UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM DE SISTEMAS
COMPLEXOS

BRUNO RAMALHO FURLAN

A influência da centralidade de rede no processo de difusão de inovações

São Paulo

2019

BRUNO RAMALHO FURLAN

A influência da centralidade de rede no processo de difusão de inovações

Versão corrigida

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Complexos.

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 12 de março de 2019. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH/USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Área de Concentração: Sistemas complexos

Orientador: Prof. Dr. Fernando Fagundes Ferreira

São Paulo
2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)

CRB 8 - 4936

Furlan, Bruno Ramalho

A influência da centralidade de rede no processo de difusão de inovações / Bruno Ramalho Furlan ; orientador Fernando Fagundes Ferreira – 2019.

100 f. + 1 DVD : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo.

Versão corrigida.

1. Sistemas dinâmicos. 2. Redes complexas - Simulação computacional. 3. Inovação. I. Ferreira, Fernando Fagundes, orient. II. Título.

CDD 22.ed.– 530.131

Dissertação de autoria de Bruno Ramalho Furlan, sob o título "**A influência da centralidade de rede no processo de difusão de inovações**", apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, na área de concentração de Sistemas Complexos, aprovada em 12 de Março de 2019 pela comissão julgadora constituída pelos doutores:

Prof. Dr. Antonio Fernando Crepaldi

Instituição: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP)

Julgamento: Aprovado Assinatura: _____

Prof. Dr. Ricardo Lopes Pinto

Instituição: Banco Central (BACEN)

Julgamento: Aprovado Assinatura: _____

Prof. Dr. Carlos de Brito Pereira

Instituição: Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH)-
Universidade de São Paulo (USP)

Julgamento: Aprovado Assinatura: _____

Prof. Dr. Fernando Fagundes Ferreira

Instituição: Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH)-
Universidade de São Paulo (USP)

Julgamento: Aprovado Assinatura: _____

Dedico este trabalho à minha família, meus amigos e ao meu orientador Fernando Fagundes Ferreira, sem os quais este trabalho não seria possível.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço os meus amigos por todo o apoio e ajuda para fazer este trabalho, especialmente à Paula Fernanda Rodrigues, Henry Nakashima e Fernanda Fiamoncini, pelos conselhos e suporte na escrita desse estudo. Agradeço ao Paulo Franco que me incentivou a continuar este estudo, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço à minha família pelo suporte, em especial aos meus pais e à minha tia Cristina, que sempre me incentivaram a continuar estudando.

Agradeço aos meus colegas do programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, especialmente Matheus Moreira, Ludmila Deute e Fernanda Ampuero, que me ajudaram e me ensinaram novos conhecimentos.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, em especial ao Prof. Dr. Carlos de Brito Pereira, ao Prof. Dr. Camilo Rodrigues Neto, ao Prof. Dr. Masayuki Oka Hase, que sempre acreditaram em mim. E por fim, agradeço ao Prof. Dr. Fernandes Fagundes Ferreira, pela orientação, ajuda e apoio para finalizar este trabalho.

Muito obrigado.

“Os amigos têm tudo em comum, e a amizade é a igualdade”.
(Pitágoras)

Resumo

FURLAN, Bruno Ramalho. **A influência da centralidade de rede no processo de difusão de inovações**. 2019. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

Este estudo visa, por meio de simulações computacionais, compreender de que modo a centralidade dos agentes, os diferentes tipos de rede e o não-compartilhamento da informação afetam os processos de adoção e de difusão de diferentes tipos de inovações. Para esta tarefa, foram feitas simulações com os modelos de rede descritos por Watts e Strogatz (WATTS & STROGATZ, 1998), com um número fixo de 100 nós ou agentes ($n=100$), em que foram variados os parâmetros de m_i (centralidade de grau inicial) e p (probabilidade de reconexão desses nós). Foram utilizadas redes regulares ($p=0$), de pequeno-mundo ($p=0.5$) e aleatórias ($p=1.0$). Escolhemos os adotantes iniciais por 5 diferentes métodos: por maiores centralidades de grau, de proximidade, de intermediação e de Bonacich, além da escolha aleatória. Também consideramos dois tipos de agentes com diferentes características: o primeiro, chamado de social, compartilhava e recebia informação, o segundo, chamado de egoísta, recebia e não compartilhava informação. Para parte das simulações, utilizamos uma inovação contínua e, para outra parte, utilizamos uma inovação disruptiva. Como resultado, constatamos, para as simulações realizadas neste modelo, o maior crescimento do número de adotantes não dependeu somente das características da rede, mas também dos agentes que a compõem, além da própria inovação. Por esse motivo, temos que o modelo disruptivo favorece a inovação e a presença de agentes egoístas funciona como um obstáculo ou barreira.

Palavras-chave: Redes complexas. Centralidade. Modelo de Watts-Strogatz.

Abstract

FURLAN, Bruno Ramalho. **The influence of network centrality on the innovation diffusion process.** 2019. 100 p. Dissertation (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2019.

This study aims, through computational simulations, to understand how the influence of the different types of network, the centrality of agents and the non-sharing of information affect the processes of adoption and diffusion in different types of innovations. For this task, simulations were made with the network models described by Watts and Strogatz (WATTS & STROGATZ, 1998), with a fixed number of 100 nodes or agents ($n = 100$), in which the parameters m_i (initial degree centrality) and p (probability of reconnection of these nodes) were varied. We used regular ($p=0$), small-world ($p=0.5$) and random networks ($p=1.0$). We choose the initial adopters by 5 different methods: by greater degree, closeness, of betweenness and eigenvector centralities, besides the random choice. We also considered two types of agents with different characteristics: the first, called social, shared and received information, the second, called selfish, received and did not share information. For part of the simulations, we use a continuous innovation and, for another part, we use a disruptive innovation. As a result, for the simulations carried out in this model, the greatest growth in the number of adopters was not only dependent on the characteristics of the network, but also on the agents that compose it, besides the innovation itself. For this reason, we think that the disruptive model favors innovation and the presence of selfish agents as an obstacle or barrier.

Palavras-chave: Complex networks. Centrality. Watts-Strogatz Model.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição dos arquivos de simulações realizados.....	21
Quadro 2: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 1.....	28
Quadro 3: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 2.....	36
Quadro 4: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 3 em redes regulares ($p=0$).	51
Quadro 5: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 3 em redes de pequeno-mundo ($p=0.5$).	54
Quadro 6: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 3 em redes aleatórias ($p=1$).....	57
Quadro 7: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 4 em redes regulares ($p=0$).	61
Quadro 8: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 4 em redes de pequeno-mundo ($p=0.5$).....	67
Quadro 9: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 4 em redes aleatórias ($p=1$).....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação das categorias de adotantes em uma curva de adoção cumulativa.....	2
Figura 2: Representação do caminho de uma difusão.....	6
Figura 3: A representação das redes do tipo regular, de pequeno-mundo (<i>small-world</i>) e aleatórias (<i>random</i>) que mudam com o crescimento de p , que gera um aumento da aleatoriedade (<i>increasing randomness</i>).	11
Figura 4: Representação de estrutura em forma de estrela em uma rede.....	12
Figura 5: Comparação entre diferentes métodos de escolha de adotantes iniciais, com variação do número de adotantes iniciais.....	15
Figura 6: Redes de produtores de vinho.....	17
Figura 7: Esquema de arquivo de simulação nos modelos de cooperação.	22
Figura 8: Esquema de arquivo de simulação nos modelos mistos.	23
Figura 9: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em redes do tipo regular ($p=0$).	30
Figura 10: Média de adotantes por tempo para a escolha de adotantes iniciais por intermediação em rede do tipo regular ($p=0$, $m_i=10$).	31
Figura 11: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em redes do tipo de pequeno-mundo ($p=0.5$).	32
Figura 12: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em redes do tipo aleatória ($p=1$).	34
Figura 13: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em redes do tipo regular ($p=0$).	38
Figura 14: Média de adotantes finais por tempo por escolha aleatória e por intermediação em rede regular ($p=0$), com $m_i=4$	40
Figura 15: Média de adotantes finais por tempo por escolha aleatória e por intermediação em rede regular ($p=0$), com $m_i=30$	42
Figura 16: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em redes de pequeno-mundo ($p=0.5$).	43
Figura 17: Média de adotantes finais por tempo em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$, $m_i=4$).	45
Figura 18: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em redes aleatórias ($p=1.0$).	46
Figura 19: Média de adotantes finais por tempo em rede aleatória ($p=1.0$, $m_i=4$).....	48
Figura 20: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede regular ($p=0$), com $m_i=4$	52
Figura 21: Média de adotantes finais por proporção de egoístas em rede regular ($p=0$), com $m_i=4$	52
Figura 22: Média de adotantes finais por adotantes iniciais e por proporção de egoísta, em rede regular ($p=0$), com $m_i=30$ e método de escolha (de adotantes iniciais) por maior centralidade de intermediação.....	53
Figura 23: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$), com $m_i=4$	55
Figura 24: Média de adotantes finais por proporção de egoístas em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$), com $m_i=4$	56
Figura 25: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede aleatória ($p=1$), com $m_i=4$	58
Figura 26: Média de adotantes finais por proporção de egoístas em rede aleatória ($p=1$), com $m_i=4$	59
Figura 27: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede regular ($p=0$), com $m_i=4$	63
Figura 28: Média de adotantes finais por proporção de egoístas em rede regular ($p=0$), com $m_i=4$	64
Figura 29: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede regular ($p=0$), com $m_i=30$	65
Figura 30: Média de adotantes finais por proporção de egoístas em rede regular ($p=0$), com $m_i=30$	66

Figura 31: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$), com $m_i=4$.	68
Figura 32: Média de adotantes finais por proporção de egoístas em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$), com $m_i=4$.	70
Figura 33: Média de adotantes finais por tempo em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$), com $m_i=4$ e 80% de egoístas.	71
Figura 34: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$), com $m_i=30$.	73
Figura 35: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede aleatória ($p=1$), com $m_i=4$.	75
Figura 36: Média de adotantes finais por tempo em rede aleatória ($p=1$), com $m_i=4$ e 80% de egoístas.	76
Figura 37: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede aleatória ($p=1$), com $m_i=30$.	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	2
2	REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1	A ADOÇÃO DA INOVAÇÃO	5
2.2	OS EFEITOS DE REDE E O PROCESSO DE DIFUSÃO DA INOVAÇÃO .	9
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
3.1	DESCRIÇÃO DOS MODELOS	18
3.2	DESCRIÇÃO DAS MÉTRICAS DE CENTRALIDADE UTILIZADAS.....	24
3.3	DESCRIÇÃO DOS ARQUIVOS DAS SIMULAÇÕES.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	MODELO 1	28
4.2	MODELO 2	36
4.3	MODELO 3	50
4.1	MODELO 4	61
4.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
5	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS	85
	APÊNDICE- DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO EM MÍDIA.....	88

1 INTRODUÇÃO

Uma inovação pode ser definida como uma ideia, prática ou objeto que é percebido como novo por uma unidade de adoção (ou adotante), que pode ser uma pessoa ou organização. Considerando a inovação na agricultura, esta ideia, prática ou objeto esta pode ser entendida como um fator tecnológico (ou aplicação de uma determinada tecnologia) que muda a produção (FEDER & UMALI, 1993).

Para que uma inovação alcance mais indivíduos, é necessário que ela seja adotada e difundida. Deste modo, se faz essencial a ocorrência dos seguintes fatores: informação, canais de comunicação, propensão dos primeiros adotantes de disseminar a informação, e propensão dos não-adotantes a serem influenciados pelos adotantes (ABRAHAMSON & ROSENKOPF, 1991).

De acordo com a ordem de adoção, Läpple e Rensburg (2011) classificam os adotantes em iniciais (ou pioneiros), médios (ou seguidores) e tardios (ou retardatários). Beal e Rogers (1958) também classificam os adotantes em cinco categorias de acordo com o tempo de adoção (dos primeiros para os últimos adotantes), são estas: pioneiros, adotantes precoces, maioria precoce, maioria tardia e os retardatários. Estas categorias são representadas na figura 1 em uma curva que representa a distribuição cumulativa de adotantes ao longo do tempo, sendo representada por uma curva em forma de “S”.

Figura 1: Representação das categorias de adotantes em uma curva de adoção cumulativa

Fonte: Beal e Rogers (1958)- Modificada

Griliches (1957) realiza o ajuste dessas curvas como funções de crescimento logístico, classificando estes o processo de adoção em uma localidade em três tipos: origem (início do processo de adoção), rampa (crescimento do número de adotantes) e teto (equilíbrio no número de adotantes). A distribuição cumulativa do Modelo de Bass também apresenta características semelhantes no processo de difusão de tecnologias ao longo do tempo, como descrito em Bass, (2004) e por Norton e Bass (1992).

À medida que mais pessoas adotam uma inovação, é diminuída a incerteza, pois as experiências das pessoas que adquiriram essa inovação pode ser comunicada (FEDER & UMALI, 1993).

Existe um tipo de inovação, a disruptiva (ou radical), que, à medida em que é adotada por mais indivíduos ganha mais importância, pois esta é aprimorada por um esforço contínuo de tentativa e erro, havendo um aprendizado com erros e a sua correção, tornando a inovação mais atrativa para ser adotada. Um outro tipo de inovação chamado de inovação contínua, que pode ser definida como aquela que apresenta algumas mudanças ou benefícios na presente tecnologia ao indivíduo que a adota, e também no mercado existente (CHRISTENSEN & RAYNOR, 2003; GARCIA & CALANTONE, 2002; HASLER *et al.*, 2017).

