

Disseminação de informações em sistemas socioecológicos: análise de um modelo híbrido de Dinâmica de Sistemas e Modelagem Baseada em Agentes

Information dissemination in socio-ecological systems: analysis of a hybrid model of System Dynamics and Agent-Based Modeling

Rafael Faria de Abreu Campos ⁽¹⁾

Dênis Antônio da Cunha ⁽²⁾

Newton Paulo Bueno ⁽³⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal de Minas Gerais

⁽²⁾ Universidade Federal de Viçosa

⁽³⁾ Universidade Federal de Viçosa

Abstract

This paper aimed to analyze the process of information dissemination in socioecological systems. System Dynamics, Agent-Based Modeling, and Social Network Analysis approaches were used for the construction of a hybrid simulation model. An analysis of the characteristics and structural aspects of social networks of the Gorutuba Irrigation Perimeter, in Minas Gerais, was performed. We observed that the most central agents are in key positions for the flow of information or on compulsory routes for their spread, thus allowing them to filter, retain, or even distort the knowledge. We conclude that policies to improve the flow of information to increase resilience should be based on targeting leading agents.

Keywords

information dissemination, System Dynamics, Agent-Based Modeling, Social Network Analysis, irrigation systems

JEL Codes Q15, Q54, Q58.

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar o processo de disseminação de informações em sistemas socioecológicos. Foi construído um modelo de simulação computacional híbrido a partir das abordagens de Dinâmica de Sistemas, Modelagem Baseada em Agentes e Análise de Redes Sociais. Foi realizada análise das características e aspectos estruturais das redes sociais do Perímetro de Irrigação Gorutuba, em Minas Gerais. Os resultados indicaram que os agentes centrais se encontram em posições-chave para o fluxo de informação ou em rotas obrigatórias para sua disseminação, o que os permite filtrar, reter ou até mesmo distorcer o conhecimento. Concluiu-se que políticas que visem aperfeiçoar o fluxo de informações para elevar a resiliência de sistemas devem se basear na focalização de agentes líderes.

Palavras-chave

disseminação de informações, Dinâmica de Sistemas, Modelagem Baseada em Agentes, Análise de Redes Sociais, sistemas de irrigação.

Códigos JEL Q15, Q54, Q58.

1 Introdução

As alterações do clima global têm tido impactos sobre os sistemas humanos e naturais. Eventos climáticos extremos têm ocorrido com maior frequência, com destaque para as alterações nos padrões de precipitação (International Panel on Climate Change – IPCC, 2014). Fenômenos extremos como a seca têm se manifestado, sobretudo, nas regiões áridas e semiáridas, as quais representam 55% das terras mundiais (Nunes, 2011) e aproximadamente 10% do território brasileiro (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2005). O setor agrícola dessas regiões é um dos mais afetados pelas alterações climáticas, de modo que a irrigação é uma das principais formas de adaptação dos agricultores. Nos diversos municípios do semiárido brasileiro a irrigação se torna ferramenta indispensável para o incremento da produtividade na agricultura (Cunha *et al.*, 2015; Nelson *et al.*, 2014).

Nesse contexto, o presente estudo procurou analisar o processo de disseminação de informações no Perímetro de Irrigação Gorutuba – PGO, localizado na região semiárida do norte de Minas Gerais, área bastante seca e dependente da agricultura. A fragilidade socioeconômica dos produtores do perímetro se revela na medida em que a agricultura da região vem sendo afetada, negativamente, pela diminuição dos índices pluviométricos há alguns anos (Distrito de Irrigação do Perímetro do Gorutuba – DIG, 2015). O uso de irrigação, portanto, minimiza as perdas.

O PGO, cuja fonte hídrica é a Barragem Bico da Pedra, tem área de aproximadamente 11 mil hectares. Situa-se no município de Nova Porteirinha, a jusante dessa barragem, a partir da qual a água é conduzida por 134,3 quilômetros de canais, que abastecem cerca de 5 mil hectares irrigáveis, localizados à margem direita do rio Gorutuba. Grande polo de fruticultura irrigada do país (banana, manga, mamão, uva e goiaba), o PGO gera aproximadamente 9,5 mil empregos, produzindo cerca de 70 mil toneladas por ano de produtos agrícolas (DIG, 2011). Considerando a área total irrigável do PGO, pode-se afirmar que aproximadamente 50% são de pequenos produtores familiares de subsistência.

A presente pesquisa dá sua contribuição utilizando técnicas que permitem contemplar as complexas interações entre os ambientes físico e institucional que influenciam a formulação e a implantação de políticas específicas. Procurou-se responder à questão: qual é a melhor forma de

se disseminar novas informações a produtores rurais, de forma que eles desenvolvam regras de comportamento coletivo, frente ao recurso escasso água, capazes de assegurar a perenidade do sistema socioecológico do qual são parte? A ideia foi analisar se incentivos e informações precisam ser dados a todos os agentes ou somente a parte deles, garantindo que a maioria adote práticas adequadas à manutenção do sistema em que operam.

A justificativa para o estudo reside no fato de que sistemas de irrigação podem perder resiliência devido a pequenas variações nas condições ambientais (Bueno, 2014b). Ademais, Bueno (2009) destaca que, mais do que em qualquer outro tipo de sistema, é nos perímetros de agricultura irrigada que interagem, de forma mais fundamental, as dimensões técnica, climática, econômica e institucional de uma atividade. Assim, a partir dos resultados deste estudo, pretende-se incentivar a criação de políticas de treinamento, incentivos e créditos para a adoção de novas práticas de uso consciente do recurso hídrico no PGO, dada a importância vital da agricultura para a região. Ao mesmo tempo, este estudo contribui metodologicamente ao desenvolver um modelo computacional híbrido capaz de ser aplicado a diversos tipos de sistemas socioecológicos.

2 Metodologia

A metodologia de Dinâmica de Sistemas (DS) foi desenvolvida para monitorar os resultados de ações isoladas sobre o desempenho de variáveis que se encontram interligadas em ciclos de retroalimentação (*feedback loops*), nas quais as relações entre causas e consequências estão geralmente distanciadas no tempo, ou seja, as variáveis relacionam-se com defasagens temporais normalmente não captadas em modelos mentais¹ (Sterman, 2000; Caliarì; Bueno, 2010). A DS pode ser definida, segundo Forrester (1961), como abordagem utilizada para descrever o caminho pelo qual o estado de um sistema (definido por uma ou mais variáveis) desenvolve-se em outros ao longo do tempo. Nesse sentido, os modelos de DS são compostos por um conjunto de equações diferenciais, como na abordagem de

1 O conceito de modelos mentais – definido como o conjunto de crenças, suposições e sentimentos que molda a visão de mundo e a ação de um indivíduo – tem sido importante na DS desde o início desse campo de estudos. Essa importância deriva da descoberta de que uma das causas comuns para um mau funcionamento do sistema é que as pessoas usam modelos mentais errôneos para guiar suas decisões (Sterman, 2000; Ford, 1997; Forrester, 1987).

Sistemas Dinâmicos (SD),² a qual é utilizada tradicionalmente em vários campos do conhecimento, tais como na Física ou na Economia. Diferentemente dessa última abordagem, entretanto, os modelos de DS enfatizam a estrutura dos ciclos de retroalimentação, a qual se mostra responsável pela emergência de situações consideradas problemáticas do ponto de vista sistêmico, tais como a perda de resiliência de sistemas socioecológicos, a amplificação de choques exógenos adversos sobre o sistema econômico, ou até a persistência de comportamentos que retardam o processo de inovação tecnológica. A DS, conforme apresentado esquematicamente em Coyle (1996), é uma abordagem informação/ação/consequências.

Novas informações levam a ações (fluxos), por meio de variáveis auxiliares e parâmetros; tais ações irão modificar o estado (nível) das condições de um sistema após certa defasagem de tempo (Caliari; Bueno, 2010). Deve-se ressaltar a existência de defasagem temporal entre a execução da ação e a mudança no estado do sistema. Exemplo prático da abordagem de DS em perímetros de irrigação é a existência do ciclo de retroalimentação que abarca as decisões individuais dos produtores, com base nas informações que cada um tem à sua disposição, influenciando as condições do ambiente em que operam, as quais sendo alteradas, por sua vez, afetam o comportamento do irrigante, podendo gerar alterações institucionais na comunidade.

Novas informações para os agentes são geradas pelas mudanças no estado das condições do sistema, implicando que ação, estado e informação interligam-se em ciclos de retroalimentação (Caliari; Bueno, 2010). Esses ciclos podem ser de dois tipos. Caliari e Bueno (2010) explicam que o primeiro é o ciclo de retroalimentação negativa ou de equilíbrio (sistema compensando perturbações); enquanto o segundo tipo é o ciclo de retroalimentação positiva ou de autorreforço (sistema amplificando as mudanças). A interação de ciclos de retroalimentação, então, comanda a dinâmica de um sistema (Caliari; Bueno, 2010). Alguns trabalhos (Scheffer, 2010; Bueno, 2009; Ford, 1999) têm mostrado como identificar pontos que, por implicarem mudanças de dominância de ciclos de retroalimentação, representam “pontos de virada” (*tipping points*) dos sistemas. A partir desses pontos, os sistemas socioecológicos podem perder resiliência.

