



**TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 578**

**DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÕES EM SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS:  
ANÁLISE DE UM MODELO HÍBRIDO DE  
DINÂMICA DE SISTEMAS E MODELAGEM BASEADA EM AGENTES**

**Rafael Faria de Abreu Campos**

**Dênis Antônio da Cunha**

**Newton Paulo Bueno**

**Abril de 2018**

## Universidade Federal de Minas Gerais

Jaime Arturo Ramírez (Reitor)

Sandra Regina Goulart Almeida (Vice-reitora)

### Faculdade de Ciências Econômicas

Paula Miranda-Ribeiro (Diretora)

Lizia de Figueirêdo (Vice-diretora)

### Centro de Desenvolvimento e Planejamento

#### Regional (Cedeplar)

Mônica Viegas Andrade (Diretora)

Eduardo da Motta e Albuquerque (Vice-Diretor)

Laura Rodríguez Wong (Coordenadora do Programa de Pós-graduação em Demografia)

Gilberto de Assis Libânio (Coordenador do Programa de Pós-graduação em Economia)

Adriana de Miranda-Ribeiro (Chefe do Departamento de Demografia)

Edson Paulo Domingues (Chefe do Departamento de Ciências Econômicas)

#### Editores da série de Textos para Discussão

Aline Souza Magalhães (Economia)

Adriana de Miranda-Ribeiro (Demografia)

#### Secretaria Geral do Cedeplar

Maristela Dória (Secretária-Geral)

Simone Basques Sette dos Reis (Editoração)

<http://www.cedeplar.ufmg.br>

## Textos para Discussão

A série de Textos para Discussão divulga resultados preliminares de estudos desenvolvidos no âmbito do Cedeplar, com o objetivo de compartilhar ideias e obter comentários e críticas da comunidade científica antes de seu envio para publicação final. Os Textos para Discussão do Cedeplar começaram a ser publicados em 1974 e têm se destacado pela diversidade de temas e áreas de pesquisa.

#### Ficha catalográfica

C198d 2018	Campos, Rafael Faria de Abreu. Disseminação de informações em sistemas socioecológicos : análise de um modelo híbrido de dinâmica de sistemas e modelagem baseada em agentes / Rafael Faria de Abreu Campos, Dênis Antônio da Cunha, Newton Paulo Bueno. – Belo Horizonte : UFMG/CEDEPLAR, 2018. 30 p. : il., gráfs. e tabs. - (Texto para discussão, 578)  ISSN 2318-2377 Inclui bibliografia.  1. Redes de informação – Avaliação. 2. Redes de informação – Aspectos sociais. 3. Sistemas de irrigação. I. Cunha, Dênis Antônio da. II. Bueno, Newton Paulo. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. IV. Título. V. Série.  CDD: 658.4032
---------------	--

Elaborada pela Biblioteca da FACE/UFMG –  
NMM/029/2018

As opiniões contidas nesta publicação são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo necessariamente o ponto de vista do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar), da Faculdade de Ciências Econômicas ou da Universidade Federal de Minas Gerais. É permitida a reprodução parcial deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções do texto completo ou para fins comerciais são expressamente proibidas.

*Opinions expressed in this paper are those of the author(s) and do not necessarily reflect views of the publishers. The reproduction of parts of this paper of or data therein is allowed if properly cited. Commercial and full text reproductions are strictly forbidden.*

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL**

**DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÕES EM SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS:  
ANÁLISE DE UM MODELO HÍBRIDO DE  
DINÂMICA DE SISTEMAS E MODELAGEM BASEADA EM AGENTES**

**Rafael Faria de Abreu Campos**

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

**Dênis Antônio da Cunha**

Universidade Federal de Viçosa (UFV)

**Newton Paulo Bueno**

FUCAPE Business School

**CEDEPLAR/FACE/UFMG**

**BELO HORIZONTE**

**2018**

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	6
2. METODOLOGIA .....	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
4. CONCLUSÕES.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	27

## **RESUMO**

O objetivo deste estudo foi analisar o processo de disseminação de informações em sistemas socioecológicos. Metodologicamente, 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. De modo a considerar questões de sustentabilidade, foi realizada análise das características e aspectos estruturais das redes sociais do Perímetro de Irrigação Gorutuba, no semiárido da região norte de Minas Gerais. Foi observado que os agentes mais centrais, conhecidos como líderes de opinião, encontram-se 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 as informações produzidas. Os resultados permitiram concluir que políticas que visem aperfeiçoar o fluxo de informações para elevar a resiliência de sistemas desse tipo 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.

## **ABSTRACT**

This study aimed to identify if it is possible, merely through opinion leaders, to disseminate information in irrigation 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 the northern semiarid region of Minas Gerais, was performed. It was 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 produced information. The results showed that policies to improve the flow of information to increase resilience of such systems should be based on targeting leading actors.

*Keywords:* Dissemination of Information; Irrigation Systems; System Dynamics; Agent-Based Modeling; Social Network Analysis.

*Códigos JEL:* Q15; Q54; Q58.

## 1. INTRODUÇÃO

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*International Panel on Climate Change – IPCC*, 2014) afirma que as recentes alterações do clima global têm tido impactos generalizados sobre os sistemas humanos e naturais. Eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas, geadas intensas e incêndios florestais têm ocorrido com maior frequência. Isso revela a significativa vulnerabilidade de alguns ecossistemas e dos sistemas humanos à variabilidade climática atual, o que se traduz em desafio para a comunidade científica das mais variadas áreas.

Uma importante manifestação das mudanças climáticas diz respeito às alterações nos padrões de precipitação. A queda nos níveis de precipitação e fenômenos extremos como a seca, tem se manifestado, sobretudo, nas regiões áridas e semiáridas. O *IPCC* (2014), afirma que a perspectiva é de autorreforço, de modo que, dentre as regiões de latitudes médias, aquelas secas e subtropicais terão sua precipitação média diminuída.

As regiões áridas e semiáridas representam 55% das terras do mundo (NUNES, 2011). No Brasil, o semiárido ocupa cerca de 10% do território nacional e compreende grande parte da região Nordeste e o norte de Minas Gerais (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2005). O Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, 2013) revela que os indicadores sociais para o semiárido, nas áreas de mortalidade infantil, educação e renda *per capita*, são piores que os indicadores médios nacionais, o que torna tais regiões ainda mais vulneráveis socioeconomicamente.

Além disso, o setor agrícola dessas regiões é um dos mais afetados por tais fenômenos, pois as condições ambientais, sobretudo a disponibilidade hídrica, são cruciais para sua produtividade (NELSON *et al.*, 2014). Em períodos de estiagem prolongada, as perdas econômicas vão desde valores imediatos modestos até grandes prejuízos no longo prazo (SILVA, 2003). Nesse sentido, a irrigação é uma das principais formas de adaptação aos menores índices pluviométricos que atingem tais regiões. Nos diversos municípios do semiárido brasileiro, com sua característica baixa precipitação, a irrigação se torna ferramenta indispensável para o incremento da produtividade na agricultura (CUNHA *et al.*, 2015; COELHO *et al.*, 2006).