Considerando os processos de adoção e difusão de uma inovação no meio agrícola, podem ser abordados como resultado de um Sistema de Inovação Agrícola (SIA), permitindo a observação de diferentes fatores que influenciam nestes processos (KLERKX, MIERLO & LEEUWIS, 2012).

Este tipo de sistema pode ser visualizado como uma rede social, que é formada por agentes ou nós, que representem indivíduos (ou algo que pode ser individualizado), cada agente representa um nó (ou vértice), que se conecta a outros nós (GABARDO, 2015).

O estudo de sistemas agrícolas, bem como outros sistemas em forma de rede, mostram que vários fatores podem afetar os processos de adoção e difusão de inovações: as características da rede, ou efeitos de rede (BIRKE, 2009; QUIÉDEVILLE *et al.*, 2018), as métricas de centralidade de seus agentes (ACHORA *et al.*, 2018; CADGER *et al.*, 2016; CANO-REYES *et al.*, 2015; DEGENNE & FORSE, 1999; HOANG, CASTELLA & NOVOSAD, 2006; KAWA, MCCARTY & CLEMENT, 2013; KEBEBE *et al.*, 2015), da centralidade dos adotantes iniciais (CAMPOS, 2016; VALENTE E DAVIS, 1999), a quantidade desses adotantes iniciais

(CAMPOS, 2016), e a distribuição de quantidade de ligações por nó em uma rede¹ (ASSENOVA, 2018). No entanto, estudos realizados por Cano-Reyes *et al.* (2015), Giuliani e Bell (2005) e Hoang, Castella e Novosad (2006) mostraram que alguns agentes recebiam e não compartilhavam informações, dificultando o fluxo de informação sobre as inovações.

Dados estes diversos fatores, o presente estudo visa, através de simulações computacionais, compreender de que modo, a centralidade dos agentes, os diferentes tipos de rede e o não-compartilhamento da informação afetam os processos de adoção e de difusão de diferentes tipos inovações.

¹ Disassortatividade de grau (ASSENOVA, 2018).

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo está dividido em duas partes: a primeira trata da adoção de inovação e os fatores que afetam esse processo, já a segunda parte trata de como características dos agentes influenciam no processo de difusão da inovação.

2.1 A ADOÇÃO DA INOVAÇÃO

Para que uma inovação seja adotada, esta passa por um processo, que é descrito por Pannell *et al.* (2006), como aquele desencadeado pelo resultado de um processo de aprendizado, que (por sua vez) é influenciado por uma gama de fatores pessoais, sociais, econômicos, assim como características da própria inovação. Antes do processo de adoção, o agente adotante tem conhecimento da inovação, observa que há uma certa relevância desta para o seu benefício, e coleta informações sobre a inovação. Assim, ele pode decidir se vai adotar a determinada inovação ou não.

Vale destacar que o processo de adoção ocorre de maneira diferente para cada agente, isto é, apesar destes aparentarem ser homogêneos no que tange à sua origem sociocultural e às atividades realizadas, há uma heterogeneidade de motivações comportamentais entre os agentes, para a adoção ou não de uma inovação (ZABALA, PASCUAL & GARCÍA-BARRIOS, 2017).

Por causa do processo de adoção ser considerado um acontecimento influenciado por uma série de fatores, Hartwich e Scheidegger (2010) elaboram um modelo esquemático que descrevem o processo de adoção no contexto de rede, indicando as várias dimensões dos fatores que influenciam o comportamento da adoção da inovação (figura 2). Este modelo considera que a adoção depende de quatro condições: a percepção sobre a utilidade da inovação por parte dos agentes (não é necessariamente igual à utilidade real da inovação, sendo um fato que depende das capacidades cognitivas e da influência social destes indivíduos), as capacidades de absorção individual (determinada pelos recursos, educação, conhecimentos culturais e pelos fatores psicossociológicos), o comprometimento do agente na rede social em que está inserido (considerando seus relacionamentos); e a posição do agente na própria rede (que determina a capacidade de absorção individual, bem como a percepção sobre a utilidade da inovação).

Figura 2: Representação do caminho de uma difusão

Fonte: Hartwich e Scheidegger (2010)- Modificada

Além das condições apresentadas para adoção na figura 1, existem as condições estruturais, que são aquelas referentes à própria inovação, que propiciam a sua geração e inserção em um determinado contexto ou em um determinado local (como por exemplo a dificuldade de aplicação por parte dos adotantes). Uma vez que a adoção ocorre, há também uma aprendizagem contínua que afeta a percepção sobre a inovação, bem como nas suas condições estruturais. Em outras palavras, a adoção gera um *feedback* contínuo do processo sobre as condições da inovação (HARTWICH & SCHEIDEGGER, 2010).

Além das condições apontadas, Carletto, de Janvry e Sadoulet (1999), por Ghadim e Pannell (1999), por Hartwich e Scheidegger (2010) e por Carletto *et al.* (2010) que diferentes fatores influenciam no processo de adoção. Destes, por exemplo: pessoas com mais idade tendem a ser mais avessas à riscos do que pessoas mais novas. Pessoas com mais informação tendem a decidir de maneira diferente daqueles que tem menos informação, podendo, por exemplo, desistir de uma inovação mais rapidamente em caso de adversidade. Agentes com maior habilidade para o cultivo tendem a diminuir os custos com a adoção e uso da inovação. Além disso, tempo de experiência com inovações e o conhecimento prévio de um agente também

pode influenciar positivamente ou negativamente no processo (facilitando ou dificultando a adoção). Ademais, o processo de aprendizado a partir da experiência de outros agentes de um sistema ao adotarem uma inovação diminuem a incerteza sobre a inovação.

Vale ressaltar que nem sempre a inovação escolhida é a mais eficiente, como descrito por Sneddon, Soutar e Mazzarol (2011), pode ocorrer a adoção de inovações mais ineficientes e a rejeição de inovações mais eficientes. Dentre os diferentes processos de inovação classificados pelos autores, está aquele denominado de “por imitação/mania”, que ocorre quando os membros de um grupo imitam o outro na adoção ou na rejeição de uma tecnologia. Muitas vezes a pressão por todos os outros indivíduos estarem adotando determinada tecnologia pode fazer com que inovações não tão eficientes, ou inovações que demandem certas habilidades do agente sejam adotadas.

Durante o processo de coleta de informações para a avaliação da inovação, pode ocorrer a ambiguidade, termo que pode ser definido como a dificuldade de uma avaliação de uma inovação, considerando as suas características. Com este quadro, os possíveis adotantes consideram as informações e avaliações realizadas pelos agentes com quem mantem relações para realizar a tarefa de avaliar a inovação. Este processo pode ser definido como pressão de comboio (*bandwagon pressure*), onde a avaliação do adotante irá ser influenciada por outros que já adotaram a própria inovação. Assim, considera-se que é necessário que haja uma certa ambiguidade para que o mecanismo de pressão de comboio esteja presente na difusão da inovação (ABRAHAMSON & ROSENKOPF, 1991).

No entanto, estudos desses mesmos autores (ABRAHAMSON & ROSENKOPF, 1991, 1997, 1999) não consideram que a difusão da inovação depende somente das ligações entre os agentes, mas também como resultado da combinação deste fator com outros, onde se destacam os limiares de adoção. Neste caso, é proposto que, em uma rede social, as características da inovação possam ser computadas a partir de uma pontuação. Caso essa pontuação atingir um certo limite (*threshold*) imposto pelo tomador de decisão, ocorre a adoção.

Deste modo, o processo de adoção se dá pelo potencial de avaliação de adoção (*bandwagon assessment*) do agricultor não adotante ($B_{i,k}$) e pelo limiar de adoção do mesmo agricultor ($limiar_i$), que é descrito pelas seguintes expressões, descritas na equação 1 e na inequação 2 (ABRAHAMSON & ROSENKOPF, 1997):

$$B_{i,k} = l_i + (A_i \cdot P_{k-1}) \quad (1)$$

Se:

$$\limiar_i < B_{i,k} \quad (2)$$

Ocorre a adoção

Onde:

- Caso o valor de $B_{i,k}$ for maior que o valor de $\limiar_i$ ocorre a adoção;
- P_{k-1} representa a pressão da rede para um determinado nó adotar uma inovação, este pode ser representado como a soma de todos os adotantes vizinhos em razão do número total de habitantes na rede no instante anterior a k;
- A_i é quanto o nó i dá importância para o fator P_{k-1} ;
- l_i denota a avaliação da lucratividade da inovação pelo nó i. Se o potencial adotante estiver incerto pela adoção da inovação, menor será este parâmetro.

Uma vez que a adoção acontece, o agente irá avaliar os benefícios do seu uso (também a ausência destes) e poderá continuar com a adoção ou desistir desta (PANSELL *et al.*, 2006). Por fim, os agentes de uma rede passam a ser responsáveis também pela difusão da inovação, por meio da propagação de informações sobre a mesma, informando suas características e possíveis benefícios (ou malefícios) com o seu uso nas redes em que estão inseridos (ZABALA, PASCUAL & GARCÍA-BARRIOS, 2017).

2.2 OS EFEITOS DE REDE E O PROCESSO DE DIFUSÃO DA INOVAÇÃO

Uma vez que uma inovação é adotada, ocorre o processo da sua difusão. Este termo é definido por Rogers (2003) como um processo onde uma inovação é comunicada por determinados canais, ao longo do tempo e entre os membros de um sistema social. A difusão de uma inovação pode ser considerada como um tipo especial de comunicação, na qual as mensagens contêm novas ideias e onde são criadas e transferidas informações de modo a atingir o entendimento mútuo.

Considerando estas características dos diferentes tipos de redes e os estudos apresentados, entende-se que todas estas trocas de informação nestas redes possibilitam um maior conhecimento das inovações a serem adotadas, bem como os seus riscos de adoção, além de reduzir as suas incertezas para o uso. Assim, estas redes passam a ser ferramentas importantes no processo aprendizado dos agentes e, conseqüentemente, no processo de decisão para a adoção de uma inovação (GHADIM & PANNELL, 1999; MARRA, PANNELL & GHADIM, 2003; MASHAVAVE *et al.*, 2013).

Em uma rede social, quanto mais ocorrer essa interação entre os agentes, seja pelo número de conexões ou pelo fluxo de insumos e informações, maior será a tendência de ocorrer a difusão de uma inovação. Deste modo, quanto maior interação de um agente com outros agentes em uma rede, maior a probabilidade deste agente influenciar os seus pares para a adoção de uma inovação e posterior difusão (HARTWICH; HALGIN & MONGE, 2008).

No estudo realizado por Quiédeville *et al.* (2018), é destacada a importância das características e da forma da rede para a sobrevivência de uma rede. Foi observado que o tamanho e coesão (com mais ligações entre agentes) influenciam não somente na adoção e dispersão de tecnologias e práticas como também influenciam na própria sobrevivência de uma rede. Além de haver uma maior facilidade para a dispersão de informações e produtos, quando um ou mais agentes morrem, a rede pode se organizar para suprir a ausência daquele agente que não existe mais.

Assim, os efeitos de rede que, por sua vez, são aqueles gerados pelas próprias características das redes, influenciam na adoção de inovações e podem ser um fator de restrição ou impulsionar a adoção e difusão destas mesmas. Segundo a revisão realizada por Birke (2009) sobre esse tópico, o estudo dos efeitos de rede pode ser realizado em várias áreas do conhecimento da difusão de produtos e tecnologias, assim como para desenhar estratégias de produção.

Existem dois principais mecanismos envolvidos na difusão de inovação em redes sociais. O primeiro tipo se dá por processos externos à rede como propagandas por veículos de comunicação (como rádio, internet e televisão). Esses processos são essencialmente independentes da rede social e é possível verificar seus efeitos em indivíduos (agentes). O outro mecanismo de difusão se dá pela interação de agentes próximos. Uma vez que um agente decide adotar uma inovação (como, por exemplo, uma nova tecnologia), aqueles que estão em contato com ele podem avaliar os benefícios que este agente teve com adoção de uma inovação, e comparar com os custos de adoção. Assim, esse mecanismo de propagação permite que um agente observe as tentativas dos agentes próximos para tomar sua decisão de adoção ou não de uma tecnologia. Desta maneira, o fluxo local de informação toma o papel principal no processo de difusão. No caso de uma tecnologia, quando o processo de difusão se repete até que ninguém queira adotar esta inovação (GUARDIOLA *et al.*, 2002).

Ao se considerar os diferentes tipos de interações entre os agentes, McPherson, Smith-Lovin e Cook (2001), definem homofilia como o contato entre pessoas similares que ocorre em uma maior proporção em uma rede. O resultado é que as redes pessoais de relacionamento de cada indivíduo acabam por se tornar homogêneas no que se refere a comportamento, aspectos sociodemográficos e características interpessoais. O outro tipo descrito pelos mesmos autores é a heterofilia, que pode ser definida como uma maior proporção de ligação entre indivíduos que não são similares.

Quando a similaridade dos agentes (nós) está na igualdade do número de arestas que cada um destes possui em um conjunto de nós, a homofilia é definida como assortatividade por grau. Assim, as redes mais assortativas apresentam uma maior proporção de agentes com o mesmo número de arestas. Já as redes cujos nós apresentam maior diversidade de número de ligações são denominadas disassortativas por grau e heterófilas (BUENO, 2014).

Ainda sobre a disassortatividade e assortatividade por grau das redes, Morris (2000) observou que a simulação realizada em rede com relações disassortativas e assortativas por, mostra que houve uma maior dispersão nas relações com viés disassortativo.