Esse ferramental metodológico se aplica à presente pesquisa na medida em que permite a identificação de quantos produtores rurais adotan-

2 Para mais detalhes sobre a abordagem de DS comparando-a com a abordagem de SD, ver Grösser e Schaffernicht (2012).

tes de, por exemplo, nova técnica de produção são necessários para que se consiga que todos os produtores do perímetro de irrigação também adotem tal técnica. Cabe aqui ressaltar que a expressão “nova técnica de produção”, nesse caso, foi utilizada como exemplo. Outros exemplos seriam nova postura frente às mudanças climáticas, ou novo comportamento com relação à colaboração para a manutenção do canal de irrigação, entre outros.

Os Modelos Baseados em Agentes (MBAs) são modelos computacionais usados para simular ações e interações de agentes dentro de um sistema (Heard *et al.*, 2015). Seus resultados podem ser pontos ou distribuições de equilíbrio, ciclos, aleatoriedade ou padrões complexos. Esses resultados não são diretamente determinados por premissas, mas emergem das interações dos atores no modelo. Os comportamentos resultantes podem variar de estratégias racionais e de maximização de benefícios até regras que imitam as heurísticas identificadas pela ciência cognitiva (Marchi; Page, 2014). As técnicas baseadas em agentes podem ser aplicadas isoladamente para criar modelos que representem a realidade com alto nível de fidelidade. Além disso, os MBAs possibilitam a exploração de questões ainda desconhecidas usando construções relativamente simples. Tais modelos podem ainda ser utilizados como complemento de técnicas dedutivas (Marchi; Page, 2014).

A Modelagem Baseada em Agentes (MBA) permite representar, em múltiplas escalas de análise, a emergência de estruturas em níveis hierarquicamente mais elevados a partir da ação individual. Tais modelos consistem de agentes, os quais em geral são constituídos por partes distintas de um programa de computador, usados para representar atores sociais. Os agentes interagem em ambiente também modelado em computador, de modo a representar o ambiente real em que eles operam (Gilbert, 2008).

Esse ferramental metodológico é utilizado na construção de modelos de análise institucional e se aplica ao problema de pesquisa aqui tratado na medida em que permite, por exemplo, a modelagem dos produtores do PGO individualmente. Assim, a MBA permite visualizar as características e comportamentos de cada produtor. É possível observar, por exemplo, com quais outros produtores determinado agricultor se relaciona tecnicamente; se ele está adotando ou não nova técnica ou prática ou mesmo sua posição geográfica.

Os modelos de difusão tecnológica, tradicionalmente aplicados em estudos sobre adoção de novas práticas na agricultura, baseiam-se nos resultados obtidos em trabalhos importantes, principalmente para os Estados Unidos da América (EUA). Griliches (1957), por exemplo, mostrou que a difusão do milho híbrido nos EUA foi um processo essencialmente econômico, mas que compreendeu um componente de imitação entre os produtores relevantes. A conjugação dessas características deu origem ao padrão de difusão da nova tecnologia em forma de “S” (padrão logístico), em que o nível de adoção da nova tecnologia (medido, por exemplo, pela porcentagem de produtores que a adotaram) em cada período é determinado pela relação entre o nível máximo esperado de adoção e um fator que considera o nível de adoção inicial e a rapidez com que os produtores adotam a nova tecnologia.³

O ponto importante a destacar é que, embora os modelos inspirados no modelo clássico de difusão contemplem o fato de que influência e imitação são características básicas do processo de difusão tecnológica, eles não distinguem entre quem influencia e quem imita durante o processo. Portanto, ao assumirem que as decisões de adoção de novas tecnologias e comportamentos são tomadas com base no que está ocorrendo na população como um todo, eles não enfatizam o poder da influência interpessoal e outras características das diferentes redes sociais (Tutzauer *et al.*, 2011; Valente; Davis, 1999). Uma das linhas de pesquisa exploradas mais recentemente nessa direção é a interação de modelos de difusão com a dinâmica de redes sociais, como pode ser observado em Valente (2005). Esses modelos indicam que, se as interações sociais ocorrem em redes relativamente densas, o sistema pode apresentar múltiplos equilíbrios, o que significa que os mesmos fundamentos, por exemplo, as mesmas condições ambientais, podem produzir impactos muito diferentes sobre os sistemas econômicos em geral (Scheinkman, 2008) e sobre sistemas de produção baseados na agricultura (Weisbuch; Boudjema, 1999).

Para incorporar informações sobre como os agentes se distribuem no território e outras, como seus limiares (*thresholds*) para a aceitação de novos comportamentos, recorre-se à MBA (Matthews *et al.*, 2007). Entretanto,

3 A equação logística, na prática, não foi utilizada no trabalho determinando os novos adotantes em cada período de tempo. Contudo, foi suposto que existe relação logística entre o número de adotantes e o efeito da rede no ganho com a adoção (a relação logística determina como os ganhos com a adoção e com a não adoção serão alterados a partir de uma mudança no número de adotantes), como em Birke (2009).

esses modelos são insuficientes para entender a influência da topologia das redes sociais sobre o processo de difusão de inovações. Para fechar essa lacuna, utilizou-se a metodologia proposta por Newman (2012), baseada nas descobertas da Análise de Redes Sociais (ARS) e em Modelos de Percolação, como já vem sendo feito em outros campos da Economia, como o de Economia Regional. A teoria postula que quanto mais conectados estiverem os vértices de uma matriz de interação social, e quanto maior sua predisposição a imitar o comportamento de seus vizinhos mais próximos, mais rápido tende a ser o processo de difusão de novas ideias ou tecnologias, pois essas tendem a atingir mais rapidamente uma massa crítica⁴ de agentes (NEWMAN, 2012).

Duas das mais importantes medidas computadas para as redes foram o coeficiente de agrupamento (*clustering coefficient*) e o coeficiente de correlação de Pearson⁵ entre as redes observadas e uma estrutura núcleo-periferia (*core-periphery*) ideal.⁶ O coeficiente de agrupamento é a fração de pares de produtores que têm ligação com um mesmo agente e também têm ligação entre si (Prell, 2012). Por sua vez, o coeficiente de correlação de Pearson nada mais é que uma medida de associação linear entre variáveis (Figueiredo; Silva, 2009). Há diversas formas de computar o grau de assortatividade⁷ de uma rede, e a utilização dos coeficientes supracitados, separada ou conjuntamente, como indicadores de assortatividade são algumas delas (Watts; Dodds, 2007).

Em geral, quando o coeficiente utilizado como de assortatividade é maior do que zero, a rede é dita assortativa (há homofilia, ou seja, semelhantes buscando por conexões com semelhantes). Caso seja menor do que zero, é dita disassortativa (os nós com mais conexões tendem a se ligar com os de menos conexões; presença de heterofilia). Coeficiente igual a zero demonstra ausência de correlação. Neste estudo, não há cálculo explícito do coeficiente de assortatividade, somente a utilização das métricas

4 A expressão “massa crítica” é utilizada para referir-se ao conjunto de agentes com mesmo padrão de comportamento e, ou, característica necessários em determinado sistema para que sua dinâmica seja caracterizada como de autorreforço, em consonância com o estudo de Ford (1999).

5 O coeficiente de correlação de Pearson é adimensional e varia entre -1 e $+1$. Valores mais próximos de -1 indicam forte correlação negativa.

6 Uma estrutura núcleo-periferia ideal é a estrutura de uma rede de relações sociais que apresente grau zero de assortatividade (Borgatti; Everett, 1999).

7 A assortatividade pode ser vista como a tendência dos nós – nesse caso os produtores – de conectividades semelhantes estabelecerem ligações entre si (Newman, 2012).

supracitadas como indicativos de assortatividade ou disassortatividade. Ressalta-se que o coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado com seu sinal trocado, a título de simplificação. Assim, valores dos indicadores próximos à unidade indicarão redes assortativas (dominância da homofilia), com altos coeficientes de aglomeração ou correlação negativa (não ajustada) entre a rede em estudo e a com grau zero de assortatividade; coeficientes de aglomeração próximos de zero indicarão redes próximas a uma aleatória, e correlação positiva (antes do ajustamento) indicará redes disassortativas (dominância da heterofilia).

Neste estudo foram utilizadas quatro medidas de centralidade para caracterizar os agentes estudados. O grau de centralidade de um agente (*degree*) mede o número de agentes com os quais ele interage de forma frequente; o grau de intermediação (*betweenness*) baseia-se na frequência com que um agente situa-se entre pares de outros agentes tomando por referência o caminho geodésico⁸ mais curto entre eles; o grau de proximidade (*closeness*) baseia-se na medida em que um determinado agente encontra-se próximo a todos os outros agentes; e a beta-centralidade de Bonacich (*Bonacich beta-centrality*), finalmente, é um indicador tradicionalmente usado para avaliar o *status* social em estudos sociológicos, o qual sintetiza, além dos contatos diretos, os indiretos dos agentes (Prell, 2012; Podolny, 2010).

Para avaliar quem são os agentes-chave para a disseminação de informações nas redes foi utilizado, a princípio, o primeiro indicador, que pode ser computado sob duas formas, *in* e *out-degree*.⁹ Ambos são importantes em determinada rede social (Gabardo, 2015; Prell, 2012). Contudo, se for considerado que as pessoas tendem a se inspirar mais em formadores de opinião, estes deverão ser os agentes focalizados por políticas que visem apressar o ritmo de introdução de inovações.