No entanto, a possibilidade de redução da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental atribuída à irrigação vem sendo comprometida em função da crise hídrica que o Brasil vem enfrentando nos últimos anos. Como a agricultura é responsável pela maior parte do consumo de água no Brasil, surge daí a necessidade de adoção de práticas mais econômicas e o uso racional da água. O problema é que, embora a adoção de novas práticas já tenha levado à queda do consumo de água em determinadas culturas irrigadas no sul do país – cerca de 40% de redução –, há indícios de que os agricultores do Sudeste ainda não foram persuadidos a adotarem tais práticas mais econômicas em água. Isso leva à necessidade de investimento de enormes aportes financeiros na implantação de campanhas visando persuadir a população sobre a redução do consumo de água (BUENO, 2015).

Considerando essa problemática, 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 Gortuba – DIG, 2015). O uso de irrigação, portanto, minimiza as perdas.

O PGO, cuja fonte hídrica é a Barragem Bico da Pedra, tem área de pouco mais de 11 mil hectares. Situa-se no município de Nova Porteirinha, a jusante desta 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 Gortuba. Configurando-se num grande polo de fruticultura irrigada do país, o PGO gera aproximadamente 9,5 mil empregos diretos e indiretos, produzindo cerca de 70 mil toneladas por ano de produtos agrícolas, o que representa geração de renda na ordem de 48 milhões de reais por ano (DIG, 2011). Considerando a área total irrigável do PGO, pode-se afirmar que aproximadamente 50% são de pequenos produtores familiares de subsistência e 50% de grandes produtores comerciais, tendo como principais culturas a banana, manga, mamão, uva e goiaba.

A presente pesquisa, então, 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. O problema principal foi responder a seguinte pergunta: qual é a melhor forma de se disseminar novas informações a produtores rurais, de forma que os mesmos desenvolvam regras de comportamento coletivo, frente ao recurso escasso água, capazes de assegurar a perenidade do sistema socioecológico do qual são parte? Em outras palavras, a ideia é analisar se incentivos e informações precisam ser dados a todos agentes ou somente a parte deles, garantindo assim que a maioria dos produtores do perímetro adote posturas adaptativas ou inovadoras adequadas à manutenção do sistema em que operam.

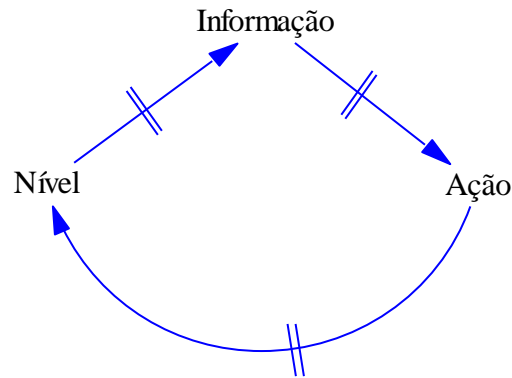
A justificativa para o estudo de irrigantes reside no fato de que sistemas de irrigação podem perder resiliência devido a pequenas variações nas condições ambientais (BUENO, 2014b). Ademais, Bueno (2009) destaca que, mais do que em qualquer outro tipo de sistema, é nos perímetros de agricultura irrigada que interagem, de forma mais fundamental, as dimensões técnica, climática, econômica e institucional de uma atividade. Por fim, o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2006) afirma que o interesse dos agricultores pelo emprego da irrigação tem aumentado graças a perdas de produção devido a fatores climáticos. Assim, a partir dos resultados deste estudo, pretende-se incentivar a criação de políticas específicas de treinamento, incentivos e créditos para a adoção de novas práticas de uso mais consciente do recurso hídrico no PGO, dada a importância vital da agricultura irrigada 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 (STERMAN, 2000). Em outras palavras, em que as variáveis relacionam-se com defasagens temporais normalmente não captadas em modelos mentais (CALIARI; BUENO, 2010).

A DS pode ser definida esquematicamente como uma abordagem informação/ação/consequências, vide Figura 1 (COYLE, 1996):

**FIGURA 1**  
**A abordagem de DS (Coyle, 1996; adaptação de Caliari e Bueno, 2010)**



Conforme demonstrado na Figura 1, novas informações levam a ações (fluxos), por meio de variáveis auxiliares e parâmetros. Tais ações, em seguida, irão modificar o estado (nível) das condições de um sistema após certa defasagem de tempo (CALIARI; BUENO, 2010). As duas marcas paralelas sobre a seta indicam a existência de defasagem temporal entre a execução da ação e a mudança no estado do sistema. Um 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, retroagem sobre o comportamento do irrigante, podendo até gerar alterações institucionais na comunidade.

Novas informações para os agentes são geradas pelas mudanças no nível das condições do sistema, implicando que ação, nível 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 que 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). Segundo Ford (1999), a maioria dos comportamentos apresentados por sistemas podem ser descritos por combinações entre os três padrões básicos de comportamento refletidos na taxa de variação líquida da variável de interesse (linear, exponencial e logarítmico).

Alguns trabalhos (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.



De modo geral, esse ferramental metodológico se aplica à presente pesquisa na medida em que permite a identificação de quantos produtores rurais adotantes de, por exemplo, uma 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 “uma nova técnica de produção”, nesse caso, foi utilizada como exemplo. Outros exemplos seriam uma nova postura frente às mudanças climáticas, ou um novo comportamento com relação à colaboração para a manutenção do canal de irrigação, dentre 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, então, 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 um alto nível de fidelidade. Além disso, os MBAs possibilitam a exploração de questões ainda desconhecidas usando construções relativamente simples. Por fim, 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 um ambiente também modelado em computador, de modo a representar o ambiente real em que eles operam (GILBERT, 2008).

Esse ferramental metodológico vem sendo 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. Em outras palavras, a MBA permite que se visualize as características e comportamentos de cada produtor. É possível que se observe, por exemplo, com quais outros produtores determinado agricultor se relaciona tecnicamente; se ele está adotando ou não uma 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. 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” (ou padrão logístico), que pode ser descrito pela equação (1):

$$S_t = \frac{K}{1 + e^{-(\alpha+\beta t)}} \quad (1)$$

em que  $S_t$  é o nível de adoção da nova tecnologia (medido, por exemplo, pela porcentagem de produtores que a adotaram) em cada período;  $K$  é o nível máximo esperado de adoção;  $\alpha$  é um parâmetro que define o nível de adoção inicial; e  $\beta$  é um parâmetro que mede a rapidez com que os produtores adotam a nova tecnologia. Esses parâmetros podem ser estimados por Mínimos Quadrados Ordinários tomando os logaritmos da função de ambos os lados. O processo é essencialmente econômico porque  $K$ ,  $\alpha$  e  $\beta$  são afetados pela lucratividade esperada com a adoção da nova tecnologia.