Uma maneira de simular a assortatividade e a disassortatividade pode ser por meio do modelo por Duncan J. Watts e Steven Strogatz (WATTS & STROGATZ, 1998). Neste tipo de modelo é criada uma rede regular (com os nós apresentando o mesmo grau inicial), em forma de anel,

com n nós e k vértices. Assim, são escolhidos um nó e uma aresta que o conecta ao seu vizinho² próximo no sentido horário. Com probabilidade p , esta aresta é reconectada a outro nó escolhido com probabilidade uniforme (caso haja duplicidade de arestas ligando os mesmos nós a aresta volta à posição original). Esse processo é repetido no mesmo sentido horário, considerando cada vértice até que uma volta seja concluída. Em seguida, são consideradas as arestas que conectam os vértices a seus segundos vizinhos mais próximos no sentido horário e o processo é repetido até que cada aresta na rede original tenha sido considerada uma vez. Deste modo, a rede em que $p=0$ continua sendo uma regular, uma rede com $p=1$ passa a ser chamada de aleatória e uma rede entre esses dois valores passa a ser de pequeno-mundo (*small-world*). Como é mostrado na figura 3.

Figura 3: A representação das redes do tipo regular, de pequeno-mundo (*small-world*) e aleatórias (*random*) que mudam com o crescimento de p , que gera um aumento da aleatoriedade (*increasing randomness*).

Fonte: Watts e Strogatz (1998)- Modificada

Assim, é possível considerar que as redes regulares apresentam assortatividade de grau inicial e as redes de pequeno-mundo e aleatórias são disassortativas, no que tange ao grau dos nós. O que se observou em redes disassortativas, foi que houve a formação de líderes de opinião que

² Nó conectado diretamente com o nó estudado por uma aresta (WATTS & STROGATZ, 1998).

possuíam mais ligações, e influenciavam outros agentes. A utilização desses líderes de opinião possibilitava uma aceleração no processo de difusão (BUENO, 2015).

O agente que exerce essa influência na rede também pode ser definido como “agente chave” ou “agente influenciador” (AI). Estando em uma pequena proporção em relação à totalidade da rede, estes agentes demonstram que podem manipular e determinar os possíveis fenômenos de emergência em uma rede e se posicionar, utilizando suas relações, para aumentar a eficácia de sua influência (CADGER *et al.*, 2016; FRANKS, GRIFFITHS & ANAND, 2014). Nota-se que não é obrigatória a existência de AIs em um sistema de inovação, mas quando isso ocorre, pode haver uma limitada interação entre agentes (KEBEBE *et al.*, 2015).

Ao se analisar um Sistema de Inovação Agrícola (SIA) descrito por Díaz-josé *et al.* (2015), que estudou a difusão de inovações da agricultura de conservação por proprietários de terra no estado mexicano de Chiapas (por uma abordagem de rede social), foi possível visualizar que a rede apresentava estruturas em forma de estrela, onde o agente-chave se encontrava no centro, sendo ligado com uma série de outros agentes (chamados de agentes vizinhos) influenciados por esse agente-chave. Esta estrutura pode ser observada na figura 4.

Figura 4: Representação de estrutura em forma de estrela em uma rede

Fonte: Díaz-josé *et al.* (2015)- Modificada

Estes mesmos autores constataram o papel desta estrutura apresentada na figura 3, em que passava amplificar a inovação ao ocorrer a adoção pelos agentes-chave. Também foi observado que os agentes no centro dessas formações concentravam relações de conhecimento, isto é, estes agentes controlavam a atividade de difusão do conhecimento.

Além dos agentes influenciadores, Caudell, Rotolo e Grima, (2015) e Matuschke e Qaim, (2009) observaram que cada agente na rede também possui a sua rede social individual (também chamada de “rede de ego”) em uma rede social estudada. Estas mostram a relação de cada agente dentro de uma rede com outros agentes, por atributos individuais. Estes atributos podem ser descritos pelas métricas de centralidade, que indicam a as diferenças na quantidade de interações entre cada nó (com outros nós) dentro da rede (DEGENNE & FORSE, 1999). Deste modo, observa-se que a localização de cada agente na rede, bem como o número de laços com os outros agentes, são fatores que possibilitam um melhor conhecimento de uma rede como estratégia para a continuação e subsistência dessas populações, além de permitir a identificação dos principais atores que interconectam partes com o todo de uma rede, sendo fundamentais na geração de fenômenos de emergência (CAUDELL, ROTOLO & GRIMA, 2015; DEGENNE & FORSE, 1999; MATUSCHKE & QAIM, 2009).

Existem muitas métricas possíveis para a medição da centralidade de um agente e cada perspectiva é relevante da sua maneira. Dentre estas, pode ser destacada a centralidade de grau (*degree*), que é a medida mais simples, se trata dos número de conexões com outros agentes na rede (GABARDO, 2015). A simulação do processo de difusão de uma inovação realizada por Valente e Davis, (1999) mostrou que, com a escolha dos adotantes iniciais com a maior centralidade de grau (número de arestas em uma rede) difundiu a inovação de uma maneira mais rápida do que com uma escolha aleatória ou a escolha dos menos centrais.

Uma outra métrica que pode ser descrita é a centralidade de proximidade (*closeness*) é uma ponderação indicando a proporção da soma das distâncias entre um agente e os todos os outros agentes da rede em relação ao número total de arestas da rede menos 1 (FREEMAN, 1977).

A centralidade de intermediação (*betweenness*) apresenta uma maneira mais precisa de medir a centralidade individual: quanto maior valor da centralidade do indivíduo em uma rede, maior o controle deste devido na difusão de inovação e independência de outros para comunicação. O indivíduo pode, desse modo, influenciar um grupo utilizando a informação que passa através de suas mãos. A intermediação é também uma melhor maneira de coordenar a informação em todo o grupo. Esta métrica não leva em conta somente a distância entre agentes, mas a totalidade

de caminhos que passam por um determinado agente (DEGENNE & FORSE, 1999; FREEMAN, 1977).

Além dessas métricas, também pode ser destacada a centralidade descrita por Bonacich (1987), também chamada de *eigenvetor centrality*, cujo cálculo para um determinado agente considera as centralidades de grau dos agentes conectados à este.

Voltando a tratar sobre difusão entre produtores rurais, Achora *et al.* (2018) descreveu que os produtores com maior centralidade de grau não eram os líderes formais, mas aqueles que provinham a *expertise* necessária. Stevenson e Greenberg (2000) mostram que indivíduos com alta centralidade de intermediação foram capazes de reter ou distorcer informações vitais para os demais agentes da rede sobre, por exemplo, as condições ambientais ideais de um sistema particular. Já no estudo de Kawa, Mccarty e Clement (2013), que tratava de uma rede de distribuição de variedades de mandioca na Amazônia Brasileira, foi observada uma correlação entre a centralidade de grau e de intermediação dos produtores que apresentavam maior habilidade no cultivo. Também foi observada a correlação entre o tamanho de área plantada por proprietário com o conhecimento percebido que um produtor tinha (pelos outros produtores), e o grau de centralidade, isto é, os com maior centralidade tendiam a ter maior área plantada. Deste modo, observou-se que os produtores com maior grau de conhecimento e habilidade passavam a ter mais influência na rede, no que diz respeito à difusão de um insumo.

Em uma simulação realizada com uma rede real de amizade entre proprietários de terra, Campos (2016) seleciona os agentes mais centrais da rede (de acordo com as centralidades de grau, intermediação³, proximidade e de beta-centralidade de Bonacich) para difundir tecnologias. Para tal, este utiliza uma dinâmica de sistemas que considera uma série de parâmetros com condições físicas e materiais e atributos da comunidade para a realização de suas simulações. O que se observou, foi que os gráficos de número de adotantes ao longo do tempo, apresentaram características semelhantes aos de Beal e Rogers (1958), com as características de origem, rampa e teto (GRILICHES, 1957). A figura 5 mostra uma comparação entre os diferentes métodos de escolha para as simulações.

³ No texto do autor o termo intermediação (*betweenness*) está descrito como conectividade (CAMPOS, 2016).

Figura 5: Comparação entre diferentes métodos de escolha de adotantes iniciais, com variação do número de adotantes iniciais

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos adotantes iniciais por centralidade de grau, onde “Centr42” e “Centr43” correspondem às simulações com os 42 e 43 agentes maior centralidade de grau, respectivamente. No painel superior do lado direito, a escolha dos adotantes iniciais por centralidade de intermediação, onde “Conec27” e “Conec28” correspondem às simulações com os 27 e 28 agentes com maior centralidade de intermediação. No painel inferior do lado esquerdo temos a escolha dos adotantes iniciais por centralidade de proximidade, onde “Closen77” e “Centr78” correspondem às simulações com os 77 e 78 agentes maior centralidade de proximidade. No painel inferior direito, a escolha dos adotantes iniciais por beta-centralidade de Bonacich, onde “Conec53” e “Conec54” correspondem às simulações com os 53 e 54 agentes com maior beta-centralidade de Bonacich. Fonte: Campos (2016).

Ainda sobre a figura 5, verificou-se que o acréscimo de um adotante inicial possibilitou um aumento substancial de adotantes finais, passando de um número inferior a 40% da rede adotando a inovação para um patamar superior a 60% da rede. Este fenômeno pode ser conhecido como bifurcação, termo cuja definição é dada por Langa, Robinson e Suárez (2002) como uma mudança na estabilidade e na estrutura de conjuntos de sistemas. No caso das simulações realizadas no sistema estudado por Campos (2016) a mudança de estabilidade se caracteriza por passar de um ambiente com menos da metade dos agentes adotando a inovação para um ambiente com a maioria dos seus componentes adotando a inovação.

Outro SIA estudado por Cano-Reyes *et al.* (2015) mostrou que os agentes mais centrais (pelas métricas de centralidade de grau, intermediação e proximidade) compartilhavam e adquiriam informações com os outros atores da rede. Apesar de haver estímulo para o compartilhamento de informação no que tange às inovações, o mesmo autor indica que dos 32 participantes da rede, apenas 27 deles participam no processo de difusão de informações, desta maneira constata-se uma assimetria de informação nesse processo, pois alguns agentes recebem informação sobre inovações e não compartilham. Desta maneira, simulações devem considerar este tipo de agente no processo de difusão.

Cano-Reyes *et al.* (2015) também relatou que nem sempre os agentes estão dispostos a compartilhar informação. Este fato também pode ser comprovado por Hoang, Castella e Novosad (2006), que estudaram comunidades rurais no Vietnã. Neste caso, os produtores rurais com mais educação e renda não compartilhavam o conhecimento em comparação com outros produtores rurais. Ainda tratando dessa rede de conhecimento, observou-se que os produtores que tinham maior centralidade de grau na rede (no caso deste artigo, para quem os outros produtores pediam mais conselhos) eram os que tinham maior nível de estudo, acesso a jornais, contato com o governo e outras vilas, sendo estes detentores de inovação.

O não compartilhamento de informação também é descrito por Giuliani e Bell (2005), que analisou a rede de produtores de vinho do Chile. Neste estudo, mostra-se que nem sempre um grupo de produtores próximos geograficamente promove essa troca de informações. Ao analisar uma variável chamada capacidade absorptiva de cada produtor (variável que englobava características o nível de instrução do pessoal técnico empregado, os meses de experiência de cada profissional, o número de empresas em que cada profissional foi empregado anteriormente, tipo e intensidade de pesquisa e desenvolvimento realizado por cada empresa produtora de vinho) e comparar com a troca de conhecimento de cada produtor, os resultados

mostram que o conhecimento flui dentro de um grupo central de empresas caracterizadas por capacidades absorptivas avançadas. A rede gerada pelas relações e pelo compartilhamento de conhecimento é mostrada na figura 6.

Figura 6: Redes de produtores de vinho

Fonte: Giuliani e Bell (2005) - Modificada

A figura 6 mostra que alguns produtores detiveram o seu conhecimento e não realizam o compartilhamento do mesmo. Desta forma, entende-se o não compartilhamento gera um bloqueio em uma rede de conhecimento, fato que pode afetar o processo de difusão, pois a troca de conhecimento, que reduz a incerteza sobre uma inovação em uma rede social, passa a ser mais restrita (ABRAHAMSON & ROSENKOPF, 1997).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo está dividido em três partes, sendo que a primeira trata dos modelos gerados, em que são descritos diferentes tipos de modelo utilizados. A segunda parte deste capítulo consiste na descrição das métricas utilizadas na simulação, com a descrição das redes utilizadas, iterações, dos tipos de centralidade utilizados e o algoritmo de escolha dos adotantes iniciais. Por fim, na terceira parte descreve-se como as simulações foram realizadas.

3.1 DESCRIÇÃO DOS MODELOS

Os modelos de difusão propostos neste trabalho para estudar a difusão da Inovação consideravam n agentes conectados segundo uma rede do tipo Watts-Strogatz (WATTS & STROGATZ, 1998). Estas redes possuíam três parâmetros para serem geradas: n que corresponde ao número de nós ou agentes, m_i que corresponde a centralidade de grau inicial de cada nó e p , que indica a probabilidade de reconexão desses nós.

Seguindo as características dos agentes explicitadas por Giuliani e Bell (2005) e Hoang, Castella e Novosad (2006), que identificaram agentes que recebiam e não compartilhavam a inovação, propomos dois modelos de agentes distintos. No primeiro modelo, todos os agentes foram chamados de cooperadores, recebendo e compartilhando informação. Este modelo de agentes foi chamado de modelo de cooperação. No segundo modelo, além dos agentes cooperadores, também existiam os agentes egoístas ou não-cooperadores, que recebiam e não compartilhavam informação. Este modelo de agentes foi chamado de modelo misto. Nos dois tipos de modelo, cada agente possuía um valor de limiar ($limiar_i$) que foi utilizado como critério no processo de adoção.