O indicador do grau de intermediação foi computado para identificar indivíduos com maior poder de controle sobre a informação e eventuais lacunas estruturais no sistema (Gabardo, 2015; Burt; Merluzzi, 2014).

.....
8 Caminho geodésico é o comprimento do grafo geodésico entre dois vértices. Na Teoria dos Grafos da Matemática, esse comprimento é o número de arestas presentes no menor caminho que conecta esses vértices. Denomina-se distância $d(v, w)$ de um grafo o comprimento do menor caminho entre v e w (Bouttier *et al.*, 2003).

9 Um agente com elevado *in-degree* de centralidade é um formador de opinião. Já um agente com elevado *out-degree* relaciona-se com grande número de pessoas, mas atua como disseminador de informações, e não como formador de opinião (Prell, 2012).

Indivíduos com elevado grau de intermediação são capazes de reter ou distorcer informações vitais para os demais agentes sobre, por exemplo, as condições ambientais reais de um sistema particular. Uma lacuna estrutural ocorre quando dois subgrupos da rede não interagem devido à inexistência de agentes com elevado grau de intermediação e que, por isso, poderiam potencialmente atuar como conectores entre esses grupos (Stevenson; Greenberg, 2000).

Os modelos híbridos surgem para lidar com questões que os modelos anteriores não respondem suficientemente bem se utilizados separadamente. Ambas as metodologias anteriormente descritas se mostraram importantes na realização deste estudo. Porém, ao serem utilizadas individualmente, deixariam a desejar no que tange a aproximação à realidade da comunidade estudada. Seria perdido realismo ao não considerar as características individuais dos produtores ou ao não retratar o fato de as alterações no ambiente afetarem posteriormente suas decisões individuais. Faz-se necessário modelar a massa de agentes (possível pela DS), bem como as características e nuances individuais de cada agente (possível pela MBA).

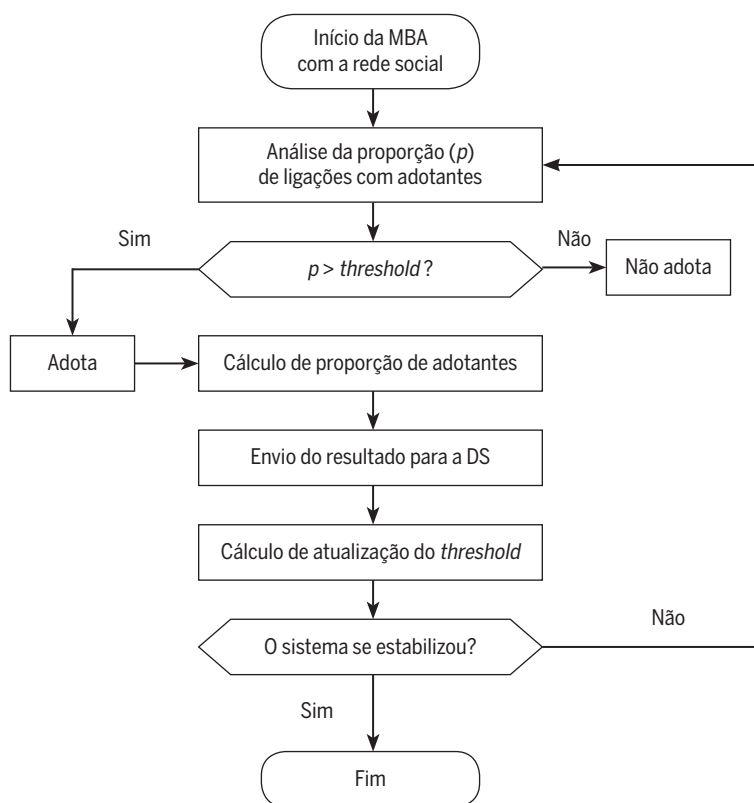
Para dotar o indivíduo da capacidade de escolher entre adotar ou não uma nova prática, foi utilizada a ideia de autômato celular. Para tanto, define-se um conjunto contável de estados como, por exemplo, “adotando” ou “não adotando” e as regras de transição entre esses estados – descritas por variáveis auxiliares como as que representarão o *threshold* para decisão sobre adoção, o ganho pela adoção e também pela não adoção.¹⁰ A Figura 1 mostra que, na parte de MBA do modelo,¹¹ os agentes são modelados

10 Osgood (2009) indica que, em pesquisas como a aqui documentada, não é necessário definir detalhadamente número exaustivo de estados, mas apenas estabelecer regras genéricas que definam condições de transição entre um estado e outro. Isso pode ser feito utilizando a função de condição (funções do tipo *if, else if, if else, if then else* etc.) disponível nos *softwares* para modelagem de DS e de MBA (Tsfatsion; Judd, 2006). Os *softwares* utilizados neste trabalho foram o Vensim (Ventana System, no primeiro momento para a modelagem da DS); posteriormente, para construir o modelo híbrido, utilizou-se o NetLogo (Wilensky, 1999), possibilitando a MBA e, conseqüentemente, a construção de um modelo híbrido.

11 Em extensão ao modelo de Bueno (2014b), a parte de MBA do em voga se desenvolve sobremaneira, visto que no referido trabalho o autor se valeu da MBA tão somente para modelar a distribuição dos agentes no espaço físico do DIG e identificar os agentes-chave para a difusão. Por outro lado, nessa versão é a abordagem de DS que tem papel relativamente secundário, amplificando os efeitos modelados na parte de MBA, via função logística. Conforme os *insights* deste estudo e a documentação apresentada em Campos (2016) e Bueno (2014b), uma versão ampliada desse modelo é possível em trabalhos futuros. Ressalta-se, porém, que futuros modelos não devem deixar de atender aos princípios práticos elencados por Gilbert e Terna (2000). Ademais, deve conter uma dinâmica estoque-fluxo propriamente desenvolvida em sua parte de Dinâmica de Sistemas (DS).

individualmente com suas respectivas características, entre as quais estão seus relacionamentos, produto da ARS. Além disso, as equações (1), (2) e (3), descritas a seguir, apresentam a regra decisória que se vale da função de condição neste estudo.

Figura 1 Descrição do modelo



Fonte: Elaboração própria.

Observa-se na Figura 1 que, depois de tomadas as decisões individuais de adoção, a proporção total de adotantes é calculada. Essa proporção diz respeito a toda a rede. As decisões individuais são tomadas observando o que fazem aqueles indivíduos que são importantes para cada agente (MBA). Porém, a junção de todas essas decisões individuais provoca resultados gerais que afetam o ambiente no qual eles vivem (envio dos resultados da MBA para a DS). Uma mudança no ambiente, por sua vez, afeta

posteriormente os modelos mentais dos agentes tomadores de decisão (através da atualização do *threshold*). O critério de parada é a estabilização que, no código do modelo, é definida como a ausência de novas adoções ou decisões por se abandonar a adoção. Os relacionamentos individuais dos agentes são modelados e analisados, dentro da MBA, através da ARS. Cada agente analisa a proporção – p – de suas indicações que se dá com agentes adotantes:

$$p = \frac{\text{número de adotantes entre os indicados}}{\text{número de agentes indicados}} \quad (1)$$

em que p é a proporção de adotantes entre todos aqueles agentes indicados por um indivíduo específico; *número de adotantes entre os indicados* é o número daqueles agentes, indicados por um indivíduo específico, que adotam a nova prática/tecnologia/comportamento, entre outros; e *número de agentes indicados* é o número total de agentes indicados como importantes (tecnicamente ou afetivamente, dependendo da rede de interesse, como explicitado na próxima subseção) por um indivíduo.

A simulação considera o ganho de se adotar de “cinco por um” em relação à situação original (não adotante), ou seja, o benefício de se adotar uma nova tecnologia ou o de se estar informado é cinco vezes maior que o de não adotar ou não estar informado. Cabe ressaltar que esse é somente o possível benefício inicial. Isso porque a diferença entre os ganhos de adotar ou ter a informação e os de não adotar ou não ser informado é dinâmica e, inclusive, a principal ligação entre a MBA e a DS. Essa arbitrariedade na determinação do benefício inicial, graças a esse benefício dinâmico, não impede o modelo de ser capaz de retratar uma propriedade fundamental dos sistemas complexos: a evolução. Decisões econômicas afetam o ambiente físico, que por sua vez determina o benefício associado à estratégia adotada. O benefício informacional inicial depende de qual informação está se tratando. O parâmetro pode ser facilmente alterado de acordo com a necessidade do estudo. Por exemplo, no caso de se desejar estudar a difusão de uma nova tecnologia irrigante, pode-se computar monetariamente o ganho estimado de se adotá-la e colocar sua relação com os ganhos realizados sem ela como os ganhos iniciais. Posto isso, a regra inicial para o cálculo do limiar decisório, ao verificar qual é o benefício maior entre o de se adotar e o de não adotar a nova prática é:

$$p.d.a > (1-p).d.b \quad (2)$$

$$p.a > b - p.b \rightarrow p.a + p.b > b \rightarrow p > \frac{b}{(a+b)} \rightarrow p > \frac{1}{(5+1)}$$

$$p > 0,166667 \quad (3)$$

em que p continua sendo a proporção de indicados adotantes; $(1-p)$ é a proporção de indicados não adotantes; d é o total de indicações feitas por este indivíduo (*out-degree*); a é o ganho de se adotar; e b é o de não adotar.