O ponto importante a destacar é que, embora os modelos inspirados no modelo clássico de difusão obviamente 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. Isto é, 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, tem-se crescentemente recorrido à MBA (MATTHEWS *et al.*, 2007). Entretanto, esses modelos são insuficientes para entender a influência da topologia das redes sociais sobre o processo de difusão de inovações. Para fechar essa lacuna, propõe-se a metodologia proposta por Newman (2012), baseada nas descobertas da Análise de Redes Sociais (ARS) e Modelos de Percolação, como já vem sendo feito em outros campos da Teoria Econômica, como o de Economia Regional (KRUGMAN, 1996). A teoria postula que, quanto mais conectados estiverem os vértices de uma matriz de interação social e 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 crítica 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 Pearson (ajustado) entre as redes observadas e uma estrutura núcleo-periferia ideal. Há diversas formas de computar o grau de assortatividade de uma rede, as quais são mais informativas dependendo da aplicação que se tem em mente. Neste estudo, foram utilizadas quatro medidas de centralidade para caracterizar os agentes estudados. O grau de centralidade de um agente (*degree*) mede simplesmente o número de agentes com os quais ele interage de forma frequente; o grau de conectividade (*betweenness*) baseia-se na frequência

com que um agente situa-se entre pares de outros agentes tomando por referência o caminho geodésico<sup>1</sup> 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 se avaliar quem são os agentes-chave para a disseminação de informações nas redes será utilizado, em princípio, o primeiro indicador, que pode ser computado sob duas formas, *in* e *out-degree*. Um agente com elevado *in-degree* de centralidade é um formador de opinião, alguém a quem muitas pessoas recorrem com frequência para se informar. 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. Ambos são importantes em determinada rede social (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 técnicas ou comportamentais.

O indicador do grau de conectividade será computado para identificar indivíduos com maior poder de controle sobre a informação e eventuais lacunas estruturais no sistema (BURT; MERLUZZI, 2014). Indivíduos com elevado grau de conectividade são capazes, por exemplo, de reter ou distorcer informações vitais para os demais agentes sobre, por exemplo, as condições ambientais reais de um sistema particular. Uma lacuna estrutural (*structural hole*) ocorre quando dois subgrupos de uma rede não interagem devido à inexistência de agentes com elevado grau de conectividade 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 descritos anteriormente não podem responder 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 dos produtores irrigantes do PGO. Isso porque se perderia realismo ao não considerar as características individuais dos produtores ou ao não retratar o fato de as alterações no ambiente retroagirem sobre as decisões individuais dos mesmos. Faz-se necessário modelar a massa crítica de agentes (possível pela DS), bem como as características e nuances individuais de cada agente (possível pela MBA). Fica clara, então, a importância de se fazer um modelo híbrido que permita a consideração de características individuais, bem como de efeitos gerais sobre os produtores.

Para dotar o indivíduo da capacidade de escolher entre, por exemplo, 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 limiar (*threshold*) para decisão sobre

---

<sup>1</sup> 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. Em outras palavras, denomina-se distância  $d(v, w)$  de um grafo como sendo o comprimento do menor caminho entre  $v$  e  $w$  (BOUETTIER *et al.*, 2003).

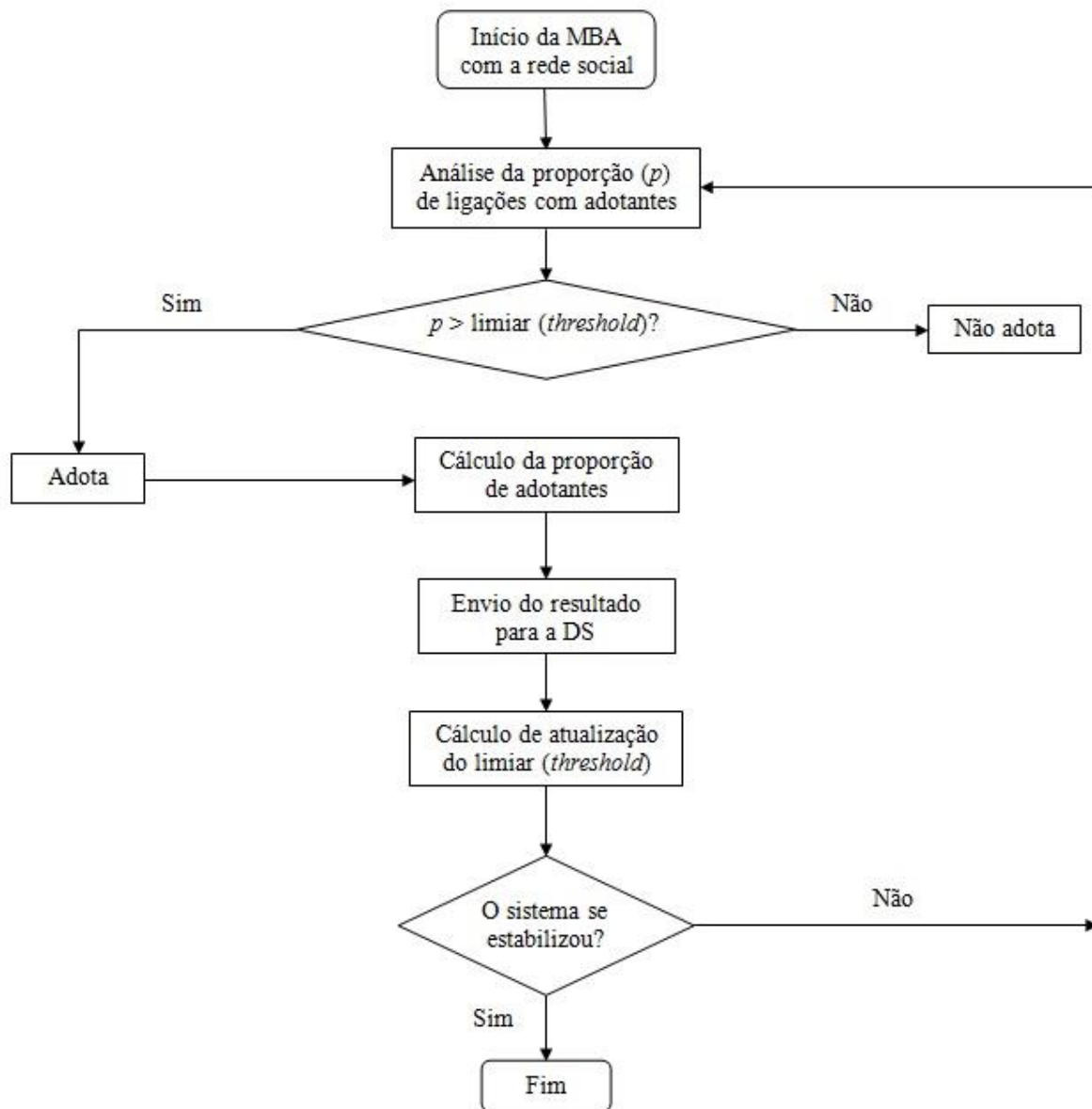
adoção, o ganho pela adoção e também a pela não adoção. Osgood (2009) indica que, em pesquisas como a aqui documentada, não é necessário definir detalhadamente um número exaustivo de estados, mas apenas estabelecer regras genéricas que definam condições de transição entre um estado e outro. Isto pode ser feito utilizando a função de condição disponível nos *softwares* para modelagem de DS e de MBA (TESFATSION; JUDD, 2006).