Inicialmente, escolhemos o número fixo de agentes (nós) para serem adotantes iniciais de uma inovação. A partir do modelo de Abrahamson e Rosenkopf (1997) de pressão de comboio (*bandwagon pressure*), nós elaboramos o algoritmo para a adoção, considerando somente a proporção de adotantes vizinhos.

No modelo de cooperação, a cada passo de tempo, todos os agentes olhavam para a vizinhança e contavam o número de adotantes da Inovação (Na_v) entre os seus (n_v) vizinhos. Se a proporção p_i de vizinhos adotantes de um nó) fosse maior que o limiar ($limiar_i$) do agente ocorria a adoção, conforme as expressões:

$$p_i = \frac{Na_v}{n_v} . \quad (3)$$

$$\text{Se } p_i > limiar_i \quad (4)$$

Ocorre a adoção.

Já no modelo misto, composto por agentes cooperadores e agentes egoístas, como o agentes egoístas não repassavam a informação, os outros agentes não tinham como saber se um determinado agente egoísta adotou a inovação. Consequentemente, agentes egoístas nunca contribuíam na contagem de número de adotantes, isto é, nos modelos mistos, Na_v tratou exclusivamente dos vizinhos adotantes cooperadores.

Para cara tipo modelo apresentado (modelo de cooperação e modelo misto), nós utilizamos dois tipos de inovação: contínua e disruptiva. Para a inovação contínua, o Limiar de adoção foi definido pela equação 5 e o valor do limiar de cada gente foi sorteado de maneira aleatória, dentro de um intervalo de dois valores $[a, b)$. Esta escolha se deu desta maneira para simular as diferentes características de um agente que podem ser mais ou menos ou menos propensos para a inovação.

No caso em que a inovação era disruptiva, também se manteve a aleatoriedade dos liminares presente nas inovações contínuas. No entanto, para simular ao ganho de importância desse tipo de inovação à medida que mais agentes adotam a inovação, o limiar também dependeu do número de adotantes, conforme equação 6. Este é o caso em que ocorre um feedback global, onde a inovação se reforça à medida que mais adotantes na rede adotavam a inovação. Isto é representado no limiar de cada agente com a multiplicação do número aleatório pelo termo $\left(1 - \frac{Na}{n}\right)$, onde Na é o número total de adotantes na rede e n é o número total e agentes na rede. Deste modo, à medida que mais adotantes ocorrerem na rede, menor será o limiar de cada

agente, tornando este mais propenso para a adoção. As correspondentes expressões para o caso contínuo e o caso disruptivo são descritos nas equações 5 e 6:

$$limiar_i = \text{valor aleatório } [a, b) \quad (5)$$

$$limiar_i = \text{valor aleatório } [a, b). \left(1 - \frac{Na}{n}\right). \quad (6)$$

Assim, foram configurados 4 principais tipos de modelos estudados: modelo de cooperação com inovação contínua, modelo de cooperação com inovação disruptiva, modelo misto com inovação contínua e modelo misto com inovação disruptiva. Para um melhor entendimento, estes tipos foram chamados de Modelo 1, Modelo 2, Modelo 3 e Modelo 4, respectivamente.

Para todos os tipos de modelos, nós fizemos simulações com 5 diferentes métodos de escolha de adotantes iniciais. Os agentes (ou nós) foram ranqueados de acordo com 4 métricas de centralidade, isto é, ordenaram-se os agentes dos mais centrais aos menos centrais. A partir desses *rankings*, selecionaram-se os mais centrais para serem os adotantes iniciais ou pioneiros de uma inovação. As métricas que utilizamos foram: a de grau (*degree*), de proximidade (*closeness*), de intermediação (*betweenness*) e a de Bonacich (*eigenvector centrality*). Para uma comparação, também fizemos simulações com a escolha aleatória de agentes. Foi usado como critério de parada do processo de difusão da inovação o tempo pré-estabelecido ou o momento em que 100% os agentes da rede adotarem a inovação.

Para cada modelo, consideramos diferentes valores do parâmetro p , correspondendo a redes regulares ($p=0$), de pequeno-mundo ($p=0.5$) e aleatórias ($p=1$). Ao todo, foram gerados 60 arquivos de simulações, considerando que foram utilizados 4 modelos descritos, cinco estratégias de escolha de adotantes iniciais (quatro métricas de centralidade, além da escolha aleatória) e três valores de p utilizados nas redes do tipo de Watts-Strogatz (0, 0.5 e 1). Todos os arquivos com simulações estão descritos no quadro 1.

Quadro 1: Descrição dos arquivos de simulações realizados

Tipos de agentes Tipo de inovação		Somente agentes cooperadores (Modelo de Cooperação)			Agentes cooperadores e egoístas (Modelo Misto)		
		Modelo 1			Modelo 3		
Inovação contínua	Modelo						
	p	$p=0$	$p=0.5$	$p=1$	$p=0$	$p=0.5$	$p=1$
	Escolha de adotantes iniciais	Grau	Grau	Grau	Grau	Grau	Grau
		Proximidade	Proximidade	Proximidade	Proximidade	Proximidade	Proximidade
		Intermediação	Intermediação	Intermediação	Intermediação	Intermediação	Intermediação
		Bonacich	Bonacich	Bonacich	Bonacich	Bonacich	Bonacich
		Escolha Aleatória	Escolha Aleatória	Escolha Aleatória	Escolha Aleatória	Escolha Aleatória	Escolha Aleatória
Inovação disruptiva	Modelo	Modelo 2			Modelo 4		
	p	$p=0$	$p=0.5$	$p=1$	$p=0$	$p=0.5$	$p=1$
	Escolha de adotantes iniciais	Grau	Grau	Grau	Grau	Grau	Grau
		Proximidade	Proximidade	Proximidade	Proximidade	Proximidade	Proximidade
		Intermediação	Intermediação	Intermediação	Intermediação	Intermediação	Intermediação
		Bonacich	Bonacich	Bonacich	Bonacich	Bonacich	Bonacich
		Escolha Aleatória	Escolha Aleatória	Escolha Aleatória	Escolha Aleatória	Escolha Aleatória	Escolha Aleatória

Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Dentro de cada arquivo de simulação, foram criados *loops* para simular a difusão da inovação. No caso dos modelos de cooperação (Modelos 1 e 2), os loops foram feitos com diferentes valores de centralidade de grau m_i e com número diferente de adotantes iniciais. Por fim, foram feitas várias realizações para fazer médias. Um esquema com todos os loops dos arquivos pertencentes a estes modelos pode ser observado na figura 7.

Figura 7: Esquema de arquivo de simulação nos modelos de cooperação.

Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Nos arquivos de simulação dos Modelos 3 e 4, que apresentam agentes cooperadores e egoístas (modelos mistos), além dos *loops* para simular a difusão da inovação com diferentes valores de m_i e diferentes quantidades de adotantes iniciais, estes também são realizados com diferentes proporções de egoístas, como mostrado na figura 8.

Figura 8: Esquema de arquivo de simulação nos modelos mistos.

Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Em cada simulação realizada foram armazenados em lista todos os valores médios referentes ao número de adotantes obtidos com as iterações para cada instante de tempo. A partir dessa lista, foi armazenado o número médio de adotantes referente ao instante de tempo final. Estas listas foram armazenadas em listas maiores, equivalentes a cada *loop* utilizado, para a obtenção dos valores médios, por proporção de agentes egoístas, proporção de adotantes iniciais e por rede com diferentes valores de m_i , no caso dos modelos com agentes egoístas, assim como por adotantes iniciais e por rede com diferentes valores de m_i , no caso de modelos sem agentes egoístas.

Todas as simulações realizadas foram feitas na linguagem python 3.0, com a utilização das bibliotecas *networkx* 2.1, *random*, *numpy* 1.14.3 e *matplotlib* 2.2.2, sendo compiladas no software *Jupyter* 5.4.1.

3.2 DESCRIÇÃO DAS MÉTRICAS DE CENTRALIDADE UTILIZADAS

Os quatro tipos de métricas utilizados na escolha de adotantes iniciais são as de grau (*degree*), de proximidade (*closeness*), de intermediação (*betweenness*) e de Bonacich (*eigenvector*). Todas as métricas de centralidade foram calculadas utilizando algoritmos descritos na própria biblioteca *networkx* 2.1. A primeira métrica descrita, a centralidade de grau (como dito anteriormente), é referente ao número de conexões de um nó com outros nós.

A métrica de proximidade de um nó utilizada na biblioteca, representada por $C(i')$, foi descrita por Freeman, (1978) e aprimorada por Wasserman e Faust (1994), sendo representada pela equação 7.

$$C(i') = \frac{n'-1}{n-1} \cdot \left[\frac{n'-1}{\sum_{i=1}^{n-1} d(v, i')} \right], \quad (7)$$

Onde:

- n' é o número total de nós que conseguem alcançar i' ;
- n representa o número total de nós na rede;
- $d(v, i')$ é a menor distância entre um nó v e i' .

A métrica de intermediação de um nó utilizada na biblioteca, representada por $C_B(i')$, é apresentada pela equação 8 (BRANDES, 2008, 2010; FREEMAN, 1977; PICH, 2006).

$$C_B(i') = \sum_{s, t \in V} \frac{\sigma(s, t | i')}{\sigma(s, t)}, \quad (8)$$

Onde:

- V é o conjunto de nós da rede;
- $\sigma(s, t)$ representa a menor distância entre os nós s e t ;
- $\sigma(s, t | i')$ representa a menor distância entre os nós s e t , que passa pelo nó i' .

Por fim, a última métrica utilizada é a descrita por Bonacich (1987), sendo descrita pela equação 9.

$$Ax = \lambda x, \tag{9}$$

Onde:

- A é a matriz de adjacência da rede;
- λ representa o autovalor de A ;

Além dessas quatro métricas, também realizamos a acolha aleatória, com a utilização da biblioteca *random* (descrita anteriormente), para a seleção dos adotantes iniciais.

3.3 DESCRIÇÃO DOS ARQUIVOS DAS SIMULAÇÕES

Em cada arquivo de simulação, as redes tinham um valor de p fixo, mas os valores de graus iniciais para cada nó foram variados nos seguintes valores: $m_i = [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30]$. Toda rede simulada nesse estudo tinha 100 nós ou agentes ($n=100$), que decidia adotar uma inovação de acordo com o número de vizinhos adotantes (inequação 1) seu limiar de adoção ($limiar_i$). Para a definição de $limiar_i$, foi escolhido o intervalo $[a, b]$ para a seleção aleatória entre 0.5 e 1.0 $[0.5, 1.0]$.

Foram escolhidos de 1 a 33 dos agentes mais centrais para serem adotantes iniciais nas simulações, pelas quatro métricas mencionadas anteriormente. Para uma comparação também simulamos a escolha aleatória de adotantes iniciais utilizando os mesmos números de agentes. Nos modelos mistos (Modelos 3 e 4), consideramos as proporções de 0%, 20%, 40%, 60% e 80% dos agentes egoístas em comparação com o número total de agentes para fazer as simulações.

Nos modelos de cooperação, definimos 1000 iterações para cada intervalo de tempo T estimado, que foi considerado de 30 instantes de tempo ($T=30$). Deste modo, assim como em Campos (2016), definiu-se o tempo como adimensional. Já para os modelos mistos (com agentes egoístas) fizemos 100 iterações para cada intervalo de tempo T , com o mesmo valor de 30 instantes de tempo.

Por fim, nas simulações dos modelos de cooperação (Modelos 1 e 2), foram gerados os gráficos de número de adotantes médio por instante de tempo (para cada quantidade de adotantes iniciais e por m_i) e média de adotantes finais por adotantes iniciais (para cada valor de m_i). Além disso, para as simulações com modelos mistos também foram feitos gráficos de número de adotantes médio por instante de tempo (para cada número de adotantes iniciais, valor de m_i e proporção de egoístas), número médio de adotantes finais por proporção de egoístas (para cada número adotantes iniciais e por m_i) e média de adotantes finais por adotantes iniciais (para cada proporção de egoístas e por m_i).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O capítulo de resultados e discussão está dividido em quatro partes, referentes aos modelos estudados: modelo de cooperação com inovação contínua (Modelo 1), modelo de cooperação com inovação disruptiva (Modelo 2), modelo misto com inovação contínua (Modelo 3) modelo misto com inovação disruptiva (Modelo 4).

Para cada modelo, foram simuladas e analisadas 15 combinações de escolha dos adotantes iniciais (por maior centralidade de grau, intermediação, proximidade e de Bonacich e a escolha aleatória) com três tipos de rede (regular, de pequeno-mundo e aleatória).

A análise dos resultados considerou os dados presentes nos gráficos mais relevantes, isto é, que apresentaram as informações mais significativas, não analisando, por exemplo, informações repetidas ou gráficos em que não houve aumento no número de adotantes. A descrição dos gráficos escolhidos está presente no quadro 2 ao quadro 9. Os restante dos gráficos e dos dados está presente na mídia anexa (DVD), cuja descrição está presente no apêndice deste documento.

4.1 MODELO 1

Este modelo contém somente agentes cooperadores, conectados por redes do tipo Watts-Strogatz, que difundem uma inovação contínua. Os resultados das simulações estão nas figuras 9 a 12. Os dados escolhidos para análise estão presentes no quadro 2. Nesse caso, somente foram analisados os arranjos de escolha de adotantes iniciais que apresentaram difusão.

Quadro 2: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 1.

p	Escolha de adotantes iniciais	m_i									
		4	5	6	7	8	9	10	20	30	
0	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
0.5	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
1	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										

Os dados das simulações escolhidas para análise estão destacados em vermelho. Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Na figura 9 temos os gráficos do número médio de adotantes finais como função do número de adotantes iniciais para diferentes estratégias de escolha dos pioneiros.