A equação (2) é a regra decisória ao longo de toda a simulação. Porém, o resultado – observado na equação (3) – qual seja, o de que cada agente que tiver mais que 16,7% de suas indicações como adotantes também adotará, é o resultado da primeira unidade de tempo do modelo. No tempo 2 do modelo, esse valor pode se alterar, pois a e b dependem da proporção total de adotantes na rede (o que é aquela ligação da parte de MBA com a de DS neste modelo e o torna mais realístico), calculada ao fim da primeira unidade de tempo. O ganho a aumenta à medida que maior proporção dos agentes da rede adota; o oposto acontece com b . Tais valores poderiam ser mantidos constantes ao longo da simulação. Porém, o dinamismo nos valores de “ a ” e “ b ” aproxima ainda mais o modelo da realidade, dado que os ganhos com adoção não são constantes nos modelos mentais dos agentes, mas dependentes da proporção de adotantes em sua rede.

Essa metodologia permite identificar a capacidade de reação do PGO a choques, como a seca. Isso se dá a partir da topologia de sua rede social. Pode-se entender agora que a parte de DS do modelo é usada para descrever propriedades agregadas de sistemas complexos, cuja dinâmica estoque-fluxo está sujeita a não linearidades e ciclos de retroalimentação – como em sistemas de irrigação – e que, por isso, podem apresentar propriedades não intuitivas, como perda súbita de sustentabilidade devido à ultrapassagem de *tipping points*. Por sua própria natureza, entretanto, uma abordagem evolucionária como a proposta pela base teórica da Análise e Desenvolvimento Institucional deve ter necessariamente uma natureza algorítmica, em que sejam fornecidas instruções detalhadas aos agentes sobre como ajustar seus comportamentos em resposta a mudanças no contexto (Arthur, 2006). Como existe ampla gama de diferentes reações concebíveis em condições de racionalidade limitada, os agentes devem ser considerados individualmente na parte de MBA do modelo híbrido,

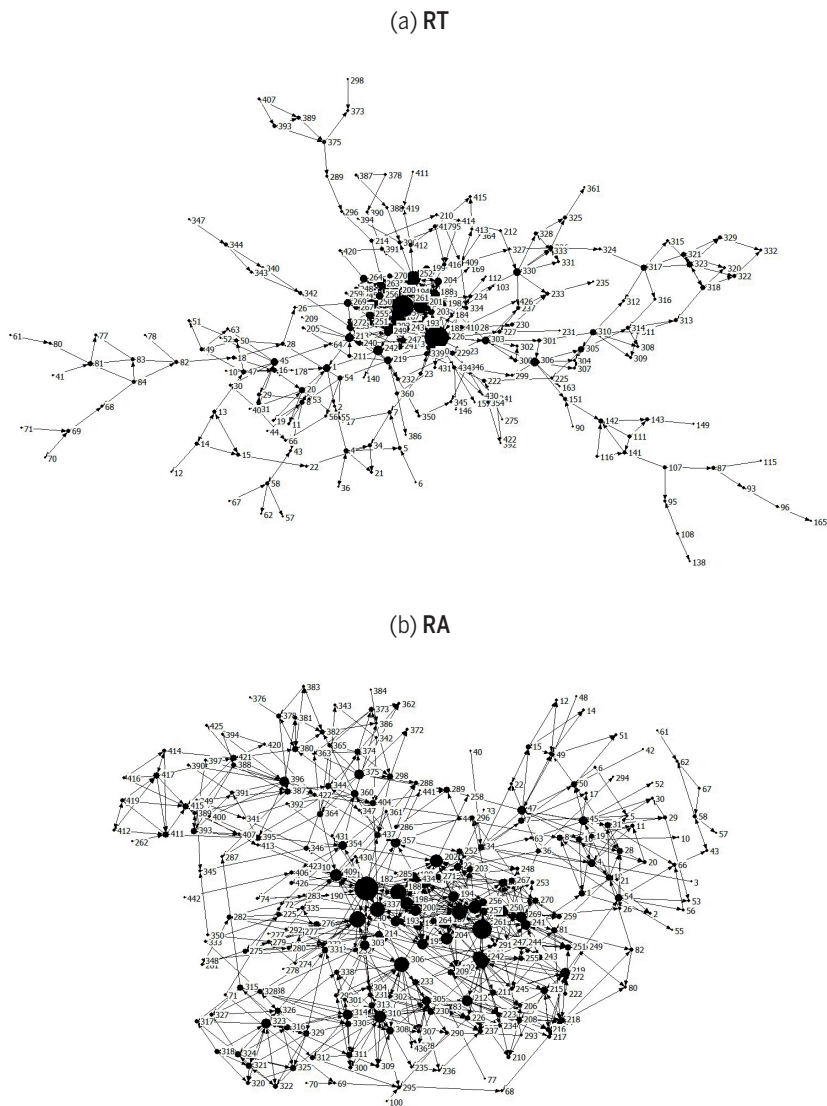
de modo a se levar em conta a heterogeneidade de seus atributos, como dotação de fatores, localização geográfica e capacidade de influenciar e ser influenciado por outros agentes. A modelagem da ARS estabelece o contexto social em que as mudanças microcomportamentais ocorrem, definindo como estas se difundem pelas redes de conexão social e alteram as redes de interconexão preexistentes. A parte de DS do modelo, novamente e por fim, especifica como a difusão dessas mudanças afeta o ambiente físico e institucional em que os indivíduos estão localizados.

3 Resultados

De posse das informações extraídas dos dados primários coletados por Bueno (2014a), e utilizando-se o programa Ucinet 6 (Prell, 2012; Borgatti *et al.*, 2002), foram computadas características fundamentais para a difusão de novas práticas no PGO. Tais características são importantes para definir a eficácia de políticas para a disseminação de inovações capazes de elevar a eficiência no uso da água, reduzir despesas desnecessárias, elevar o cuidado com a manutenção dos canais de irrigação, entre outras necessidades da agricultura do perímetro. Para realizar esses cálculos, foram construídas duas matrizes binárias de interação social. A primeira foi a Rede Técnica (RT). Nessa rede, as ligações entre os agentes se dão com base nas perguntas cujas respostas mostram quem são os agentes tecnicamente mais importantes para o respondente, ou seja, quem são os indivíduos procurados ou observados quando se precisa de auxílio técnico ou de capacitação. A segunda foi a Rede Afetiva (RA), na qual as ligações representam os agentes com os quais o respondente mais se relaciona fora do tempo dedicado à produção. Em ambas as matrizes, uma célula qualquer apresenta o valor 1 se o produtor daquela linha indicou o produtor da coluna, e 0, caso contrário.

A partir da Figura 2, pode-se fazer a análise gráfica das RT e RA. O diagrama (a) mostra o resultado da análise de centralidade para os agentes da RT, enquanto (b) mostra o mesmo resultado para os da RA. Cada nó representa um produtor irrigante do PGO, e seu tamanho representa o respectivo grau de centralização. O grau de centralização individual, assim, indica a importância desse agente para a disseminação de informações pelo sistema.

Figura 2 Redes sociais do PGO



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Na Figura 2, é possível identificar agentes que se relacionam com número maior de outros produtores e deveriam ser vistos com mais atenção em termos de difusão de informações sobre práticas, comportamentos ou

tecnologias de irrigação. Por exemplo, o agente de número 82,¹² na RT, é indicado por 10 outros agentes da rede como importante tecnicamente, demonstrando sua capacidade de influência sobre aproximadamente 5% dos indivíduos da rede social.¹³ Esses indivíduos, ao se situarem em posições-chave para o fluxo de informação ou em rotas obrigatórias para sua disseminação, podem filtrar, reter ou até distorcer as informações produzidas por agências governamentais ou inovadoras. Surge daí a necessidade de testar a hipótese de que a adoção de novas práticas não depende apenas da disponibilidade de informação, mas também de sua disseminação.

O tamanho dos nós na Figura 2 representa as indicações recebidas (*in-degree*). Portanto, a análise gráfica daquelas duas redes sugere que uma relação núcleo-periferia é mais provável de ser encontrada na RT em comparação com a RA. Essa indicação sugere que, na RT, exista maior grau de heterofilia e que essa rede seja mais disassortativa que a RA. Como a recíproca é verdadeira, aquela indicação sugere que na RA exista maior grau de homofilia e que essa rede seja mais assortativa que a RT. Isso implica que os agentes, na RA, têm maior tendência a se conectarem preferencialmente com agentes semelhantes a si. Entenda-se que a semelhança pode ser tanto em termos de topologia da rede quanto de atributos dos produtores, tais como sexo, raça, idade, classe social, tamanho da propriedade, região de localização da propriedade ou canal utilizado. Exemplo disso é o fato de que, em redes de amizade, pessoas de idades semelhantes tendem a estar conectadas entre si, pois a similaridade facilita a transmissão de informações e conhecimento, aumenta a cooperação e evita potenciais conflitos (Weitzel, 2013; Mcpherson; Smith-Lovin; Cook, 2001; Ibarra, 1992).