Gilbert e Terna (2000) relacionam alguns princípios práticos como, por exemplo: a) é útil que os agentes sejam modelados dentro de um ambiente físico que lhes imponha restrições sobre suas respectivas localizações; b) quanto mais próximos estão dois agentes, mais propensos eles estarão de interagirem um com o outro e, também, mais capazes de influenciarem-se mutuamente; e c) cada agente tem um estado (por exemplo, “adotando” ou “não adotando”).

Modelos híbridos atendem a tais princípios práticos. Uma vez que os indivíduos são capazes de observar seu meio ambiente e reagir às mudanças nele ocorridas, as informações são transmitidas de duas maneiras: observando o nível das variáveis de estoque e avaliando o número de agentes aos quais um indivíduo está conectado que apresentam certas características; e os agentes interagem com seu ambiente, visto que as decisões individuais de se adotar ou não alteram esse ambiente por meio de variações no nível de variáveis de estoque, as quais podem colocar em ação ciclos de retroalimentação até então inativos, o que alterará as condições em que os agentes tomam decisões nos períodos seguintes.

A Figura 2 mostra que o modelo construído pode ser dito híbrido por se utilizar das abordagens de DS e de MBA de tal forma que uma complemente a outra. Na parte de MBA, os agentes são modelados individualmente com suas respectivas características, dentre as quais estão seus relacionamentos, produto da ARS.

**FIGURA 2**  
**Descrição do modelo de difusão utilizando agentes**



Pode-se observar na Figura 2 que, depois de tomadas as decisões individuais de se adotar ou não, a proporção total de adotantes é calculada. Essa proporção diz respeito a toda a rede, ou seja, nada mais é do que a relação entre o número de agentes adotantes e o número total de agentes nessa rede. As decisões individuais são tomadas observando o que fazem aqueles indivíduos que são importantes (por exemplo, tecnicamente) 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, retroage sobre os modelos mentais dos agentes tomadores de decisão (através da atualização do limiar decisório).

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, ou seja:

$$p = \frac{\text{número de adotantes dentre os indicados}}{\text{número de agentes indicados}} \quad (2)$$

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

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, aqui suposto “cinco por um”, 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 adotar a nova tecnologia e colocar sua relação com os ganhos realizados sem a mesma como sendo os ganhos iniciais.

Deve-se destacar que o protótipo aqui desenvolvido ainda é simplificado, não incluindo um modelo explícito da dinâmica estoque-fluxo do sistema em questão. Para os objetivos aqui pretendidos, supôs-se apenas que existe uma relação logística entre o número de adotantes e o efeito da rede no ganho com a adoção (BIRKE, 2009). Assim, 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, comportamento ou tecnologia, fica sendo:

$$p \cdot d \cdot a > (1 - p) \cdot d \cdot b \quad (3)$$

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

$$p > 0,166667 \quad (4)$$

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 (3) é a regra decisória ao longo de toda a simulação. Porém, o resultado – observado na equação (4) – qual seja, o de que cada agente que tiver mais que 16,7% de suas indicações adotando 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), calculada ao fim da primeira unidade de tempo. O ganho  $a$  aumenta à medida que a maior proporção dos agentes da rede adota; o oposto acontece com  $b$ .

A metodologia aqui utilizada permite identificar a capacidade de reação do PGO a choques, como a seca por exemplo. 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 reservas pesqueiras – e que, por isso, podem apresentar propriedades não intuitivas, como perda súbita de sustentabilidade devido à ultrapassagem de pontos de virada. 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 pré-existentes. 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.

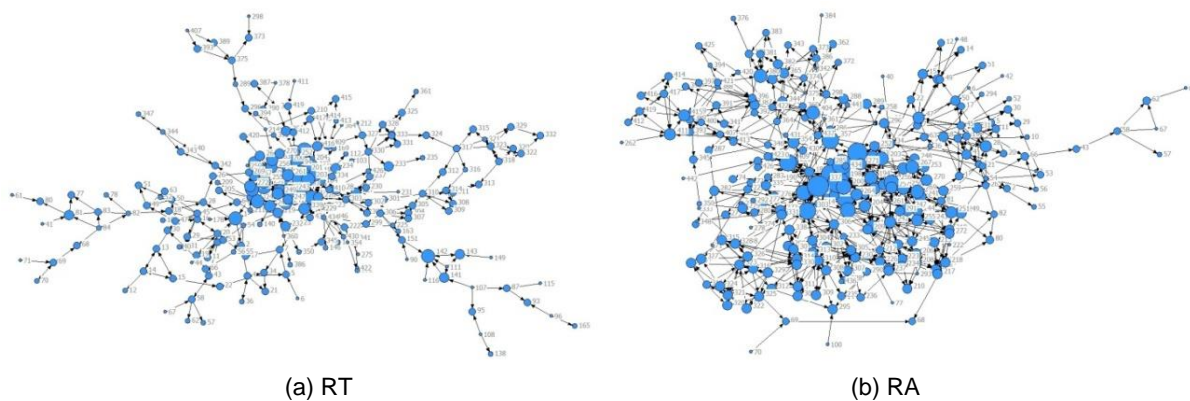
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Preliminarmente, de posse das informações extraídas dos dados primários coletados em campo por Bueno (2014a), e utilizando-se o programa Ucinet 6 (PRELL, 2012; BORGATTI *et al.*, 2002), foram computadas diversas características fundamentais para a difusão de novas práticas ou técnicas para o PGO. Tais características são importantes para definir a 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, dentre outras necessidades da agricultura irrigada do perímetro. Para realizar esses cálculos, foram construídas inicialmente duas matrizes binárias de interação social. A primeira foi a 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 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 no caso em que o produtor daquela linha indicou o produtor da coluna e 0 caso contrário.

A partir da Figura 3, pode-se fazer a análise gráfica das redes RT e RA. O diagrama da parte (a) da Figura 3 mostra o resultado da análise de centralidade para os agentes individuais da RT, enquanto que a parte (b) da Figura 3 mostra o mesmo resultado para os da RA. A análise do grau de centralidade de cada agente nada mais é do que a observação do número de indicações recebidas pelos mesmos. Cada nó (círculo) representa um produtor irrigante do PGO e seu tamanho representa o respectivo grau de centralização, isto é, o número de agentes que o indicou como importante quando da resposta do questionário. O grau de centralização individual, assim, indica a importância desse agente para a disseminação de informações pelo sistema.