A figura 10 mostra o gráfico com as simulações que alcançaram mais adotantes dentre as descritas da figura 9, que foram as realizadas em uma rede regular, com valor de m_i igual a 12. No referido gráfico, mostramos as linhas (por número de pioneiros) de valores médios de adoção por instante de tempo.

Em seguida, a figura 11 apresenta uma compilação dos resultados das simulações nas redes de pequeno-mundo, cujos gráficos mostram o número médio de adotantes finais como função

do número de adotantes iniciais. Por fim, a figura 12 também apresenta os mesmos tipos de gráficos que a 11, cujos dados são referentes à simulações em redes aleatórias.

O que se pode observar na figura 9, foi que a maior difusão da inovação se deu na escolha por maior centralidade de intermediação, para a rede com $m_i=10$, por isso (considerando somente os dados desse gráfico) caso não se pode dizer que foi encontrada uma correlação clara do valor de m_i com o aumento (ou diminuição) da quantidade de adotantes finais. Já no gráfico de escolha aleatória da mesma figura mostrou que houve uma correlação negativa de m_i com o número de adotantes finais, isto é, à medida que se aumentava o m_i da rede na simulação, a quantidade de adotantes finais diminuía.

Figura 9: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em redes do tipo regular ($p=0$).

No painel superior temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel inferior, os pioneiros têm maior centralidade de intermediação. Nesta figura, o valor de m_i é representado pela letra m . Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Observamos não houve adoção quando escolhemos os pioneiros com maiores centralidades de grau, proximidade e de Bonacich para as simulações com rede regular. Por esse motivo, os gráficos referentes à estes arranjos não foram mostrados na figura 9. No cenário em que os pioneiros são escolhidos aleatoriamente ou segundo os maiores valores de intermediação,

ocorre adoção, mas não atinge a totalidade dos agentes da rede ($n=100$). O grau inicial impacta na quantidade de adotantes no caso aleatório e de escolha por intermediação.

Para o entendimento de como ocorreram os processos de difusão ao longo do tempo, consideramos como exemplo a figura 10, cuja escolha dos pioneiros foi por maior centralidade de intermediação e $m_i=10$.

Figura 10: Média de adotantes por tempo para a escolha de adotantes iniciais por intermediação em rede do tipo regular ($p=0$, $m_i=10$).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

No caso apresentado na figura 10, obteve-se um valor maior de adotantes para todas as simulações de $p=0$. Cabe também notar que é somente quando o número de adotantes iniciais é maior que 20 que ocorre uma maior difusão da inovação. Também se observa que a difusão ocorre em um intervalo inferior a 5 unidades de tempo com uma estabilização do número de adotantes após 5 unidades de tempo.

Considerando simulações com redes de pequeno-mundo (com $p=0.5$), a figura 11 mostra os gráficos que comparam os números de adotantes finais com os iniciais, para todas as estratégias de escolha de pioneiros.

Figura 11: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em redes do tipo de pequeno-mundo ($p=0.5$).

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior centralidade de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de Bonacich. Nesta figura, o valor de m_i é representado pela letra m . Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

O que se observou na figura 11, foi uma maior difusão da inovação quando há uma maior disassortatividade de grau da rede, isto é, com uma maior diversidade de centralidades de grau

dos agentes. Neste contexto, se destacam os gráficos de centralidades de grau e intermediação, que alcançaram mais adotantes que as outras métricas, chegando a superar a marca de 40 adotantes finais para os valores de m_i entre 4 e 7. Em comparação com a escolha aleatória, as simulações com a escolha por intermediação e de grau conseguiram mais adotantes no final de cada instante de tempo, para as redes com m_i inferior a 8. Também se observou em todos os gráficos apresentados que as simulações com redes apresentado os mesmos valores de m_i (4, 5, 6 e 7) conseguiram atingir mais adotantes que nas com valor de m_i maior.

Em comparação com a rede de pequeno-mundo, as simulações com redes aleatórias (com $p=1$) já apresentam resultados diferentes. Estas informações podem ser verificadas nos gráficos da figura 12, que também comparam os números de adotantes finais com os iniciais.

Figura 12: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em redes do tipo aleatória ($p=1$).

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior centralidade de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de Bonacich. Nesta figura, o valor de m_i é representado pela letra m . Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

O que se pode ser constatado na figura 12 é que, somente nas simulações para a estratégia de escolha de maior centralidade de grau e de maior intermediação, a inovação foi adotada por

mais de 50% da rede. Em comparação com a figura 11, pode-se dizer que o aumento da disassortatividade da rede possibilitou um aumento de difusão para essas estratégias de escolha. Também se observou, nos gráficos dessa figura, que a difusão diminuiu com o aumento do grau inicial de cada agente.

4.2 MODELO 2

Assim como no Modelo 1, as redes do Modelo 2 também contêm agentes cooperadores em redes do tipo de Watts-Strogatz, mas estes difundem uma inovação disruptiva. Os resultados apresentados estão presentes nas figuras 13 a 19. Os dados escolhidos para análise neste modelo estão presentes no quadro 3. Neste caso, foram analisados todos os dados de maneira geral.

Quadro 3: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 2.

p	Escolha de adotantes iniciais	m_i									
		4	5	6	7	8	9	10	20	30	
0	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
0.5	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
1	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										

Os dados das simulações escolhidas para análise estão destacados em vermelho. Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Na figura 13, mostramos os resultados das simulações realizadas com redes regulares, por meio de gráficos com números médios de adotantes finais em função do número de pioneiros, referentes à cada estratégia de escolha de pioneiros. O que se observou, foi que somente as simulações em que a escolha dos pioneiros foi aleatória ou por intermediação a inovação foi difundida para 100% da rede.

Já as figuras 14 e 15 apresentam uma análise mais aprofundada, ao mostrar os gráficos com valores médios de adotantes por instante de tempo, para as estratégias de escolha aleatória e por intermediação. A figura 14 realizou a análise das simulações com parâmetro $m_i=4$ a 30.

Os mesmos tipos de gráficos apresentados na figura 13 (que mostravam os números médios de adotantes finais em função da quantidade de pioneiros, sendo escolhidos por uma estratégia diferente em cada gráfico) foram apresentados nas figuras 16 e 17, cujas simulações foram realizadas com redes de pequeno-mundo e aleatórias, respectivamente.

Por fim, as figuras 18 e 19 realizam a análise do mesmo tipo de gráficos apresentados na figura 15 (número médio de adotantes por instante de tempo), para as simulações com uma rede de pequeno-mundo (com $p=0.5$ e $m_i=4$) e uma rede aleatória (com $p=1$ e $m_i=4$), respectivamente, onde foram consideradas todas as estratégias de escolha de pioneiros. Este destaque dado às simulações com estes tipos de rede se deu, pois, estas alcançaram, de um modo geral, mais adotantes finais com um menor número de pioneiros em comparação com as simulações com redes com mesmo valor de p e valor de m_i maior que 6.

Na figura 13, pudemos verificar que, somente as simulações com os métodos de escolha aleatória e por maior centralidade de intermediação atingiram 100% agentes. Os demais métodos de escolha atingiram aproximadamente 80% dos agentes.

Para ao gráfico com escolha aleatória, o uso de até 15 adotantes iniciais não gera uma adoção da inovação superior a 40% dos agentes da rede. No entanto, é possível atingir um patamar de 100% da rede adotando a inovação com o uso de um número superior a 25 adotantes iniciais, para todos os valores de m_i . Já para o gráfico de intermediação com um número inferior a 20 adotantes iniciais a adoção da inovação atinge somente um patamar inferior a 40% da rede. No entanto, com um número superior a 25 adotantes iniciais, observou-se que a inovação chegou a ser adotada por todos os agentes da rede nas simulações com m_i 4 e 5.

Figura 13: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em redes do tipo regular ($p=0$).

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior centralidade de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de Bonacich. Nesta figura, o valor de m_i é representado pela letra m . Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Ainda sobre a figura 13, constatamos que, nas difusões com escolha aleatória e de maior intermediação (em alguns casos) dos adotantes iniciais, quanto maior o valor de m_i da rede, eram necessários mais adotantes iniciais para se atingir o mesmo nível de adotantes em redes

com valor de m_i menor. Essa tendência se inverte para a escolha por outras métricas de centralidade, onde há uma maior difusão com valores de m_i superiores a 10.

Ainda sobre os arranjos de centralidade de grau, proximidade de Bonacich, a adoção ocorre com mais agentes somente ocorre quando é utilizado um número de adotantes iniciais superior a 20.

Uma análise mais aprofundada das difusões em redes regulares, os gráficos das figuras 14 e 15 apresentam uma análise de números médios de adotantes por tempo, para cada quantidade de adotantes iniciais, considerando os arranjos de escolha aleatória e por centralidade de intermediação (que conseguiram difundir a inovação para 100% da rede).

Para o gráfico de escolha aleatória (com $m_i=4$) apresentado na figura 12, mostrou que a inovação alcançou um patamar não superior a 60% dos agentes quando a difusão apresentava até 17 adotantes iniciais, chegando a 100% da rede com pelo menos 25 adotantes iniciais. Já para o arranjo de escolha por maior centralidade de intermediação, houve uma menor difusão da inovação. Nas simulações com até 17 pioneiros, a inovação foi adotada por mais de 30% da rede. No entanto, as simulações alcançaram 100% dos agentes com 28 adotantes iniciais.

Ainda sobre os dos gráficos da figura 15, vale também ressaltar que, em uma comparação das simulações com 19 e 21 pioneiros (no gráfico de intermediação) e das simulações com 17 e 19 pioneiros (no caso do gráfico com escolha aleatória), observou-se que, em ambos os gráficos, a quantidade de adotantes finais passou de, aproximadamente, 40% do total de agentes da rede, para um patamar superior à 60% do total de agentes com a adição de somente dois pioneiros na simulação. Este tipo de fenômeno pode ser descrito como uma espécie de bifurcação, onde há uma mudança na estrutura do sistema (LANGA, ROBINSON & SUÁREZ, 2002), que passa de um estado de baixo número de adotantes para um de número de adotantes mais elevado.

No caso da escolha por intermediação (figura 14), esse fenômeno de bifurcação não foi observado, onde só houve a superação da marca de 60% quando foram utilizados 21 adotantes iniciais. Quando utilizamos 28 adotantes iniciais, atingimos 100% dos agentes.

Figura 14: Média de adotantes finais por tempo por escolha aleatória e por intermediação em rede regular ($p=0$), com $m=4$.

No painel superior temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel inferior, os pioneiros são aqueles com maior centralidade de intermediação. Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Já nas difusões na rede com $m_i=30$ (gráfico à direita da figura 15), a escolha por intermediação atingiu mais adotantes com o uso de menos pioneiros, em comparação com a escolha aleatória. Para a escolha aleatória, as simulações com até 26 pioneiros não alcançavam mais de 40% de adotantes finais. Em uma comparação, os arranjos com escolha por maior centralidade de intermediação alcançaram 40% de adotantes com o uso de 21 pioneiros. Ainda sobre o mesmo arranjo (intermediação), o acréscimo de um adotante inicial, de 21 para 22, fez com que a quantidade de adotantes finais passasse de 40 para 60% da rede.

No caso da escolha aleatória da mesma figura 15, as simulações realizadas só alcançaram mais de 60% dos adotantes, com o uso de 29 pioneiros. A comparação dos dois arranjos também mostrou que foram necessários mais pioneiros na escolha aleatória para a inovação alcançar 100% da rede. Este patamar só foi alcançado nas simulações com 33 pioneiros, enquanto que, nas simulações com escolha por centralidade de intermediação, toda a rede adotou a inovação com o uso de 28 pioneiros.

Figura 15: Média de adotantes finais por tempo por escolha aleatória e por intermediação em rede regular ($p=0$), com $m=30$.

No painel do superior temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel inferior, os pioneiros são aqueles com maior centralidade de intermediação. Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Iniciando uma análise das difusões por redes de pequeno-mundo (com $p=0.5$) do Modelo 2, a figura 16 mostra os gráficos gerados, comparando o número médio de adotantes finais com o número de adotantes iniciais.

Figura 16: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em redes de pequeno-mundo ($p=0.5$).

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior centralidade de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de Bonacich. Nesta figura, o valor de m_i é representado pela letra m . Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Se observa que, nos gráficos da figura 16, em todos os gráficos a difusão não alcançou um número muito superior de adotantes finais em comparação com o número de pioneiros. A partir de uma determinada quantidade de pioneiros ocorre um processo de bifurcação em que se passa de um regime de poucos adotantes finais para muitos adotantes finais. No entanto, uma comparação entre os gráficos mostra que, para os arranjos por escolha aleatória, foram necessários, de um modo geral (ao compararmos as linhas com os mesmos valores de m_i), mais adotantes iniciais para aumentar o número final de adotantes, quando número de adotantes iniciais é pequeno (inferior a 15). O fato interessante é que quando o número de adotantes iniciais é maior do que 15, a bifurcação ocorre, e o acréscimo de uma certa quantidade de adotantes iniciais (geralmente 5 adotantes), fez com que a inovação chegasse a 100% da rede, para todas as métricas de centralidade. Verificamos, também que, em todos os gráficos apresentados, à medida que o valor de m_i foi aumentando, foram necessários mais adotantes iniciais para a inovação alcançar 100% da rede.

Para a realização de uma análise mais aprofundada dos dados da figura 16, a figura 17 apresenta os gráficos das simulações com $m_i = 4$, cuja difusão se deu com menos adotantes iniciais. Inicialmente, a comparação do gráfico por escolha aleatória com os gráficos de escolha por centralidades mostra que o aumento da difusão nestes últimos métodos de escolha ocorre mais abruptamente à medida que se aumenta a quantidade de adotantes iniciais em comparação com o arranjo de escolha aleatória. Deste modo, entende-se que a bifurcação neste último arranjo é menos intensa.

