et al. Economic costs of the foot and mouth disease outbreak in the united kingdom in 2001. **Revue scientifique et technique-Office international des epizooties**, OIE Office International Des Epizooties, v. 21, n. 3, p. 675–685, 2002.
- TOMLEY, F. M.; SHIRLEY, M. W. **Livestock infectious diseases and zoonoses**. [S.l.]: The Royal Society, 2009.
- TRIANANTAPHYLLOU, E. Multi-criteria decision making methods. In: **Multi-criteria decision making methods: A comparative study**. [S.l.]: Springer, 2000. p. 5–21.
- USDA. **Country Production Exports Country Production Exports Country Production Exports Livestock and Poultry: World Markets and Trade Pork and Chicken Meat Trade Strengthen, Beef Trade Slackens in 2019**. [S.l.], 2018. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock{_}poultry.>
- VALDANO, E. et al. Predicting Epidemic Risk from Past Temporal Contact Data. **PLoS Computational Biology**, v. 11, n. 3, p. 1–19, 2015. ISSN 15537358.
- Van Schaik, G. et al. Probability of and risk factors for introduction of infectious diseases into Dutch SPF dairy farms: A cohort study. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 54, n. 3, p. 279–289, 2002. ISSN 01675877.

- VANDERWAAL, K. L. et al. Network analysis of cattle movements in Uruguay: Quantifying heterogeneity for risk-based disease surveillance and control. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier B.V., v. 123, n. August, p. 12–22, jan 2016. ISSN 01675877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.12.003https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167587715300945>>.
- VASSILEV, V. T. et al. Information System for Veterinary and Sanitary Control 1. n. 5055, 2001.
- VELTHUIS, a. G. J.; MOURITS, M. C. M. Effectiveness of movement-prevention regulations to reduce the spread of foot-and-mouth disease in The Netherlands. **Preventive veterinary medicine**, v. 82, n. 3-4, p. 262–81, dec 2007. ISSN 0167-5877. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17628726>>.
- VERNON, M. C. Demographics of cattle movements in the United Kingdom. **BMC veterinary research**, BioMed Central Ltd, v. 7, n. 1, p. 31, jan 2011. ISSN 1746-6148. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1746-6148/7/31http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3148972{&}tool=pmcentrez{&}rendertype=ab>>.
- VIDONDO, B.; VOELKL, B. Dynamic network measures reveal the impact of cattle markets and alpine summering on the risk of epidemic outbreaks in the Swiss cattle population. **BMC Veterinary Research**, BMC Veterinary Research, v. 14, n. 1, p. 1–11, 2018. ISSN 17466148.
- VOLKOVA, V. V. et al. Potential for transmission of infections in networks of cattle farms. **Epidemics**, Elsevier B.V., v. 2, n. 3, p. 116–22, sep 2010. ISSN 1878-0067. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755436510000460http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21352782http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1755436510000460>>.
- VOLKOVA, V. V. et al. Sheep movement networks and the transmission of infectious diseases. **PLoS one**, v. 5, n. 6, p. e11185, jan 2010. ISSN 1932-6203. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2887355{&}tool=pmcentrez{&}rendertype=ab>>.
- WANG, J.; ZHAO, L.; HUANG, R. SIRaRu rumor spreading model in complex networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 398, p. 43–55, mar 2014. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2013.12.004https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437113011278>>.
- WEI, D. et al. Identifying influential nodes in weighted networks based on evidence theory. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 392, n. 10, p. 2564–2575, may 2013. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2013.01.054https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437113001076>>.
- YAMAUCHI, T. et al. Quantitative effects of a declaration of a state of emergency on foot-and-mouth disease. **Environmental health and preventive medicine**, Springer Japan, n. August, 2016. ISSN 1347-4715. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27032773>>.
- YANG, P.; XU, G.; CHEN, H. Multi-attribute ranking method for identifying key nodes in complex networks based on GRA. **International Journal of Modern Physics B**, v. 32, n. 32, p. 1850363, dec 2018. ISSN 0217-9792. Disponível em: <<https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0217979218503630>>.

YANG, Z.; ZHOU, T. Epidemic spreading in weighted networks: An edge-based mean-field solution. **Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics**, v. 85, n. 5, p. 1–7, 2012. ISSN 15393755.

YOON, K. P.; HWANG, C.-L. **Multiple attribute decision making: an introduction**. [S.l.]: Sage publications, 1995. v. 104.

ZAREIE, A.; SHEIKHAHMADI, A.; KHAMFOROOSH, K. Influence maximization in social networks based on TOPSIS. **Expert Systems with Applications**, Elsevier Ltd, v. 108, p. 96–107, oct 2018. ISSN 09574174. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957417418302781>>.

ZHANG, X. et al. Identifying influential nodes in complex networks with community structure. **Knowledge-Based Systems**, v. 42, p. 74–84, apr 2013. ISSN 09507051. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950705113000294><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950705113000294><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950705113000294>>.

ZHU, H. et al. Identifying the main paths of information diffusion in online social networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier B.V., v. 452, p. 320–328, jun 2016. ISSN 03784371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2016.01.048><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037843711600087X>>.