**FIGURA 3**  
**Redes sociais do PGO**



Embora o grau de centralização do sistema como um todo pareça reduzido visualmente em ambas as redes (os nós, em geral, são pequenos), como mostra a Figura 3, é possível identificar agentes, principalmente na RT, que se relacionam com número maior de outros produtores e, assim, deveriam ser vistos com mais atenção em termos de difusão de informações sobre novas práticas, comportamentos ou tecnologias de irrigação. Por exemplo, o agente de número 82, na RT, é indicado por 10 outros agentes da rede como importante tecnicamente, demonstrando sua capacidade de influência sobre aproximadamente 5% dos indivíduos dessa rede social. Indivíduos como esse, ao se situarem em posições-chave para o fluxo de informação ou em rotas obrigatórias para sua disseminação, podem filtrar, reter ou até mesmo distorcer as informações produzidas, por exemplo, por agências governamentais ou inovadoras. Surge daí a necessidade de se testar a hipótese de que, em sistemas socioecológicos, a adoção de novas práticas não depende apenas da disponibilidade de informação, mas da disseminação – ou não – de tais comportamentos.

Ainda com relação à análise da Figura 3, é importante ressaltar que 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

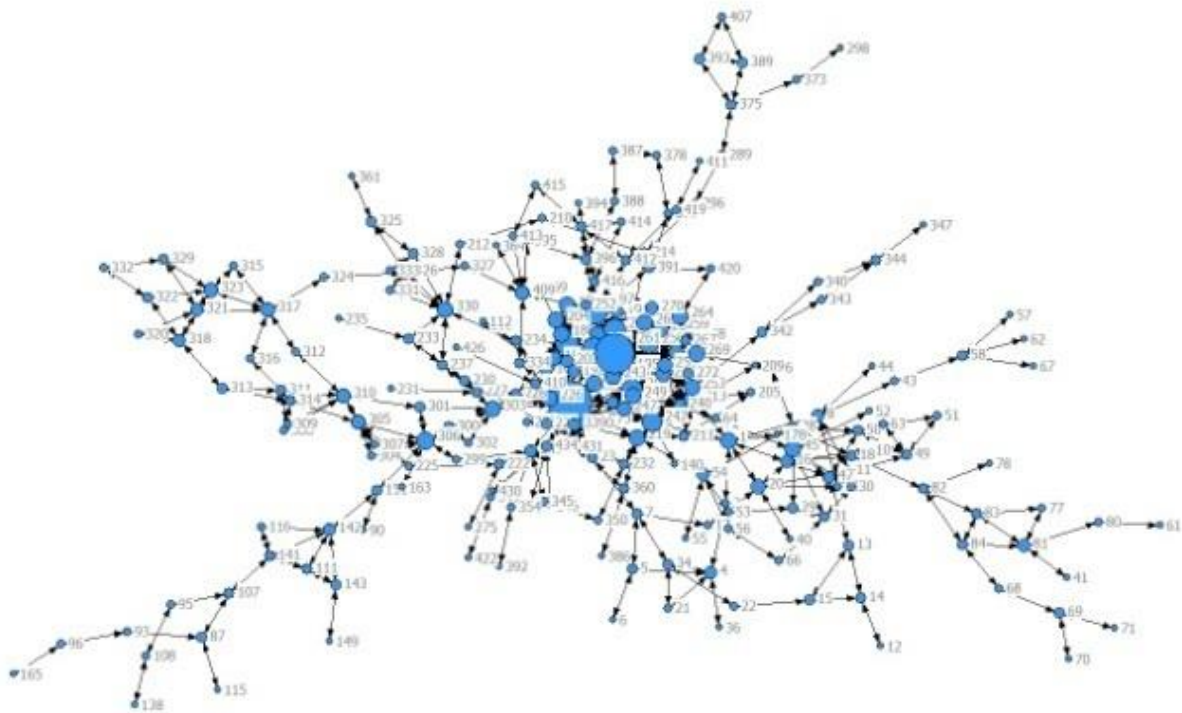


obter resultados não viesados e consistentes no que tange à caracterização estrutural da rede (BORGATTI *et al.*, 2002). Na RA isso não foi necessário, pois não se observou grupos de produtores desconectados. Pelo fato de as pessoas, em geral, terem relações além das de produção, como as de amizade e de parentesco, isso era esperado. Por outro lado, não raro, existem produtores isolados no que tange às relações técnicas.

O tamanho dos nós na Figura 3, como colocado anteriormente, representa o número de indicações recebidas (*in-degree*). Portanto, a análise gráfica daquelas duas redes sociais sugere que uma relação núcleo-periferia (*core-periphery*) 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, conseqüentemente, que esta rede seja mais disassortativa que a RA. Como a recíproca é verdadeira, aquela indicação sugere que, na RA, exista maior grau de homofilia e, conseqüentemente, que esta rede seja mais assortativa que a RT. Em termos práticos, isso implica que os agentes, na RA, têm maior tendência a se conectarem preferencialmente com agentes semelhantes a si. Entenda-se que a semelhança aqui 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 em geral, pessoas de idades semelhantes tendem a estarem conectadas entre si, pois a similaridade entre os agentes facilita a transmissão de informações e conhecimento, aumenta a cooperação e evita potenciais conflitos (WEITZEL, 2013; MCPHERSON *et al.*, 2001; IBARRA, 1992).

Neste ponto do trabalho, então, optou-se por construir uma terceira rede social, somente a título de comparação. Para a construção dessa terceira rede foi feito um novo processo de ligação (*rewiring*) de algumas conexões entre os agentes na RT. Essa transformação é feita de modo que os agentes com maior número de indicações recebidas têm maior probabilidade de receber uma nova indicação. Isso se dá para que se tenha uma Rede Livre de Escala (*Scale-Free Network*). As redes do tipo “livre de escala” são caracteristicamente disassortativas, ou seja, caracteristicamente apresentam ligações que conectam diferentes grupos, apresentando nitidamente concentradores e raios (*hubs and spokes*), como em redes de aeroportos, por exemplo (COSTA *et al.*, 2007). O termo “*hubs and spokes*” é proveniente dos vários raios de uma bicicleta que apontam na direção do seu eixo central (concentrador). Isso significa que informações sobre as condições ambientais, mudanças climáticas, novas práticas, comportamentos e tecnologias disponíveis tendem a depender mais, teoricamente, dos agentes mais centrais do sistema. A Figura 4 apresenta a Rede Técnica Religada (RTR) que é, então, do tipo “livre de escala”.