Figura 17: Média de adotantes finais por tempo em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$, $m=4$).

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior centralidade de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Ainda na mesma figura 17, no gráfico de centralidade de Bonacich, observa-se o fenômeno de bifurcação com maior intensidade: com o acréscimo de um adotante inicial (de 18 para 19),

verificou-se que o número de adotantes finais passou de aproximadamente 40% para um número superior a 80% do total de agentes da rede. Em relação as análises das simulações com redes aleatórias, os gráficos da figura 18, fazem as mesmas comparações de parâmetros da figura 16 para as simulações com este tipo de rede (com $p=1.0$).

Figura 18: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em redes aleatórias ($p=1.0$).

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior centralidade de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de Bonacich. Nesta figura, o valor de m_i é representado pela letra m . Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

O que se observa na figura 18 é que ocorrem as mesmas tendências mostradas na figura 16. No gráfico por escolha aleatória de ambas as figuras também foram necessários mais adotantes iniciais para a inovação ser adotada pela totalidade da rede, em comparação com a escolha pelas maiores métricas de centralidade. Além disso, se observou que mais adotantes iniciais foram necessários para a inovação alcançar 100% da rede, à medida que o valor de m_i foi aumentando. Diferente do que foi apresentado na figura 16, na figura 18 o número de adotantes iniciais para ocorrer a adoção no patamar de 100% depende do tipo de centralidade. As centralidades de grau e de Bonacich difundem mais para um mesmo número inicial de adotantes, ou seja, a bifurcação começa com um número menor de pioneiros.

Deste modo, constata-se nas figuras 16 e 18, que em redes em que há uma maior diversidade de grau dos agentes, o método de escolha por maior centralidade, independente da métrica utilizada, permitiu que se alcançasse mais adotantes finais utilizando um número menor de agentes como adotantes iniciais em comparação com o método de escolha aleatória.

Para uma análise temporal do processo de adoção nas redes aleatórias, foram gerados os gráficos da figura 19, que comparam os valores médios de adoção por tempo, para as simulações em redes dos dois tipos com $m_i=4$, uma vez que estas apresentaram mais adotantes finais com a utilização de menos adotantes iniciais.

Figura 19: Média de adotantes finais por tempo em rede aleatória ($p=1.0$, $m=4$).

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior centralidade de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Na figura 19 (gráfico de proximidade), também se observou o fenômeno de bifurcação, onde mesmo acréscimo de um adotante inicial (de 18 para 19) houve uma mudança mais drástica, na

qual o número de adotantes finais passou de aproximadamente 20% para um patamar superior a 80% do total da rede. Por fim, entendeu-se que os fatos mostrados nas figuras 17 e 19, evidenciam que, com o emprego de menos de 30% de adotantes iniciais, foi possível atingir quase a totalidade da rede.

4.3 MODELO 3

Nesta seção vamos discutir o modelo 3, cujo modelo de agentes é misto, no qual coexistem agentes egoístas e cooperadores em uma mesma rede, e a inovação utilizada é contínua. Os resultados do modelo são relacionados nas figuras 20 a 26.

Nas figuras 20, 22 e 24, apresentamos os resultados das simulações onde computamos o número médio de adotantes finais em função do número de pioneiros. As simulações contemplam as redes regulares (figura 20), de pequeno-mundo (figura 22) e aleatórias (figura 24) com o valor de $m_i=4$. Já as figuras 21, 23 e 25 apresentam o número médio de adotantes finais em função do número de agentes egoístas presentes na rede.

De um modo geral, as simulações de redes com $m_i=4$ apresentaram maior difusão. Para uma comparação, foram também analisadas as simulações de redes com $m_i=30$. Nestes tipos de redes somente houve difusão nas simulações com uma rede regular e com uma rede aleatória. No entanto, nas simulações com a rede aleatória, a difusão não alcançou números superiores a 2 adotantes. Já nas simulações com rede regular, só houve difusão com método de escolha de adotantes iniciais por maior intermediação. Por esse motivo, na figura 26 se apresentam os gráficos com o número de adotantes finais por adotantes iniciais e em função da proporção de egoístas para uma rede regular.

Inicialmente, os dados escolhidos para análise de uma rede regular no Modelo 3 são apresentados no quadro 4. Neste caso, foi feita uma análise somente das simulações (em que houve difusão da inovação) para $m_i=4$ e $m_i=30$. A justificativa para a análise das simulações com os referidos parâmetros foi que estes conseguiram apresentar, respectivamente, as maiores e as menores difusões.

Quadro 4: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 3 em redes regulares ($p=0$).

Proporção de egoístas	Escolha de adotantes iniciais	m_i									
		4	5	6	7	8	9	10	20	30	
0%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
20%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
40%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
60%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
80%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										

Os dados das simulações escolhidas para análise estão destacados em vermelho. Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Os primeiros gráficos apresentados para rede regular estão presentes na figura 20. Neste caso, as simulações para $m_i=4$, somente apresentaram difusão nos arranjos por escolha aleatória e por centralidade de intermediação.

Figura 20: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede regular ($p=0$), com $m_i=4$.

No painel do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de intermediação. Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tanto a figura 20 e mais claramente a figura 21 observamos um decréscimo do número de adotantes finais com o crescimento da proporção de egoístas. Este decréscimo pode ser notado nas linhas com mais de 20 adotantes iniciais.

Figura 21: Média de adotantes finais por proporção de egoístas em rede regular ($p=0$), com $m_i=4$.

No painel do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de intermediação. Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A figura 22 trata das simulações em uma rede regular com $m_i=30$. Não houve difusão para as simulações com a rede de pequeno mundo e os números médios de difusão para a rede aleatória não foram superiores a 2 adotantes. Ao se analisar os dois gráficos presentes nesta figura, nota-se que as simulações realizadas não chegaram a alcançar 40% de adotantes na rede.

Figura 22: Média de adotantes finais por adotantes iniciais e por proporção de egoísta, em rede regular ($p=0$), com $m_i=30$ e método de escolha (de adotantes iniciais) por maior centralidade de intermediação.

O gráfico no painel superior se refere ao número médio de adotante finais em função do número de adotantes iniciais. No painel inferior é mostrado o gráfico com o número médio de adotante finais em função da proporção de agentes egoístas na rede. Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Ainda sobre a figura 22, nota-se que em todas as simulações (com todas as quantidades de pioneiros) não houve difusão para mais de 10 adotantes. A redução do número médio de adotantes finais com o aumento de agentes egoístas na rede também é observado, especialmente para as linhas para um número de pioneiros (adotantes iniciais) superior a 20.

Em relação aos dados das simulações realizados nas redes de pequeno-mundo, os dados escolhidos para análise de uma rede regular no Modelo 3 são apresentados no quadro 5. Neste caso, foi feita uma análise somente das simulações para $m_i=4$ análise das simulações com este parâmetro foi que estas conseguiram apresentar as maiores difusões.

Quadro 5: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 3 em redes de pequeno-mundo ($p=0.5$).

Proporção de egoístas	Escolha de adotantes iniciais	m_i									
		4	5	6	7	8	9	10	20	30	
0%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
20%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
40%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
60%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
80%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										

Os dados das simulações escolhidas para análise estão destacados em vermelho. Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Ao se observar o gráfico da figura 23, pudemos ver que em todas as estratégias de escolha de adotantes iniciais houve difusão. Dentre estas, pode se destacar a escolha por maior centralidade de grau, chegou a aproximadamente 50% do total de adotantes. As simulações com escolha por

intermediação também se destaca por superar o patamar de 40% dos adotantes. As demais estratégias de escolha não superaram o patamar de 40% de adotantes.

Figura 23: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$), com $m=4$.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior centralidade de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior centralidade de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A figura 24, que trata das mesmas simulações da figura 23, mostra que, a inovação foi difundida para poucos adotantes, não ultrapassando a marca de 20 agentes, além dos agentes pioneiros. O

que se pode observar nestes gráficos, especialmente para os casos referentes a mais de 20 adotantes iniciais (pioneiros) foi que houve um decréscimo do total de adotantes com um aumento da proporção de agentes egoístas na rede.

Figura 24: Média de adotantes finais por proporção de egoístas em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$), com $m=4$.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Em relação as simulações realizadas nas redes aleatórias, os dados escolhidos para análise de uma rede regular no Modelo 3 são apresentados no quadro 6. Neste caso, foi feita uma análise somente das simulações para $m_i=4$ análise das simulações com este parâmetro foi que estas conseguiram apresentar as maiores difusões.

Quadro 6: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 3 em redes aleatórias ($p=1$).

Proporção de egoístas	Escolha de adotantes iniciais	m_i									
		4	5	6	7	8	9	10	20	30	
0%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
20%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
40%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
60%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
80%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										

Os dados das simulações escolhidas para análise estão destacados em vermelho. Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Na figura 25, que são realizadas em uma rede aleatória, as estratégias de escolha por grau e intermediação foram superiores chegaram a alcançar mais de 50 % da rede. Em comparação com as simulações com as redes regulares e de pequeno-mundo, é possível ver que a difusão é maior para todas as estratégias de escolha de pioneiros.

Figura 25: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede aleatória ($p=1$), com $m_i=4$.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Outra característica apresentada nos gráficos da figura 25 é que, para as estratégias de escolha por grau e intermediação, a inovação alcança menos adotantes nas redes com mais agentes

egoístas. Este fenômeno ocorre com mais destaque nas simulações em que há mais de 20 agentes pioneiros.

Em uma análise mais detalhada dos dados dos gráficos da figura 25, a figura 26 mostra a influência do aumento de agentes egoístas nos processos de difusão realizados.

Figura 26: Média de adotantes finais por proporção de egoístas em rede aleatória ($p=1$), com $m_i=4$.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Desta forma, a análise da figura 26 mostra que as simulações com estratégia por escolha aleatória alcançaram menos adotantes em comparação com todas as métricas de centralidade. Também se nota um decréscimo de número de adotantes com o aumento de número de egoístas na rede.

4.4 MODELO 4

No Modelo 4 é estudado a inovação disruptiva em um modelo de agentes cooperadores e egoístas. Os resultados apresentados do modelo são relacionados nas figuras 27 a 37. Inicialmente, os dados escolhidos para análise de uma rede regular no Modelo 4 são apresentados no quadro 7. Neste caso, foram feitas análises somente das simulações para $m_i=4$ e $m_i=30$. A justificativa para a análise dos arranjos com os referidos parâmetros foi que estes conseguiram apresentar, respectivamente, as maiores e as menores difusões.

Quadro 7: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 4 em redes regulares ($p=0$).

Proporção de egoístas	Escolha de adotantes iniciais	m_i									
		4	5	6	7	8	9	10	20	30	
0%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
20%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
40%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
60%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
80%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										

Os dados das simulações escolhidas para análise estão destacados em vermelho. Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Nas figuras 27 e 29, apresentamos os resultados das simulações do número médio de adotantes finais em função do número de pioneiros para $m_i=4$ e 30, respectivamente. As curvas coloridas representam as diferentes proporções de egoístas. As figuras 28 e 30 utilizam os mesmos dados das simulações relatadas nas figuras 27 e 29, respectivamente, para uma compilação, em forma de gráficos, dos números médios de adotantes finais em função da proporção de agentes egoístas (cujas linhas apresentam os diferentes números de adotantes iniciais).

Na figura 27, as difusões por escolha aleatória chegaram a alcançar o patamar de 100% da rede regular (de $m_i=4$) para todas as proporções de agentes egoístas quando o número de adotantes iniciais foi superior a 25. A mesma marca de 100% dos agentes (para todas as proporções de agentes egoístas) também foi alcançada nas simulações por escolha de maior intermediação, quando o número de adotantes iniciais foi superior a 30 adotantes. As demais estratégias de escolha não conseguiram difundir as inovações para uma proporção superior a 40% dos adotantes.

Figura 27: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede regular ($p=0$), com $m_i=4$.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Analisando os dados apresentados na figura 28 e na figura anterior, foi observado um decréscimo no número de adotantes com o aumento do número de agentes egoístas na rede. No entanto, com o aumento do número de nas estratégias de escolha aleatórias e intermediação há a estabilização no patamar de 100% dos agentes para as simulações com a quantidade de 33

adotantes iniciais. Não havendo redução de número de adotantes mesmo com uma quantidade de agentes egoístas de mais de 80%.

Figura 28: Média de adotantes finais por proporção de egoístas em rede regular ($p=0$), com $m_i=4$.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Na figura 29, as difusões por escolha aleatória e maior intermediação chegaram a alcançar o patamar de 100% da rede regular de $m_i=30$, quando o número de adotantes iniciais foi superior

a 30. Enquanto que, nas simulações com escolha por intermediação, a inovação chegou a ser adotada para toda a rede (com todas as proporções de egoístas), o gráfico referente à escolha aleatória mostra que a inovação só foi adotada para 100% dos agentes nas as simulações com proporção de egoístas de até 20%. As demais estratégias de escolha conseguirem difundir a inovação para mais de 80% da rede.

Figura 29: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede regular ($p=0$), com $m=30$.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Em uma análise da figura 30 fica claro que a difusão tem dois regimes diferentes. Quando a proporção de adotantes iniciais é inferior a 33, não ocorre difusão da inovação. Para uma quantidade maior de pioneiros, fica claro que a difusão decresce com o número de egoístas para as estratégias de inicialização via centralidade de grau, proximidade e Bonacich.