Redes disassortativas são aquelas que apresentam ligações que conectam diferentes grupos, apresentando concentradores e raios (*hubs and spokes*¹⁴), como em redes de aeroportos (Costa *et al.*, 2007). Isso signifi-

12 Dados e operacionalização do modelo disponíveis mediante contato com os autores por questões relacionadas à ética na pesquisa. Tabelas sínteses são apresentadas em Campos (2016).

13 Na RT, foi utilizado o procedimento de se manter somente o maior aglomerado (*giant cluster*) de agentes. Tal procedimento foi realizado para retirar os pequenos grupos de produtores desconectados da rede como um todo e assim obter resultados não viesados e consistentes no que tange à caracterização estrutural da rede (Borgatti *et al.*, 2002). Na RA, isso não foi necessário, pois não se observou grupos de produtores desconectados. Pelo fato de as pessoas, em geral, terem relações além das de produção, como as de amizade e de parentesco, isso era esperado. Por outro lado, não raro, existem produtores isolados no que tange às relações técnicas.

14 O termo "*hubs and spokes*" é proveniente dos vários raios de uma bicicleta que apontam na direção do seu eixo central (concentrador).

ca que informações sobre as condições ambientais, mudanças climáticas, novas práticas, comportamentos e tecnologias tendem a depender dos agentes mais centrais do sistema. A Tabela 1 apresenta as métricas para se avaliar o grau de assortatividade das duas redes sociais construídas.

Tabela 1 Indicadores de assortatividade para o PGO

Rede	Coefficiente de agrupamento	Coefficiente de Pearson (ajustado)
RT	0,137	-0,272
RA	0,246	0,243

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Redes sociológicas assortativas têm coeficientes de agrupamento intermediários, enquanto redes tecnológicas e biológicas – disassortativas – têm baixos valores para tal coeficiente (Newman, 2012). Sistemas sociais tendem a se organizar assortativamente porque indivíduos têm opções de escolha e as fazem para criar estruturas sociais que os favoreçam. Daí o alto grau de homofilia presente nesse tipo de rede, com semelhantes escolhendo conectarem-se a semelhantes. Já em sistemas nos quais a coleta de informações é mais valiosa, como nos ambientes físicos ou sociais altamente dinâmicos e, ou, com alto grau de incertezas, essas conexões mais convenientes são custosas ou menos recompensadoras quando se trata da obtenção de informações ou de relações comerciais (BRASS *et al.*, 2004). Nesse caso, como é o de um sistema de irrigação, a conexão a agentes mais centrais e mais conectados torna-se melhor opção. Fica claro que a heterofilia aparecerá espontaneamente em sistemas desse tipo. Os agentes que, por conta dessas características subjetivas, podem fechar as lacunas estruturais entre os diferentes agrupamentos terão maior *status* social nessas redes (Everett; Borgatti, 2005). A presença desses “agentes-ponte” explica os baixos coeficientes de agrupamento nas redes estudadas neste trabalho.

Considerando as métricas calculadas (Tabela 1), pode-se sugerir que a adoção de novas práticas, em sistemas como o aqui estudado, depende da ocorrência da disseminação de informações e não apenas da disponibilidade destas, pois as ligações sociais de perímetros de irrigação parecem ser disassortativas. Em uma rede disassortativa, a importância de agentes mais influentes ou dos que preenchem lacunas estruturais no sistema fica aumentada. Assim, uma conclusão a que se chega é que, sob essas condições, a presença de massa crítica de agentes facilmente influenciáveis

é menos importante para a difusão de informações do que a atuação de agentes mais influentes. Essa conclusão concorda com a literatura em ARS (Gabardo, 2015; Watts; Dodds, 2007).

Esses resultados geram importantes conclusões específicas para o PGO. A principal implicação é que campanhas de conscientização para uso racional da água, por exemplo, visando atingir todos os produtores, serão menos eficientes nessa rede do que capacitações específicas aos produtores mais influentes. Esse tipo de sugestão aos gestores políticos do DIG implica consequências benéficas, tais como economia de recursos, maior produção, menos desperdícios, manutenção adequada e disseminação da conscientização. Considerando os resultados para a rede social como um todo, pode-se computar indicadores individuais, observando-se as características peculiares a cada um dos agentes que, somadas, representam bem a rede em questão. A Tabela 2 apresenta os valores médios, máximos e mínimos para quatro desses indicadores individuais.¹⁵

Tabela 2 Síntese de quatro indicadores individuais para os produtores do PGO

	RT			RA		
	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo
Centralidade	2,11	10,00	0,00	3,25	11,00	0,00
Intermediação	285,11	3758,65	0,00	967,54	17036,94	0,00
Proximidade	3311,03	3745,00	2808,00	3230,87	5094,00	2298,00
Beta-centralidade	1180,22	28161,56	-1614,50	189,96	3072,24	0,00

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Em relação às métricas para os agentes das redes, observa-se que o indicador de centralidade médio (*average in-de gree*) do PGO é baixo para as duas redes sociais (Tabela 2). Isso indica que não há diferenças significativas entre os agentes em termos de capacidade de influenciar os demais, pois o grau de centralidade é baixo. Cada agente foi indicado, em média, por apenas dois outros agentes na RT, enquanto na RA os agentes receberam, em média, três indicações. É interessante notar a discrepância entre o valor médio e o valor máximo para esse indicador. Isso porque o baixo valor

15 As medidas são individuais e ordenáveis e foram geradas no *software* Ucinet 6, com documentação disponível em Borgatti *et al.* (2002) e Borgatti e Everett (1999), garantindo a reprodutibilidade dos resultados. Dado o grande número de produtores do perímetro (443), a limitação de espaço impede a listagem individualizada.

médio, sinalizando a não diferenciação entre os agentes em termos de capacidade de influenciar os demais, não está de acordo com os resultados de conclusões da seção anterior. Contudo, ao se observar aquela grande discrepância, logo nota-se que o baixo valor médio provém do fato de haver muitos agentes pouco indicados e poucos agentes muito indicados. A implicação disso é que há diferenças significativas entre os agentes em termos de capacidade de influenciar os demais, porque o baixo grau de centralidade provém do valor médio, o que não reflete bem as peculiaridades individuais.

O grau de intermediação mostra que, quando se compara o indivíduo médio da RT com o da RA, o grau de intermediação daquele é menor que o deste. Isso quer dizer que a capacidade de articular informações entre grupos de indivíduos é maior na RA, o que valida o resultado encontrado no coeficiente de agrupamento para as redes (também maior na RA, Tabela 1). Demais, os produtores mais conectados podem ser importantes para preencher lacunas estruturais no sistema em termos de informação. Essa capacidade se deve ao fato de se ligarem a indivíduos pouco conectados do sistema. Por isso, aqueles podem, pelo menos em princípio, servir como “pontes” de informação entre os agentes mais conectados e os menos conectados.

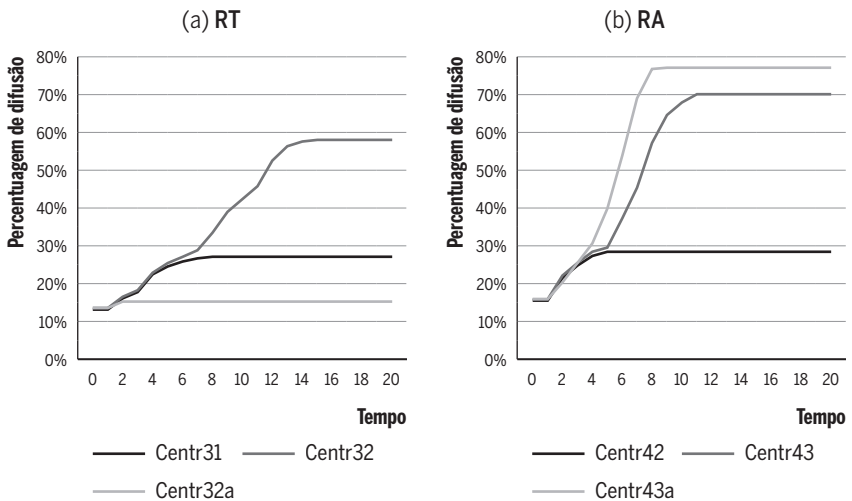
O grau de proximidade (*closeness*) menor, em média, na RA também está de acordo com aquele maior agrupamento encontrado anteriormente nessa rede social. Por fim, deve-se analisar a beta-centralidade de Bonacich (*Bonacich beta-centrality*), indicador tradicionalmente usado para avaliar o *status* social em estudos sociológicos, o qual sintetiza os contatos diretos e indiretos dos agentes (PRELL, 2012). Esse indicador foi maior na RT. Assim, ao considerar o grau de centralidade dos agentes aos quais determinado indivíduo em análise está ligado, o resultado aponta para a maior probabilidade de existência de *hubs and spokes* nessa rede em comparação à RA. Portanto, é mais provável que os agentes elejam, mesmo que não intencionalmente, determinados indivíduos como *hubs* de informações na RT do que na RA. A implicação disso é que fica mais fácil de gerar disseminação via líderes de opinião naquela do que nessa rede.