**FIGURA 4**  
**RTR do PGO**



A nova rede construída a partir da RT – a RTR – mostrou ainda mais nitidamente uma estrutura disassortativa com a predominância da heterofilia nas ligações entre os agentes (Figura 4). Diferentemente das duas redes anteriores, nesta, os concentradores são facilmente identificáveis e a mensuração de sua importância relativa se torna ainda mais urgente. Por exemplo, o agente de número 111, na RTR, foi indicado por 28 outros agentes da rede como importante tecnicamente, demonstrando sua capacidade de influência sobre aproximadamente 12% dos indivíduos dessa rede social. Recorde-se aqui que, como já mencionado anteriormente, indivíduos como esses, ao se situarem em posições-chave para o fluxo de informação ou em rotas obrigatórias para sua disseminação, podem filtrar, reter ou até mesmo distorcer as informações produzidas, por exemplo, por agências governamentais ou inovadoras. Esses agentes são cruciais para o teste sobre a primeira hipótese desta pesquisa, aquela que afirma que a adoção de novas práticas, em sistemas socioecológicos, depende da ocorrência da disseminação de informações e não da disponibilidade dessas.

O primeiro passo para o teste da referida hipótese é a mensuração do grau de assortatividade das redes sociais estudadas. A forma como a rede se distribui – assortativa ou disassortativamente – dará a indicação da importância relativa da disseminação e difusão do que quer que seja nessa rede. A Tabela 1 apresenta as métricas computadas para se avaliar o grau de assortatividade das três redes sociais construídas. O coeficiente de agrupamento (*clustering coefficient*) é a fração de pares de produtores que têm ligação com um mesmo agente e também têm ligação entre si. A outra medida utilizada para se

avaliar o grau de assortatividade das redes foi o coeficiente de correlação de Pearson (ajustado)<sup>2</sup> entre as redes observadas e uma estrutura núcleo-periferia ideal, a qual seria a rede de grau zero de assortatividade.

**TABELA 1**  
**Indicadores de assortatividade para o PGO**

<b>Rede</b>	<b>Coeficiente de agrupamento</b>	<b>Coeficiente de Pearson (ajustado)</b>
RT	0,097	0,183
RA	0,180	0,206
RTR	0,013	0,093

Fonte: Resultados da pesquisa.

Redes sociológicas assortativas, normalmente, têm altos coeficientes de agrupamento, enquanto redes tecnológicas e biológicas – em geral disassortativas –, por sua vez, têm baixos valores para tal coeficiente (NEWMAN, 2012). Sistemas sociais tendem a se organizar assortativamente porque os indivíduos têm opções de escolha e as fazem a fim de criarem estruturas sociais que os favoreçam de alguma forma. Aí está o alto grau de homofilia presente nesse tipo de redes. Os semelhantes escolhendo conectarem-se aos semelhantes. Por outro lado, 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 mais 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 grande sistema de irrigação, a conexão a agentes mais centrais e mais conectados torna-se a melhor opção. Fica claro, portanto, que a heterofilia, ou seja, ligações com indivíduos social e espacialmente distantes, 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”, então, explica os baixos coeficientes de agrupamento nas redes estudadas neste trabalho.

O grau de assortatividade medido pelo coeficiente de correlação de Pearson (ajustado), com relação a uma estrutura núcleo-periferia ideal, varia entre zero e a unidade e, quanto mais próximo de zero, maior a importância dos líderes para a difusão de informações, ou seja, menor a homofilia e, conseqüentemente, a assortatividade de uma determinada rede social. Assim, tomando as duas métricas calculadas (Tabela 1), é possível classificar ambas as redes como disassortativas, além de confirmar que a RT é mais disassortativa que a RA, o que permite não rejeitar a primeira hipótese deste trabalho. Em outras palavras, a adoção de novas práticas, em sistemas socioecológicos como o aqui estudado, depende da ocorrência da disseminação de informações e não apenas da disponibilidade das mesmas, pois as ligações sociais de perímetros de irrigação desse tipo são disassortativamente distribuídas. Além disso, a RTR, logicamente, é ainda mais disassortativa que a RT originalmente observada. Em uma rede mais

<sup>2</sup> O coeficiente de correlação de Pearson é adimensional e varia entre -1 e +1. Valores mais próximos de -1 indicam forte correlação negativa. O ajustamento aqui foi realizado, então, de forma que o resultado fosse analisado da seguinte forma: quanto maior o valor resultante, maior é o grau de assortatividade da rede social analisada.

disassortativa, a importância de agentes mais influentes ou dos que agora preenchem lacunas estruturais no sistema fica aumentada. Assim, uma conclusão a que se chega é que, 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. Essa conclusão está em consonância com a literatura em ARS (WATTS; DODDS, 2007).

Os resultados acima expostos também geram importantes conclusões específicas para o PGO. A principal implicação prática, do fato de se identificar que a rede social dos produtores do PGO é disassortativa, é que campanhas de conscientização, para o uso mais racional da água, por exemplo, que visem atingir a todos os produtores, serão menos eficientes nesta rede do que treinamentos e capacitações específicas aos produtores mais influentes do perímetro de irrigação. Esse tipo de conclusão e sugestão aos gestores políticos do DIG implica em consequências benéficas para toda região, tais como economia de recursos, maior produção, menos desperdícios, manutenção mais adequada, disseminação da conscientização, dentre outras.

Agora, debruçando-se sobre os resultados para a rede social como um todo, pode-se computar indicadores individuais, observando-se, assim, 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.

**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
Conectividade	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: Resultados da pesquisa.

Deve-se ressaltar que as medidas são individuais e ordenáveis. Porém, dado o grande número de produtores do perímetro (443), fica inviável a listagem individualizada aqui. Portanto, valeu-se dos valores médios e extremos.

Em relação às métricas para os agentes sociais das redes, observa-se que o indicador de centralidade médio (*average in-degree*) do PGO é baixo para as duas redes sociais observadas, como mostra a Tabela 2. Isto 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 que, na RA, em média os agentes receberam três indicações. Porém, é interessante notar a discrepância entre o valor médio e o valor máximo para esse indicador. Isso porque o baixo valor médio, sinalizando a não diferenciação significativa 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 se ter muitos agentes pouco indicados e poucos agentes muito indicados. A implicação dessa observação é que há, sim, 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 conectividade 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, de forma geral, a capacidade de se 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). Além disso, os produtores relativamente 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 como um todo. Por isso, aqueles podem, pelo menos em princípio, servir como “pontes” de informação entre os agentes mais conectados e os menos conectados.