Figura 30: Média de adotantes finais por proporção de egoístas em rede regular ($p=0$), com $m=30$.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Em relação aos dados escolhidos para análise das difusões em redes pequeno-mundo neste modelo são apresentadas no quadro 8. Neste caso, também foram feitas análises somente das simulações para $m_i=4$ e $m_i=30$ por apresentar, respectivamente, as maiores e as menores difusões.

Quadro 8: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 4 em redes de pequeno-mundo ($p=0.5$).

Proporção de egoístas	Escolha de adotantes iniciais	m_i									
		4	5	6	7	8	9	10	20	30	
0%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
20%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
40%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
60%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
80%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										

Os dados das simulações escolhidas para análise estão destacados em vermelho. Fonte: Arquivo pessoal (2019)

As primeiras simulações em redes de pequeno-mundo são mostradas na figura 31. Esta análise foi feita em relação aos dados de difusão em redes com $m_i=4$. O que se observa é, em todas as estratégias de escolha, se alcançou 100% de agentes adotantes.

Figura 31: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$), com $m_i=4$.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Ainda sobre a figura 31, se constata que, no gráfico das simulações por escolha aleatória, observa-se que há uma oscilação dos valores de adotantes finais. Este fenômeno também é encontrado nos gráficos das figuras 27 e 29 com maior intensidade. Tal fator provavelmente se dá pela combinação da aleatoriedade de escolha nas redes com a existência de atratores quando as simulações são realizadas com intervalo de 1 adotante inicial. No entanto, quando se realizam as simulações com um intervalo maior entre adotantes iniciais essa oscilação desaparece. Em uma análise mais detalhada dos dados da figura 31, a figura 32 mostra que a partir de um certo número de adotantes iniciais, mesmo com o aumento do número de agentes egoístas na rede há pouca redução da quantidade total de adotantes.

Figura 32: Média de adotantes finais por proporção de egoístas em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$), com $m=4$.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

A figura 33 apresenta a quantidade média de adotantes em função de cada instante de tempo, para as simulações com 80% de egoístas.

Figura 33: Média de adotantes finais por tempo em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$), com $m_i=4$ e 80% de egoístas.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Observando os gráficos da figura 33, vimos que também existe o processo de bifurcação para estas simulações, com destaque para a o gráfico p de escolha por centralidade de Bonacich que, comparando as simulações com 17 e 18 adotantes iniciais, a adoção da inovação passou de um nível inferior á 40% para um nível superior a 80%. As difusões para as escolhas por maior centralidade de grau e intermediação alcançaram 100% de adotantes, com, respectivamente, o

número de 20 e 22 pioneiros. As escolhas por centralidade de proximidade e de Bonacich difundiram a inovação para toda a rede com, pelo menos, 24 adotantes iniciais. Já as simulações por escolha aleatória, só conseguiram difundir a inovação para toda rede com uma quantidade maior ou igual que 25 adotantes iniciais. Nos gráficos de difusão por tempo, foi possível observar também o aumento da quantidade de um ou dois adotantes iniciais pode aumentar muito a quantidade de adotantes finais. Como exemplo, pode-se observar a quantidade de adotantes no gráfico de escolha por centralidade de Bonacich, onde com o aumento de 17 para 18 adotantes iniciais, o número de adotantes finais passou de um patamar de aproximadamente 40% para mais de 60% da rede.

Ainda em relação às redes de pequeno-mundo, a figura 34, mostra os resultados das simulações que ocorreram em uma rede deste tipo com $m_i=30$. Em comparação com os gráficos da figura 31, verificamos que foram necessários um número maior de adotantes iniciais para a inovação atingir toda a rede. Os gráficos dessa figura também mostram uma diminuição da difusão com o aumento no número de agentes egoístas. No entanto, somente nas simulações com escolha por intermediação, a inovação atingiu 100% da rede, em todas as proporções de egoístas.

Figura 34: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede de pequeno-mundo ($p=0.5$), com $m_i=30$.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Os processos de difusão da inovação nas redes aleatórias foram descritos no quadro 9, cujos dados foram mostrados na figura 35 até a figura 37, e representam as quantidades médias de adotantes finais para $m_i=4$ e $m_i=30$, respectivamente.

Quadro 9: Descrição das simulações analisadas do total de simulações do Modelo 4 em redes aleatórias ($p=1$).

Proporção de egoístas	Escolha de adotantes iniciais	m_i									
		4	5	6	7	8	9	10	20	30	
0%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
20%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
40%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
60%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										
80%	Grau										
	Proximidade										
	Intermediação										
	Bonacich										
	Escolha Aleatória										

Os dados das simulações escolhidas para análise estão destacados em vermelho. Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Os primeiros dados analisados nas simulações com redes aleatórias mostram que (para $m_i=4$) foram necessários mais adotantes iniciais nos arranjos por escolha aleatória para a inovação atingir a totalidade da rede tendência semelhante à encontrada nas simulações em redes de pequeno-mundo (figura 31).

Figura 35: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede aleatória ($p=1$), com $m_i=4$.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Para saber qual foi esse número de adotantes iniciais para a inovação fosse difundida para todos os adotantes iniciais, analisamos a figura 36, cujos gráficos mostram as simulações por tempo, com 80% de agentes egoístas.

Figura 36: Média de adotantes finais por tempo em rede aleatória ($p=1$), com $m=4$ e 80% de egoístas.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Observando os gráficos da figura 36, vimos que as difusões para as estratégias de escolha aleatória, por grau, intermediação, proximidade e pela centralidade de Bonacich alcançaram 100% de adotantes a partir de, respectivamente, 28, 18, 18 21 e 28 adotantes iniciais. O gráfico com escolha aleatória apresenta a bifurcação mais abrupta observada, passando de aproximadamente 40% de adotantes finais (com 22 pioneiros) para mais de 80% de adotantes (com 23 pioneiros).

Por fim, para uma comparação com as simulações dos dados de difusão na rede aleatória com $m_i=4$, a figura 37 mostra os resultados das simulações que ocorreram em uma rede aleatória com $m_i=30$.

Figura 37: Média de adotantes finais por número de adotantes iniciais em rede aleatória ($p=1$), com $m_i=30$.

No painel superior do lado esquerdo temos a escolha dos pioneiros de forma aleatória. No painel superior do lado direito os pioneiros são aqueles com maior centralidade de grau. No painel intermediário esquerdo os pioneiros têm maior grau de intermediação. No painel intermediário direito os pioneiros têm maior grau de proximidade e no painel inferior esquerdo os pioneiros têm maior grau de Bonacich. Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Em comparação com gráficos da figura 35, verificamos que, nos gráficos da figura 37 foram necessários mais adotantes iniciais para a inovação atingir toda a rede. Os gráficos dessas figuras também mostram que uma diminuição da difusão com o aumento no número de agentes

egoístas. Também se observou que a difusão nas linhas dos gráficos referentes a uma maior proporção de egoístas foi menor em comparação àquelas difusões com menos ou sem egoístas.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma análise dos gráficos de estratégia de escolha aleatória nas figuras 9, 11 e 12, mostrou, de um modo geral, que o Modelo 1 não favoreceu a difusão da inovação em um amplo intervalo de parâmetros. Nas redes pequeno-mundo e aleatória há uma discreta difusão da inovação, mesmo quando mais de 30% dos agentes são pioneiros. O que chama a atenção é que existe, para a rede pequeno-mundo, o aparecimento de uma bifurcação em torno de 10 pioneiros, mas que desaparece no caso da rede aleatória.

Esta bifurcação está presente em todos os casos simulados no Modelo 2, referente ao mecanismo de inovação disruptiva. Dentre as estratégias testadas, a centralidade de intermediação e aleatória foram as que permitiram atingir a totalidade de 100% dos agentes para a maior parte dos parâmetros testados.

As informações mostradas no capítulo anterior, mostram que o mecanismo disruptivo produziu resultados muito diferentes, se comparado ao caso contínuo. A diferença entre os mecanismos contínuos e disruptivos é que este último considera o *feedback* da inovação global sobre os limiares dos agentes individuais. Nesse caso, quando muitos indivíduos adotam a inovação disruptiva, esta ganha importância para possíveis adotantes (importância que pode ser traduzida na forma de um menor custo, maior produtividade ou na possibilidade de maior lucro). Mesmo havendo poucos adotantes na vizinhança, a percepção global entra em ação para favorecer a inovação.

No Modelo 3, onde foram introduzidos os agentes egoístas com mecanismo contínuo, nota-se que, como esperado, estes se tornaram uma barreira para a inovação. No entanto, as simulações não chegaram a alcançar um patamar de adoção superior a 60% dos agentes da rede.

O Modelo 4 simula os efeitos dos agentes egoístas e do mecanismo de inovação disruptiva operando concomitantemente. Para a rede regular houve inovação para estratégia aleatória e de intermediação, dominando o *feedback* global enquanto para as demais estratégias, os egoístas impediram a disseminação da inovação. Para as redes de pequeno-mundo e aleatórias, a inovação foi completa, atingindo a totalidade dos agentes. No entanto, observa-se que na figura 32 que, a partir de uma quantidade de pioneiros (no caso da figura, 35), não há uma diminuição da quantidade de adotantes finais com o aumento do número de agentes egoístas.

Além desses fatores, em todos os modelos, observou-se que as simulações com escolha por métricas de centralidade conseguiram difundir mais a inovação à medida que aumentou a

disassortatividade por grau das redes. Esta informação vai de encontro com o que foi relatado por Morris (2000), no qual foi observada maior difusão em redes com viés disassortativo, assim como nos estudos de Bueno (2015), constatando a formação de agentes influenciadores (AIs) em redes disassortativas, de Kebebe *et al.* (2015), que relata a existência de um processo de aceleração da difusão com AIs.

Em comparação com o estudo de Campos (2016), os gráficos de adotantes por tempo dos Modelos 2 e 4 apresentaram os mesmos fenômenos de bifurcação através de simulações, com a utilização de uma mecanismo de difusão com menor complexidade.

Por fim, ao se analisar os resultados dos modelos e comparar com as informações do estudo de Assenova (2018), no qual foi relatado que redes mais disassortativas possibilitavam grandes saltos na sua taxa de inovação, constatamos, para as simulações realizadas neste modelo, o maior crescimento do número de adotantes não dependeu somente das características da rede, mas também dos agentes que a compõem, além da própria inovação. Por esse motivo, temos que o modelo disruptivo favorece a inovação (possibilitando uma maior difusão) e a presença de egoístas funciona como um obstáculo ou barreira.

5 CONCLUSÃO

Ao se analisar os dados apresentados para todos os modelos, foi possível fazer uma comparação com os estudos de Morris (2000) e Bueno (2015), que relatavam a existência de uma maior difusão em redes disassortativas por grau. O que se observa no estudo foi que a difusão em uma rede regular, que pode ser definida como assortativa por grau, foi que a difusão da inovação foi restringida em comparação com as redes de pequeno-mundo e aleatória.

Nas difusões por rede regular, é possível se destacar que as estratégias de escolha aleatória e por maior centralidade de intermediação dos agentes pioneiros tiveram mais adotantes médios no final do período simulado em comparação com as outras estratégias. Deste modo, acredita-se que uma menor difusão para as estratégias de escolha por centralidade de grau, proximidade, assim como pela centralidade de Bonacich mostram que, por estas métricas serem influenciadas pela distribuição de graus da rede, é possível que não ocorram agentes influenciadores (ou agentes com maior centralidade por essas métricas na rede), restringindo assim a difusão da inovação. No entanto, as difusões com escolha de pioneiros por centralidade de intermediação podem ter sido maiores, pelo fato de ainda existir uma maior distribuição de centralidades por essa métrica mesmo em redes regulares.

Nas difusões em redes de pequeno-mundo e aleatórias, as simulações com os métodos de escolha por métricas de centralidade, especialmente a de grau e de intermediação, atingiram mais adotantes ou, para aquelas difusões em que 100% da rede adotou a inovação, as difusões alcançaram toda a rede com menos adotantes iniciais.

Este fato, comprova a importância dos agentes influenciadores (AI) relatado por Cadger *et al.* (2016), Franks, Griffiths e Anand (2014) e Kebebe *et al.* (2015), pois a presença de agentes com maior centralidade pode acelerar o processo de difusão.

Ainda sobre os tipos de rede, foi observado que, na maioria dos casos, o crescimento de grau dos nós (m_i) causou menor difusão. Isto provavelmente se deve ao próprio modelo utilizado para adoção, pois este depende da proporção de vizinhos adotantes sobre o total de vizinhos. Como o aumento do valor de m_i faz com que os agentes da rede, de um modo geral, tenham mais vizinhos, para que ocorresse uma adoção, seriam necessários mais vizinhos adotantes para se atingir uma proporção que permitisse a adoção, em comparação com a mesma proporção em um valor de m_i menor.

Os únicos casos onde foi observado um aumento do número de adotantes com o aumento de m_i ocorreu com as inovações disruptivas, em redes regulares para as estratégias de escolha por centralidades de grau, proximidade e de Bonacich. Esta ocorrência pode ser explicada pelo fato de uma quantidade maior de ligações ou arestas em uma rede, e consequentemente o aumento do número de vizinhos por agente, pode ter facilitado o contato dos agentes não adotantes com os agentes adotantes, permitindo a difusão da inovação.

Em relação às características dos agentes, observamos que existência de agentes egoístas, ou a sua ocorrência em uma maior proporção, dificultou o processo de difusão das inovações. No entanto, foi observado, que, com uma quantidade maior de adotantes iniciais, foi possível contornar estes agentes a atingir toda a rede.