A análise apresentada nesta seção do trabalho permitiu a identificação dos agentes mais influentes em cada uma das redes sociais estudadas. Esses resultados possibilitaram que se fizesse uma classificação para cada uma das medidas individuais, indicando a ordem de importância dos pro-

dutores do PGO para a respectiva medida. Ademais, se avaliou a melhor forma de consolidar e expandir a adoção de novas práticas na agricultura irrigada, o papel da liderança na difusão e as sugestões de políticas eficientes para tal difusão. A discussão sobre os esforços de disseminar as informações apenas para um grupo da rede pode ainda ser sustentada pela análise da dinâmica entre os ciclos de retroalimentação.

A Figura 3 mostra a percentagem de difusão ao longo do tempo, nos modelos para as duas redes sociais, proporcionando informação, inicialmente, aos agentes de maiores *in-degree* e comparando-se tal experiência à de seleção aleatória dos informados inicialmente. O tempo do modelo é adimensional e pode ser adequado para o caso que se almeja tratar (informação, prática ou tecnologia), fazendo-o ser mensurado em horas, dias, meses etc.

Figura 3 Difusão pelos agentes de maior centralidade



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Na Figura 3a, pode-se observar o que ocorre a partir da variação discreta mínima no número de agentes informados inicialmente na RT. Nota-se que, quando se informam os 31 agentes mais centrais da RT, não se obtém difusão para a maior parte da rede. Porém, basta informar os 32 indivíduos que receberam mais indicações, ou seja, somente se acrescenta o trigésimo segundo agente mais central à experiência anterior, e se obtém a difusão

de informações em cerca de 60% da RT. A terceira curva – “Centr32a” – permite uma comparação com relação à escolha aleatória de 32 agentes a serem informados inicialmente. Está clara a importância dos agentes de maiores medidas de centralidade na RT. Esses 32 indivíduos representam somente 14% dos 236 indivíduos da RT.¹⁶ Esse resultado implica que, com pequeno esforço – informar 14% da rede – os gestores do DIG conseguiriam difundir uma informação, prática ou nova tecnologia para a maior parte da rede.

Na RA (Figura 3b), que tem 271 agentes, consegue-se a difusão para cerca de 70% da rede a partir da conscientização inicial dos 43 produtores mais indicados. Quarenta e três indivíduos representam 16% do total da RA. O resultado foi semelhante ao da RT, implicando que, ao informar 16% da rede, os gestores do DIG conseguiriam difusão para a maior parte dela. Cabe ressaltar que o fato de a difusão ser mais difícil na RA – 16% representa esforço inicial maior que os anteriores 14% – está em acordo com os resultados anteriores que apontam a RT como mais disassortativa. Além disso, o fato de, após a difusão, se atingir percentagem maior da rede na parte (b) da Figura 3 também está de acordo com os resultados anteriores.

Isso ocorre porque a RA parece ser assortativa, ou seja, tem maior homofilia, ou maior coeficiente de agrupamento, sendo mais difícil de alcançar a difusão. Entretanto, quando a propagação é alcançada, os grandes grupos de semelhantes proporcionam tal percentagem maior. Notável também é o fato de que a experiência aleatória (Figura 3b) atinge a difusão mais facilmente do que quando se vale dos líderes em centralidade. Tal resultado confirma a menor importância relativa dos agentes-chave em redes assortativas (como as afetivas) do que em redes disassortativas (como as técnicas). Os resultados supracitados mostraram que a eficiência da disseminação de novas práticas no PGO depende da forma como a rede social desse perímetro está estruturada.

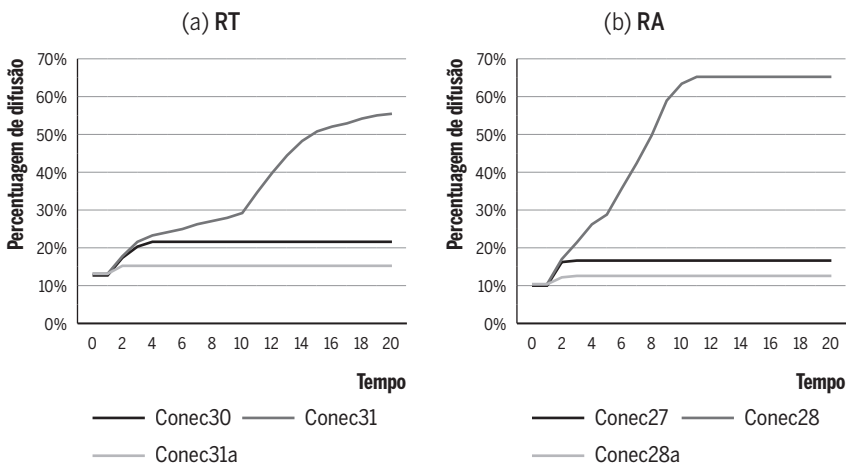
A Figura 4 mostra a percentagem de difusão, nos modelos para as redes sociais estudadas, informando inicialmente os agentes de maiores métricas de intermediação e aleatoriamente.

Na Figura 4a, pode-se observar o que ocorre a partir de uma variação de um indivíduo no número de agentes informados inicialmente na RT. Quando se informam inicialmente os 30 agentes com maiores valores de

16 A RT ficou com esse número de agentes após se utilizar da técnica de manter somente o maior aglomerado (*giant cluster*) de agentes, como explicado anteriormente.

intermediação da RT, não se obtém difusão para a maior parte da rede. Porém, basta informar os 31 indivíduos mais conectados, ou seja, somente se acrescenta o 31º agente mais conectado, e se obtém a difusão na RT. Trinta e um indivíduos representam somente 13% do total de indivíduos da RT que tem 236 produtores. Esse resultado implica que, com pequeno esforço, os gestores do DIG conseguiriam difundir nova informação, prática ou tecnologia. Novamente, a experiência aleatória reforça a importância dos líderes.

Figura 4 Difusão pelos agentes de maior intermediação



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

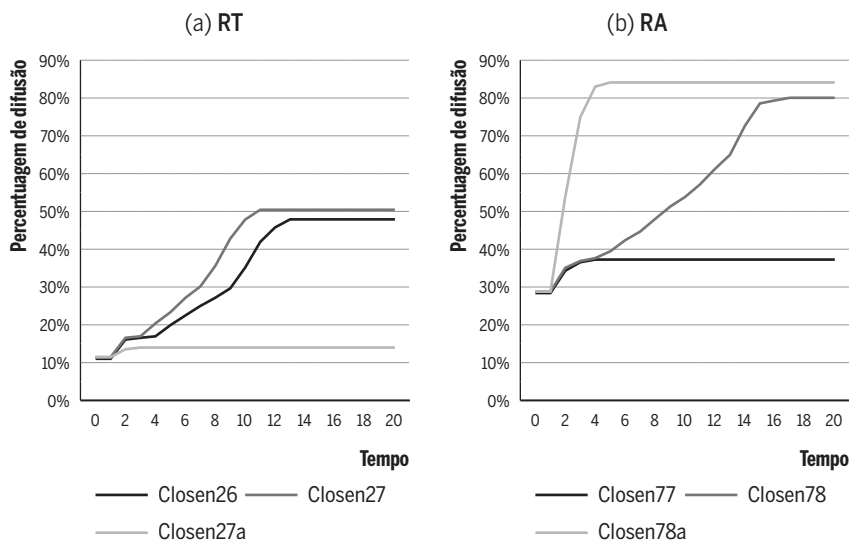
Na RA, consegue-se a difusão para aproximadamente 70% da rede a partir da conscientização inicial dos 28 produtores mais conectados. Aqui, 28 indivíduos representam 10% do total de indivíduos da RA. O resultado foi semelhante ao para a RT, também implicando que com pequeno esforço os gestores do DIG conseguiriam difusão para a maior parte da rede.

Cabe ressaltar que o fato de se atingir percentagem maior da rede após a difusão – Figura 4b – está de acordo com os resultados anteriores. Isso ocorre porque a RA parece ser assortativa e, dessa forma, quando a difusão é alcançada, os grandes grupos de semelhantes proporcionam tal percentagem maior. Ao contrário dos resultados obtidos quando se analisou a centralidade, com relação à intermediação, a difusão foi alcançada mais facilmente na RA, e a experiência aleatória indicou importância aos líderes

também na RA. Porém, isso não contradiz aqueles resultados que apontam a RT como disassortativa, ao contrário da RA.

A Figura 5 mostra a percentagem de difusão ao longo do tempo, nos modelos para as duas redes sociais estudadas, informando inicialmente os agentes de maiores graus de proximidade (*closeness*) e acrescentando-se uma experiência aleatória.