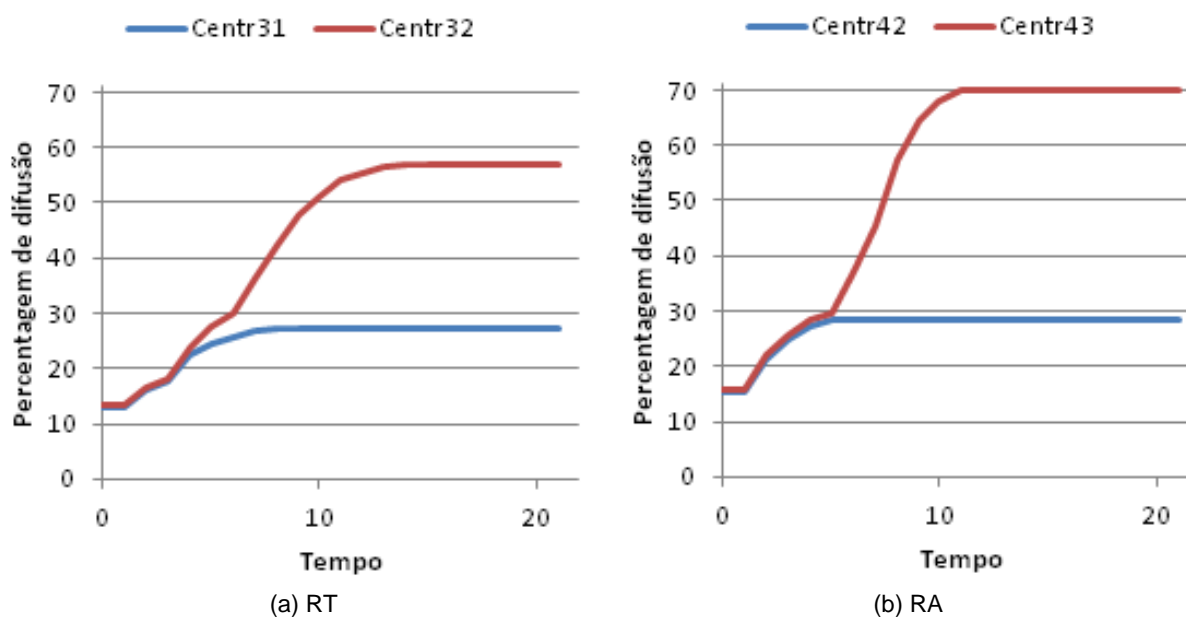
O grau de proximidade (*closeness*) menor, em média, na RA também está de acordo com aquele maior agrupamento encontrado anteriormente nesta rede social. Por fim, deve-se analisar a beta-centralidade de Bonacich (*Bonacich beta-centrality*), que é um indicador tradicionalmente usado para avaliar o *status* social em estudos sociológicos, o qual sintetiza os contatos diretos e indiretos dos agentes (PRELL, 2012). Este indicador foi maior na RT. Dessa forma, ao considerar o grau de centralidade dos agentes aos quais um determinado indivíduo em análise está ligado, o resultado aponta para a maior probabilidade de existência de concentradores e raios (*hubs and spokes*) nesta rede em comparação à RA. Em outras palavras, é mais provável que os agentes elejam, mesmo que não intencionalmente, determinados indivíduos como centros de distribuição (*hubs*) de informações na RT do que na RA. A implicação disso, em termos práticos, 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, que indicam a ordem de importância dos produtores do PGO para a respectiva medida, atingindo mais um objetivo proposto para este trabalho.

Além disso, avaliou-se a melhor forma de se consolidar e expandir a adoção de novas práticas na agricultura irrigada, se estuda o papel da liderança na difusão e se obtém as sugestões de políticas eficientes para tal difusão. Deve-se recordar aqui que a análise realizada neste trabalho ainda é simplificada, não incluindo um modelo explícito da dinâmica estoque-fluxo do sistema em questão. A seção que apresentou a metodologia desta pesquisa deixou claro que, para os objetivos aqui pretendidos, supôs-se apenas que existe uma relação logística entre o número de adotantes e o efeito da rede no ganho com a adoção (BIRKE, 2009).

A Figura 5 mostra a percentagem de difusão ao longo do tempo, nos modelos para as duas redes sociais estudadas, proporcionando a informação, inicialmente, aos agentes de maiores métricas de centralidade (*in-degree*). O tempo do modelo é adimensional e pode ser adequado para o caso específico que se almeja tratar (informação, prática ou tecnologia), fazendo-o ser mensurado em horas, dias, meses, anos etc. A parte (a) da figura apresenta o gráfico referente à RT, enquanto que a parte (b) o referente à RA.

**FIGURA 5**  
**Difusão pelos agentes de maior centralidade**



Na parte (a) da Figura 5, pode-se observar o que ocorre a partir de uma variação discreta mínima (um indivíduo) no número de agentes informados inicialmente na RT. Nota-se que, quando se informa inicialmente 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. Esses 32 indivíduos representam somente 14% dos 236 indivíduos da RT. Esse resultado implica que, com um pequeno esforço – informar 14% da rede – os gestores do DIG conseguiriam difundir uma informação, prática ou nova tecnologia para a maior parte da rede. Cabe ressaltar que 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.

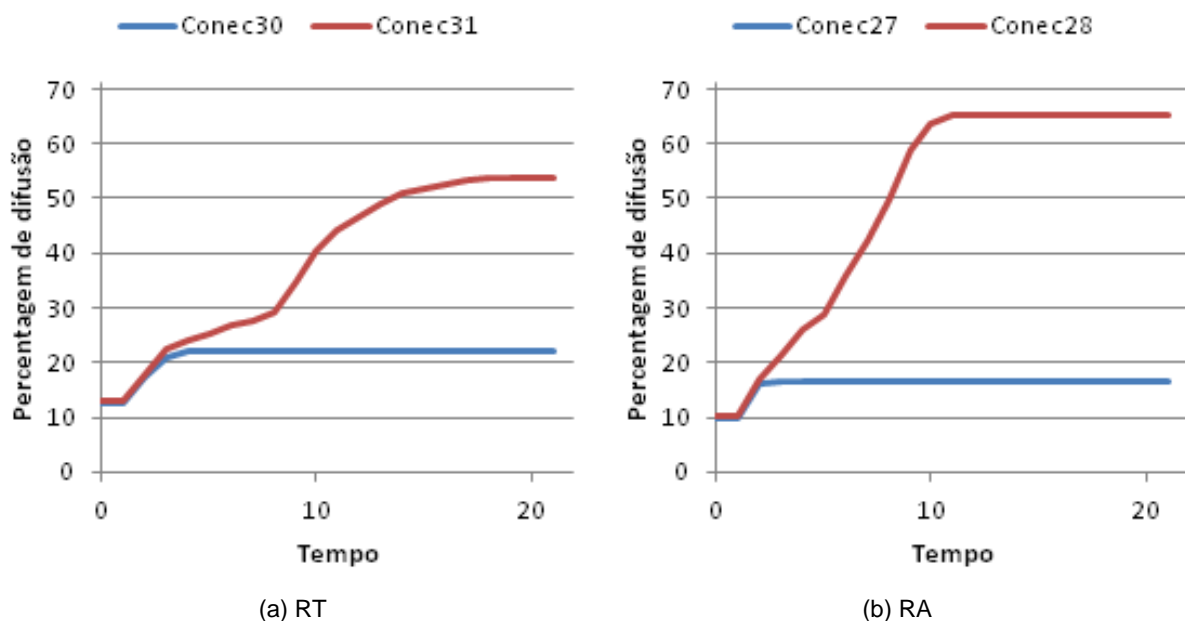
Na RA (Figura 5b), que tem 271 agentes, consegue-se a difusão para cerca de 70% da rede a partir de uma conscientização inicial dos 43 produtores mais indicados. Aqui, 43 indivíduos representam 16% do total de indivíduos da RA. O resultado foi semelhante ao da RT, também implicando que, com um pequeno esforço – informar 16% da rede – os gestores do DIG conseguiriam difusão para a maior parte da rede.