Já se tratando dos diferentes tipos de inovação, observamos que a difusão da inovação disruptiva chegou em muitos casos a alcançar todos os agentes da rede. Em uma análise da difusão dessa inovação por tempo, verificamos que, muitas vezes, com um acréscimo de um ou dois adotantes iniciais das simulações, a quantidade de adotantes finais aumentou em mais de 50% o número de adotantes finais. O mesmo não pode ser dito da inovação contínua, cujos processos de difusão, apresentaram um crescimento constante à medida que o número de adotantes iniciais aumentava. Além disso, em todas as simulações com a inovação contínua, esta inovação não conseguiu ser adotada por mais de 60% da rede.

Em uma análise geral dos resultados obtidos e considerando os estudos de caso e meio agrícola, se entende que as informações obtidas com as diferentes simulações permitem um entendimento de que é possível uma disseminação de inovações, com a utilização de agentes com maior centralidade.

Além disso, a análise dos dados apresentados também mostra as limitações com a utilização desse método, isto é, as simulações realizadas também mostram as inovações em comunidades agrícolas podem alcançar mais propriedades ou indivíduos produtores se for utilizada uma certa quantidade de pioneiros com maior centralidade para a difusão, mais especificamente em redes com maior disassortatividade por grau e com inovações disruptivas. Desta forma, com a utilização de inovações disruptivas, quanto maior o número de pioneiros e/ ou maior é a disassortatividade da rede, maior é a chance de uma inovação alcançar toda a rede.

O que se pode considerar com limitação do uso deste método (de escolha dos agentes com maior centralidade para a difusão) é que em redes mais assortativas por grau e/ou com

inovações contínuas, a escolha de agentes iniciais por maior centralidade não garante uma maior difusão.

Assim, dadas as limitações apresentadas, esta nova estratégia de divulgação apresentada, pode fazer com que uma inovação alcance uma boa parte da comunidade, onde se almeja implementar uma inovação, com um custo menor, pois o próprio fluxo de informação entre os membros dessa comunidade pode possibilitar a sua difusão.

Por fim, como as diferenças entre inovações estavam presentes no limiar de adoção de cada agente, se sugere como estudo futuro para as simulações a realização de simulações com diferentes formas de cálculo, assim como a inserção de diferentes tipos de limiar para a observação destes efeitos no processo de difusão.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAMSON, E.; ROSENKOPF, L. Institutional and competitive bandwagons: Using mathematical modeling as a tool to explore innovation diffusion. **Academy of Management Review**, v. 1, n. 3, p. 487–517, 1991.
- _____. Social Network Effects on the Extent of Innovation Diffusion: A Computer Simulation. **Organization Science**, v. 8, n. 3, p. 289–309, 1997.
- _____. Modeling Reputational and Informational Influences in Threshold Models of Bandwagon Innovation Diffusion. **Computational & Mathematical Organization Theory**, v. 4, n. 5, p. 361–384, 1999.
- ACHORA, J. C. *et al.* ICTs for conservation agriculture : influence of actor positioning in knowledge networks in Laikipia and Machakos counties , Kenya. **Rural Extension & Innovation Systems Journal**, v. 14, n. 1, p. 24–33, 2018.
- ASSENOVA, V. A. Modeling the diffusion of complex innovations as a process of opinion formation through social networks. **PLoS ONE**, v. 13, n. 5, p. 1–18, 2018.
- BASS, F. M. Comments on “A New Product Growth for Model Consumer Durables The Bass Model”. **Management Science**, v. 50, n. 12_supplement, p. 1833–1840, 2004.
- BEAL, G. M.; ROGERS, E. M. The Scientist as a Referent in the Communication of New Technology. **Public Opinion Quarterly**, v. 22, n. 4, p. 555, 1958.
- BIRKE, D. The economics of networks: A survey of the empirical literature. **Journal of Economic Surveys**, v. 23, n. 4, p. 762–793, 2009.
- BONACICH, P. Power and Centrality: A Family of Measures. **American Journal of Sociology**, v. 92, n. 5, p. 1170–1182, mar. 1987.
- BRANDES, U. On variants of shortest-path betweenness centrality and their generic computation &. v. 30, p. 136–145, 2008.
- _____. The Journal of Mathematical A faster algorithm for betweenness centrality. n. July 2012, p. 37–41, 2010.
- BUENO, N. P. Improving communication in drought preparedness campaigns in irrigation systems: A network analysis. **Business and Management Review**, v. 4, n. 1, p. 204–209, 2014.
- _____. Are opinion leaders important to spread information to cope with extreme droughts in (all) irrigation systems? A network analysis. **Scientometrics**, v. 105, n. 2, p. 817–824, 2015.
- CADGER, K. *et al.* Development Interventions and Agriculture Adaptation: A Social Network Analysis of Farmer Knowledge Transfer in Ghana. **Agriculture**, v. 6, n. 3, p. 32, 2016.
- CAMPOS, R. F. DE A. **Disseminação de informações em sistemas socioecológicos: análise do perímetro de irrigação Gorutuba, Minas Gerais**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2016.
- CANO-REYES, O. *et al.* Investigación participativa y redes de innovación en agroecosistemas con papayo en cotaxtla, veracruz, méxico. **AGRICULTURA, SOCIEDAD Y DESARROLLO**, v. 12, n. 2, p. 219–235, 2015.
- CARLETTO, C. *et al.* Globalization and smallholders: The adoption, diffusion, and welfare impact of non-traditional export crops in Guatemala. **World Development**, v. 38, n. 6, p. 814–827, 2010.
- CARLETTO, C.; JANVRY, A. DE; SADOULET, E. Sustainability in the Diffusion of Innovations: Agro-Exports Smallholder Nontraditional in Guatemala. **Economic Development and Cultural Change**, v. 47, n. 2, p. 345–369, 1999.
- CAUDELL, M.; ROTOLO, T.; GRIMA, M. Informal lending networks in rural Ethiopia. **Social Networks**, v. 40, n. 1, p. 34–42, 2015.
- CHRISTENSEN, C. M.; RAYNOR, M. E. **The Innovator s Solution: Creating and sustaining sucessful growth**. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Publishing Corporation All, 2003.

DEGENNE, A.; FORSE, M. Introducing Social Networks. **Sociological Research Online**, v. 4, n. 4, 1999.

DÍAZ-JOSÉ, J. *et al.* Original Article Innovation Diffusion in Conservation Agriculture : A Network Approach. **European Journal of Development Research**, n. Cc, p. 1–16, 2015.

FEDER, G.; UMALI, D. L. The Adoption of Agricultural Innovations A Review. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 43, p. 215–239, 1993.

FRANKS, H.; GRIFFITHS, N.; ANAND, S. S. Learning agent influence in MAS with complex social networks. **Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**, v. 28, n. 5, p. 836–866, 2014.

FREEMAN, L. C. A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. **Sociometry**, v. 40, n. 1, p. 35–41, 1977.

FREEMAN, L. C. Centrality in Social Networks Conceptual Clarification. **Social Networks**, v. 1, n. 1968, p. 215–239, 1978.

GABARDO, A. C. **Análise de Redes Sociais: Uma Visão Computacional**. Primeira E ed. São Paulo: Novatec Editora Ltda., 2015.

GARCIA, R.; CALANTONE, R. A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology : a literature review. **The Journal of Product Innovation Management**, n. 19, p. 110–132, 2002.

GHADIM, A.; PANNELL, D. J. A conceptual framework of adoption of an agricultral innovation. **Agricultural Economics**, v. 21, n. 1, p. 145–154, 1999.

GIULIANI, E.; BELL, M. The micro-determinants of meso-level learning and innovation: Evidence from a Chilean wine cluster. **Research Policy**, v. 34, n. 1, p. 47–68, 2005.

GRILICHES, Z. Hybrid Corn : An Exploration in the Economics of Technological Change. **The Econometric Society**, v. 25, n. 4, p. 501–522, 1957.

GUARDIOLA, X. *et al.* Modeling diffusion of innovations in a social network. **Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics**, v. 66, n. 2, p. 2–5, 2002.

HARTWICH, F.; HALGIN, D.; MONGE, M. How Change Agents and Social Capital Influence the Adoption of Innovations among Small Farmers. Evidence from Social Networks in Rural Bolivia. **IFPRI Discussion Paper**, n. April, p. 76 ST-How Change Agents and Social Capital Infl, 2008.

HARTWICH, F.; SCHEIDEGGER, U. the Missing Piece in Rural Development ? **Rural Development News**, v. 1, p. 70–75, 2010.

HASLER, K. *et al.* Drivers for the adoption of different eco-innovation types in the fertilizer sector: A review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 12, p. 1–22, 2017.

HOANG, L. A.; CASTELLA, J.-C.; NOVOSAD, P. Social networks and information access: Implications for agricultural extension in a rice farming community in northern Vietnam. **Agriculture and Human Values**, v. 23, n. 4, p. 513–527, 2006.

KAWA, N. C.; MCCARTY, C.; CLEMENT, C. R. Manioc Varietal Diversity, Social Networks, and Distribution Constraints in Rural Amazonia. **Current Anthropology**, v. 54, n. 6, p. 764–770, 2013.

KEBEBE, E. *et al.* Understanding socio-economic and policy constraints to dairy development in Ethiopia: A coupled functional-structural innovation systems analysis. **Agricultural Systems**, v. 141, p. 69–78, 2015.

KLERKX, L.; MIERLO, B. VAN; LEEUWIS, C. Chapter 20- Evolution of systems approaches to agricultural innovation: concepts, analysis and interventions. *In*: DARNHOFER, I.; GIBBON, D.; DEDIEU, B. (Eds.). . **Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic**. Shropshire, UK: Springer, 2012. p. 487.

LANGA, J. A.; ROBINSON, J. C.; SUÁREZ, A. Stability, instability, and bifurcation phenomena in non-autonomous differential equations. **Nonlinearity**, v. 15, n. 3, p. 887–903, 2002.

LÄPPLE, D.; RENSBURG, T. VAN. Adoption of organic farming: Are there differences between early and late adoption? **Ecological Economics**, v. 70, n. 7, p. 1406–1414, 2011.

MARRA, M.; PANNELL, D. J.; GHADIM, A. A. The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: Where are we on the learning curve? **Agricultural Systems**, v. 75, p. 215–234, 2003.

MASHAVAVE, T. *et al.* Interaction patterns determining improved information and knowledge sharing among smallholder farmers. **African Journal of Agricultural Resource Economics**, v. 8, n. 1, p. 1–12, 2013.

MATUSCHKE, I.; QAIM, M. The impact of social networks on hybrid seed adoption in India. **Agricultural Economics**, v. 40, n. 5, p. 493–505, 2009.

MCPHERSON, M.; SMITH-LOVIN, L.; COOK, J. M. Birds of a Feather: Homophily in Social Networks. **Annual Review of Sociology**, v. 27, n. 1, p. 415–444, 2001.

MORRIS, M. Local Rules and Global Properties: Modeling the Emergence of Network Structure Martina. *In: Dynamic Social Network Modeling and Analysis: Workshop Summary and Papers*. [s.l: s.n.]. p. 1–13.

NORTON, J. A.; BASS, F. M. Evolution of Technological Generations: The Law of Capture. **Sloan Management Review**, v. 98, n. 3, p. 451–468, 1992.

PANNELL, D. J. *et al.* Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 46, n. 11, p. 1407–1424, 2006.

PICH, C. Centrality Estimation in Large Networks. **Department of Computer and Information Science University of Konstanz**, 2006.

QUIÉDEVILLE, S. *et al.* Systemic Sustainability of the French Organic Rice and PGI Einkorn Value Chains : A Preliminary Assessment Based on Network Analysis. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 1–22, 2018.

ROGERS, E. M. **Diffusion of Innovations**. New York: The Free Press, 2003.

SNEDDON, J.; SOUTAR, G.; MAZZAROL, T. Modelling the faddish, fashionable and efficient diffusion of agricultural technologies: A case study of the diffusion of wool testing technology in Australia. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 78, n. 3, p. 468–480, 2011.

STEVENSON, W. B.; GREENBERG, D. Agency and Social Networks: Strategies of Action in a Social Structure of Position, Opposition, and Opportunity. **Administrative Science Quarterly**, v. 45, n. 4, p. 651, 2000.

VALENTE, T. W.; DAVIS, R. L. Accelerating the Diffusion of Innovations Using Opinion Leaders. **The Annals of the American Academy of Political and Social Science**, v. 566, n. 1, p. 55–67, 1999.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social Network Analysis: Methods and Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. **Nature**, v. 393, n. June, p. 440–442, 1998.

ZABALA, A.; PASCUAL, U.; GARCÍA-BARRIOS, L. Payments for Pioneers? Revisiting the Role of External Rewards for Sustainable Innovation under Heterogeneous Motivations. **Ecological Economics**, v. 135, p. 234–245, 2017.

APÊNDICE- DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO EM MÍDIA

A presente dissertação conta com uma mídia anexa (DVD) onde os dados estão divididos em 4 pastas (uma para cada modelo) e dentro de cada pasta existem duas subpastas contendo dados gerados para cada modelo estudado. A primeira apresenta os bancos de dados em arquivo de extensão .csv referentes à todas as simulações realizadas para cada modelo. Já a segunda subpasta apresenta arquivos com extensão .pdf contendo os gráficos gerados referentes às simulações realizadas em cada modelo.

Todos os arquivos em cada subpasta estão identificados, sendo os arquivos com extensão .pdf nomeados e ordenados por estratégias de escolha de adotantes iniciais (por centralidades de grau, intermediação, proximidade, e de Bonacich, além da escolha aleatória) e os bancos de dados com extensão .csv são nomeados e ordenados por simulação realizada, isto é, considerando as 5 estratégias de escolha de adotantes iniciais e os 3 valores diferentes de p (0, 0.5 e 1). O número de arquivos para cada pasta é de 5 arquivos .pdf e 15 arquivos .csv, totalizando 20 arquivos .pdf e 60 arquivos .csv na mídia.