Figura 5 Difusão pelos agentes de maior proximidade

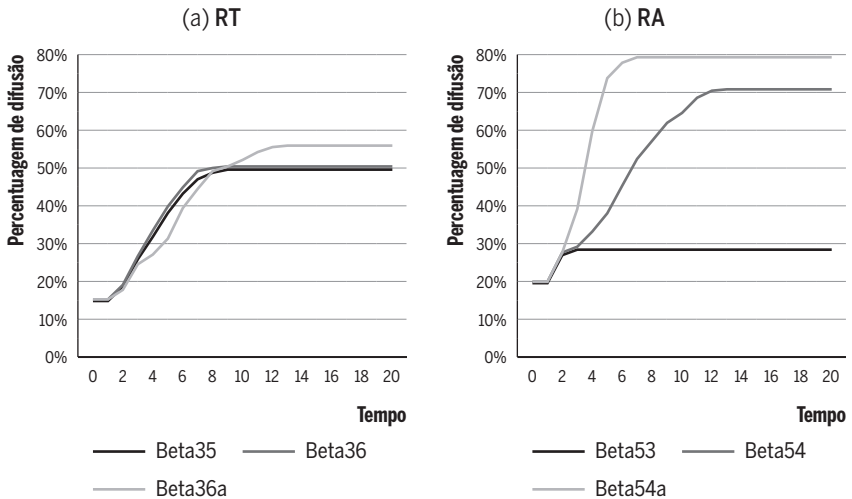


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Quando se informam os 26 agentes com maiores graus de proximidade da RT, não é obtida difusão para a maior parte da rede. Quando se acrescenta o 27º agente, se obtém a difusão de informações em mais de 50% da RT; porém, não houve salto para a difusão ou *tipping point*. Esse resultado não contradiz o apontamento da RT como disassortativa, o que é reforçado também pela escolha aleatória dos agentes informados inicialmente. Na RA, consegue-se a difusão para cerca 80% da rede a partir da conscientização inicial dos 78 produtores de maiores grau de proximidade. Setenta e oito indivíduos representam 29% do total de 271 indivíduos da RA, implicando que basta informar 29% da rede para que os gestores do DIG consigam difusão para quase a totalidade da rede. Uma vez mais, a experiência aleatória mostra a menor importância relativa dos líderes na RA.

Partindo para a beta-centralidade de Bonacich (*Bonacich beta-centrality*), a Figura 6 mostra a percentagem de difusão, nos modelos para as duas redes sociais, informando inicialmente os líderes de opinião de acordo com essa métrica e fazendo-se uma experiência aleatória.

Figura 6 Difusão pelos agentes de maior beta-centralidade



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Na RT, quando se informam inicialmente os 35 agentes com maiores beta-centralidade de Bonacich, não se obtém difusão para a maior parte da rede. Quando se acrescenta o 36º agente de maior beta-centralidade de Bonacich à experiência anterior, se obtém a difusão de informações em mais de 50% da RT. Porém, assim como para a proximidade, não houve *tipping point* e somente na beta-centralidade a escolha aleatória não indicou maior importância aos agentes de maiores métricas. Tal resultado não contradiz o apontamento da RT disassortativa. Na RA, consegue-se a difusão para cerca 70% da rede a partir de uma conscientização inicial dos 54 produtores de maiores beta-centralidade de Bonacich. Cinquenta e quatro indivíduos representam 20% do total de 271 indivíduos da RA, implicando que com esforço relativamente baixo os gestores do DIG conseguiriam difusão. Mais uma vez, como a RA parece ser assortativa, os agentes líderes não têm maior importância relativa; e, quando a difusão é alcançada, os grandes grupos de semelhantes proporcionam o alcance de uma percentagem maior da rede na Figura 6b.

Cabe evidenciar que a análise tanto da medida de centralidade, quanto da de intermediação, mostraram-se eficazes na identificação dos comportamentos adequados para a disseminação de práticas adaptativas ou inovadoras por parte dos gestores do DIG. Os resultados apontam que políticas que visem aperfeiçoar o fluxo de informações para elevar a resiliência de sistemas desse tipo devem focalizar agentes líderes. Esse resultado pode ser considerado compatível com diversos estudos na difusão de novas tecnologias e comportamentos (BUENO, 2014a; WATTS; DODDS, 2007; ROGERS, 2003; MORRIS, 2003). Ademais, o presente trabalho proporciona resultados originais para o PGO na medida em que identifica os *tipping points* específicos de acordo com as principais medidas individuais e das redes, valendo-se de simulador e de modelo robustos.

Um resultado essencial deste estudo é a afirmação de que, em se tratando de questões técnicas, não é necessário persuadir toda a massa de indivíduos da rede social do PGO com novas informações. Tais informações podem ser disseminadas atingindo-se agentes-chave. Esse resultado tem importantes implicações políticas. Por exemplo, poderia ser indicado aos gestores do DIG quantos produtores – e quais seriam eles – devem ser capacitados sobre problemas oriundos das mudanças climáticas. Alternativamente, poderiam ser oferecidos subsídios para a adoção de tecnologias mais econômicas em água, insumo cada vez mais escasso na região.

4 Conclusões

A análise das características e aspectos estruturais das redes sociais do PGO, tais como seus coeficientes de agrupamento e de correlação de Pearson, permitiram a identificação dos fatores fundamentais para a difusão de novas práticas ou técnicas nesse perímetro de irrigação. Tais características se mostraram importantes na definição da eficácia relativa de políticas para a disseminação de inovações capazes de elevar a eficiência no uso da água, reduzir despesas desnecessárias, elevar o cuidado com a manutenção dos canais de irrigação, entre outras necessidades da agricultura irrigada do perímetro. Mesmo com grau de centralização baixo para o sistema, tanto na RT quanto na RA, identificaram-se agentes que se relacionam com número maior de outros produtores. A teoria aponta que esse resultado implica a necessidade de maior atenção com relação a tais agentes. Conclui-se que

aqueles agentes mais centrais encontram-se em posições-chave para o fluxo de informação ou em rotas para sua disseminação. Essa localização dentro da rede social os permite ser disseminadores, o que pode ser positivo ou negativo dependendo se tal disseminação se trata de uma prática mais econômica em água ou de uma crise econômica. Confirmou-se a expectativa de que a adoção de novas práticas não depende tão somente da disponibilidade de informação, mas da disseminação – ou não – de tais comportamentos por determinado sistema socioecológico.

A busca por relações com indivíduos semelhantes tanto em termos de topologia da rede quanto de atributos dos produtores, tais como sexo, raça, idade, classe social, tamanho da propriedade, região de localização ou canal utilizado, foi mais caracteristicamente observada na RA em comparação com a RT. Isso implica que naquela rede se tem maior grau de homofilia que nessa. Esse resultado permite concluir que, quando se trata de informações técnicas, tais como as referentes às mudanças climáticas ou às novas tecnologias disponíveis, a disseminação dessas informações é dependente dos agentes mais centrais do sistema. O que é uma importante conclusão dada a confirmação da hipótese de que, em sistemas como o aqui estudado, a adoção de novas práticas e comportamentos depende da ocorrência da propagação das informações e não somente da disponibilidade dessas. A existência de informações sem que haja propagação ainda não proporciona inovação, por exemplo. Porém, além da propagação, faz-se necessária a adoção. É válido ressaltar, portanto, que seguindo esses passos, em caso de não propagação, também não haveria adoção.

Em se tratando de um grande sistema de irrigação, as relações técnicas com agentes mais centrais e com maiores graus de intermediação mostraram-se como a melhor opção. Ficou claro que a heterofilia aparece espontaneamente em sistemas desse tipo. Pode-se concluir que os agentes que podem fechar as lacunas estruturais entre os diferentes agrupamentos terão maior *status* social em redes técnicas. Sob essas condições, a presença de uma massa crítica de agentes facilmente influenciáveis é menos importante para a difusão de informações do que a atuação de agentes mais influentes. Os *tipping points* identificados mostraram que, para a difusão, basta se disseminar via um pequeno grupo de agentes, desde que o grupo certo de agentes (de maior centralidade ou intermediação).

Os resultados mostraram que, com um pequeno esforço, os gestores do DIG podem conseguir difundir uma informação para a maior parte da rede

social do PGO. A eficiência dessa difusão depende da forma como a rede social desse perímetro de irrigação está estruturada. Assim, políticas que visem aperfeiçoar o fluxo de informações para elevar a resiliência de sistemas desse tipo devem se basear na focalização de agentes líderes. Esse resultado é a principal sugestão política aos gestores do DIG. Após este trabalho, é possível dizer quantos produtores – e quais seriam eles – devem ser capacitados. Mostrou-se que, além de mais dispendiosa, a tentativa de convencimento geral dos produtores é menos eficiente. Essas são apenas algumas das inúmeras aplicações que se espera fazer da abordagem proposta.

Por fim, é necessário ressaltar limitações do estudo. A análise realizada ainda é simplificada, não incluindo um modelo explícito da dinâmica estoque-fluxo do sistema em questão. Ademais, para os objetivos aqui pretendidos, supôs-se apenas que existe uma relação logística entre o número de adotantes e o efeito da rede nos ganhos com a adoção. Sendo assim, a parte de DS do modelo pode ser ainda melhor desenvolvida. Por fim, em se tratando de um estudo específico, este trabalho não permite a verificação das implicações de seus resultados sobre outros sistemas que não os de irrigação, apesar de corresponder a um passo para o futuro desenvolvimento de modelos semelhantes.

Referências

- ARTHUR, W. B. Out-of-equilibrium economics and agent-based modeling. In: TEFATSION, L.; JUDD, K. L. (Ed.). *Handbook of computational economics: agent-based computational economics*. Elsevier, v. 2, p. 1.551-1.564, 2006.
- BIRKE, D. The economics of networks: A survey of the empirical literature. *Journal of Economic Surveys*, v.23, n. 4, p. 762-793, 2009.
- BORGATTI, S. P. *et al.* *Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard, MA: Analytic Technologies, 2002.
- BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G. Models of Core/Periphery Structures. *Social Networks*, v.21, p. 375-395, 1999.
- BOUETTIER, J. *et al.* Geodesic distance in planar graphs. *Nuclear Physics B*, v. 663, n. 3, p. 535-567, 2003.
- BRASS, D. *et al.* Taking stock of networks and organizations: A multilevel perspective. *Academy of Management Journal*, v. 47, n. 6, p. 795-817, 2004.
- BUENO, N. P. Institutions and natural resources sustainability in poor socio-ecological systems: Closing some dynamical loops. *Journal of Interdisciplinary Economics*, v. 21, n. 3, p. 233-253, 2009.

- BUENO, N. P. Improving communication in drought preparedness campaigns in irrigation systems: A network analysis. *Business and management review*, v. 4, n. 1, 2014a.
- BUENO, N. P. Misperceptions of feedbacks and the resilience of common-pool resource systems: A discussion for irrigation systems based on loop dominance analysis. *International Journal of the Commons*, v. 8, n. 1, p. 79-106, 2014b.
- BURT, R. S.; MERLUZZI, J. Embedded brokerage: Hubs versus locals. In: BORGATTI, S. P. *et al.* (Ed.). *Contemporary perspectives on organizational social networks*. Emerald Group Publishing Limited, p. 161-177, 2014.
- CALIARI, T.; BUENO, N. P. O ciclo do café durante a República Velha: uma análise com a abordagem de dinâmica de sistemas. *Nova Economia*, v. 20, n. 3, p. 491-506, 2010.
- CAMPOS, R. F. A. *Disseminação de informações em sistemas socioecológicos: Análise do Perímetro de Irrigação Gorutuba, Minas Gerais*. 2016. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.
- COSTA, L. F. *et al.* Characterization of complex networks: A survey of measurements. *Advances in Physics*, v. 56, n. 1, p. 167-242, 2007.
- COYLE, R. G. *System dynamics modeling: A practical approach*. CRC Press, 1996.
- CUNHA, D. A. *et al.* Irrigation as an adaptive strategy to climate change: An economic perspective on Brazilian agriculture. *Environment and Development Economics*, v. 20, n. 1, p. 57-79, 2015.
- DISTRITO DE IRRIGAÇÃO DO PERÍMETRO DO GORUTUBA (DIG). *Caracterização do PGO*, 2011. Disponível em: <<http://www.dig.org.br/noticia/Caracterizacao-do-Perimetro-de-Irrigacao-Gorutuba-distrito-do-gorutuba/31/>>. Acesso em: 20 ago. 2017.
- DISTRITO DE IRRIGAÇÃO DO PERÍMETRO DO GORUTUBA (DIG). *Histórico e diagnóstico hidrológico do PGO*. Janaúba, MG, setembro, 2015. Disponível em: <<http://www.dig.org.br/noticia/HISTORICO-E-DIAGNOSTICO-HIDROLOGICO-DO-PERIMETRO-DE-IRRIGACAO-GORUTUBA-distrito-do-gorutuba/139/>>. Acesso em: 20 ago. 2017.
- EVERETT, M.; BORGATTI, S. P. Ego network betweenness. *Social Networks*, v. 27, n. 1, p. 31-38, 2005.
- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson. *Revista Política Hoje*, v. 18, n. 1, p. 115-148, 2009.
- FORD, A. System Dynamics and the electric power industry. *System Dynamics Review*, v. 13, n. 1, p. 57-85, 1997.
- FORD, D. N. A behavioral approach to feedback loop dominance analysis. *System Dynamics Review*, v. 15, n. 1, p. 3, 1999.
- FORRESTER, J. W. Lessons from system dynamics modeling. *System Dynamics Review*, v. 3, n. 2, p. 136-149, 1987.
- FORRESTER, J. W. *Industrial dynamics*. Waltham, MA: Pegasus Communications, 1961.
- GABARDO, A. C. *Análise de redes sociais: uma visão computacional*. São Paulo: Novatec Editora, 2015.
- GILBERT, N. *Agent-based models: Quantitative applications in the social sciences*. Series, v. 7, p. 2006, 2008.

- GILBERT, N.; TERNA, P. How to build and use agent-based models in social science. *Mind&Society*, v. 1, n. 1, p. 57-72, 2000.
- GRILICHES, Z. Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 25, p. 501-522, 1957.
- GRÖESSER, S. N.; SCHAFFERNICHT, M. Mental models of dynamic systems: Taking stock and looking ahead. *System Dynamics Review*, v. 28, n. 1, p. 46-68, 2012.
- HEARD, D. *et al.* Agent-based models and microsimulation. *Annual Review of Statistics and its Application*, v. 2, n. 1, p. 259-272, 2015.
- IBARRA, H. Homophily and differential returns: Sex differences in network structure and access in an advertising firm. *Administrative Science Quarterly*, v. 37, n. 3, p. 422-447. 1992.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cadastro de municípios localizados na região semiárida do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiarido.shtm>>. Acesso em: 20 ago. 2017.
- INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. PACHAURI, R. K. *et al.* (Ed.). Switzerland: IPCC, 2014.
- MARCHI, S.; PAGE, S. E. Agent-based models. *Annual Review of Political Science*, v. 17, n. 1, p. 1-20, 2014.
- MATTHEWS, R. B. *et al.* Agent-based land-use models: A review of applications. *Landscape Ecology*, v. 22, n. 10, p. 1 447-1 459, 2007.
- MCPHERSON, M.; SMITH-LOVIN, L.; COOK, J. M. Birds of a feather: Homophily in social networks. *Annual Review of Sociology*, v. 27, p. 415-444, 2001.
- MORRIS, M. *Local rules and global properties*: Modeling the emergence of network structure. 2003.
- NELSON, G. C. *et al.* Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 111, n. 9, p. 3.274-3.279, 2014.
- NEWMAN, M. E. J. *Networks: An introduction*. Oxford University Press, 2012.
- NUNES, C. S. Usos e aplicações da palma forrageira como uma grande fonte de economia para o semiárido nordestino. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 6, n. 1, 2011.
- OSGOOD, N. Representing progression and interactions of comorbidities in aggregate and individual-based systems models. In: 27th INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE SYSTEM DYNAMICS SOCIETY *Proceedings...* New Mexico, 2009.
- PRELL, C. *Social Network Analysis: History, theory, and methodology*. Los Angeles: Sage, 2012.
- PODOLNY, J. M. *Status signals: A sociological study of market competition*. Princeton University Press, 2010.
- ROGERS, E. M. Elements of diffusion. *Diffusion of innovations*, v. 5, p. 1-38, 2003.
- SCHEFFER, M. Complex systems: Foreseeing tipping points. *Nature*, v. 467, n. 7.314, p. 411, 2010.

- SCHEINKMAN, J. Social interactions, theory. In: DURLAUF, S. N.; BLUME, L. (Ed.). *The new Palgrave dictionary of economics*. Basingstoke: Palgrave MacMillan, 2008.
- STERMAN, J. D. *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.
- STEVENSON, W. B.; GREENBERG, D. Agency and social networks: Strategies of actions in a social structure of position, opposition, and opportunity. *Administrative Science Quarterly*, v. 45, n.4, p. 651-678, 2000.
- TESFATSION, L.; JUDD, K. L. (Ed.). *Handbook of computational economics: Agent-based computational economics*. Amsterdam: Elsevier, 2006.
- TUTZAUER, F. *et al.* Network diffusion of two competing ideas. In: VISHWANATH, A.; BARNETT, G. (Ed.). *The diffusion of innovations: A communication science perspective*. New York: Peter Lang, p. 145-170, 2011.
- VALENTE, T. W. Network models and methods for studying de diffusion of innovations. In: CARRINGTON, P. *et al.* (Ed.). *Models and methods in social network analysis*. New York: Cambridge University Press, v. 28, p. 98, 2005.
- 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.
- WATTS, D. J.; DODDS, P. S. Influentials, networks, and public opinion formation. *Journal of Consumer Research*, v. 34, n. 4, p. 441-458, 2007.
- WEISBUCH, G.; BOUDJEMA, G. Dynamical aspects in the adoption of agri-environmental measures. *Advances in Complex Systems*, v. 2, n. 1, p. 11-36, 1999.
- WEITZEL, L. C. S. *Abordagem baseada na Análise de Redes Sociais para estimativa da reputação de fontes de informação em saúde*. 2013. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- WILENSKY, U. *NetLogo*. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Evanston, IL: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. 1999.

Sobre os autores

Rafael Faria de Abreu Campos – rfacampos@cedeplar.ufmg.br

Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5289-1891>.

Dênis Antônio da Cunha – denis.cunha@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Economia Rural, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4838-3795>.

Newton Paulo Bueno – npbueno@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Economia, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8587-0539>.

O presente estudo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. O autor Dênis Antônio da Cunha agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de Bolsa de Produtividade em Pesquisa (Processo 305807/2018-8).

Sobre o artigo

Recebido em 22 de março de 2018. Aprovado em 26 de novembro de 2018.