Cabe ressaltar que o fato de a difusão ser mais difícil de ser alcançada na RA – 16% representa um esforço inicial maior que os anteriores 14% – está em acordo com os resultados anteriores que apontam a RT como mais disassortativa que a RA. Além disso, o fato de, após a difusão, se atingir uma porcentagem maior da rede na parte (b) da Figura 5 também está de acordo com os resultados anteriores. Isso ocorre, pois a RA é mais 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 porcentagem maior. Confirma-se a segunda hipótese

deste trabalho. Os resultados supracitados mostraram que a eficiência da disseminação de novas práticas no PGO depende da forma como a rede social desse perímetro de irrigação está estruturada (mais assortativa ou mais disassortativamente).

A Figura 6, por sua vez, mostra a percentagem de difusão ao longo do tempo, nos modelos para as duas redes sociais estudadas, informando inicialmente os agentes de maiores métricas de conectividade. A parte (a) da figura apresenta o gráfico referente à RT, enquanto que a parte (b) o referente à RA.

**FIGURA 6**  
**Difusão pelos agentes de maior conectividade**



Na parte (a) da Figura 6, pode-se observar o que ocorre a partir de uma variação discreta mínima (um indivíduo) no número de agentes informados inicialmente na RT. Nota-se que, quando se informa inicialmente os 30 agentes com maiores valores de conectividade 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 trigésimo primeiro agente mais conectado à experiência anterior, e se obtém a difusão de informações em mais de 50% da RT. Cabe ressaltar que 31 indivíduos representam somente 13% do total de indivíduos da RT que, após se utilizar da técnica de manter somente o maior aglomerado (*giant cluster*) de agentes, tem 236 produtores. Esse resultado implica que, com um pequeno esforço – informar 13% da rede – os gestores do DIG conseguiriam difundir uma informação, prática ou nova tecnologia para a maior parte da rede.

Na RA (Figura 6b), que tem 271 agentes, consegue-se a difusão para aproximadamente 70% da rede a partir de uma conscientização inicial dos 28 produtores mais conectados. Aqui, 28 indivíduos representam 10% do total de 271 indivíduos da RA. O resultado foi semelhante ao para a RT, também

implicando que, com um pequeno esforço – informar 10% da rede – os gestores do DIG conseguiriam difundir uma informação, prática ou nova tecnologia para a maior parte da rede.

Cabe ressaltar que o fato de se atingir percentagem maior da rede após a difusão – na parte (b) da Figura 6 – está de acordo com os resultados anteriores. Isso ocorre porque, novamente, a RA é mais assortativa, ou seja, tem maior homofilia, ou maior coeficiente de agrupamento 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 conectividade, a difusão foi alcançada mais facilmente na RA. Porém isso não contradiz aqueles resultados que apontaram a RT como mais disassortativa que a RA. Deve-se recordar que, naquele momento, do cômputo dos coeficientes de agrupamento e de correlação de Pearson, a medida individual em voga era a centralidade (*in-degree*) e não a conectividade.

Por limitação de espaço para a escrita, não se mostrará aqui 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 beta-centralidade de Bonacich (*Bonacich beta-centrality*). Para finalizar esta seção do texto, cabe evidenciar que a análise tanto da medida de centralidade, quanto da de conectividade, mostrou-se eficaz na identificação dos comportamentos mais adequados para a disseminação de boas práticas adaptativas ou inovadoras por parte dos gestores políticos do DIG, atingindo um dos objetivos específicos deste trabalho. Os resultados deste esforço de pesquisa apontam que, por se tratarem de duas redes sociais disassortativamente distribuídas, políticas que visem aperfeiçoar o fluxo de informações para elevar a resiliência de sistemas desse tipo devem se basear na focalização de agentes líderes, resultado ainda mais evidenciado na RT – mais disassortativa que a RA. Este resultado pode ser considerado compatível com uma série de estudos na difusão de novas tecnologias e comportamentos (BUENO, 2014a; WATTS e DODDS, 2007; ROGERS, 2003; MORRIS, 2003). Para além de ter os resultados suportados pela literatura, o presente trabalho proporciona resultados originais para o PGO na medida em que identifica os pontos de virada específicos de acordo com as principais medidas individuais e das redes, valendo-se de simulador e modelo robustos.

Pode-se afirmar que um resultado essencial deste estudo é a afirmação de que não é necessário persuadir toda a massa de indivíduos da rede social do PGO com novas informações. Pelo contrário, tais informações podem ser disseminadas por grande parte do perímetro de irrigação 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 mitigação ou adaptação aos problemas oriundos das mudanças climáticas. Alternativamente, poderiam ser oferecidos subsídios para a adoção de novas tecnologias mais econômicas em água, insumo que é cada vez mais escasso na região, dentre outras possibilidades.



#### 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, dentre outras necessidades da agricultura irrigada do perímetro. Mesmo com um grau de centralização baixo para o sistema, tanto na RT quanto na RA, se identificou agentes que se relacionam com número maior de outros produtores. A teoria aponta que esse resultado implica a necessidade de maior atenção – em termos de difusão de informações sobre novas práticas, comportamentos ou tecnologias de irrigação – com relação a tais agentes. Conclui-se, a partir desse resultado, que aqueles agentes mais centrais encontram-se em posições-chave para o fluxo de informação ou em rotas obrigatórias 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 nova prática mais econômica em água ou de uma crise econômica por exemplo. 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, apesar de ambas serem classificadas como disassortativas. Como a literatura aponta redes tecnológicas como mais disassortativas, enquanto que redes sociológicas como mais assortativas, os resultados deste trabalho vão ao encontro da literatura na medida em que apontam que as relações na RT são mais disassortativamente distribuídas do que na RA. 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 das mesmas é dependente dos agentes mais centrais do sistema – os concentradores (*hubs*). 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.

Em se tratando de um grande sistema de irrigação, as relações técnicas com agentes mais centrais e mais conectados se mostraram 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. Assim, campanhas de conscientização como, por exemplo, para o uso mais racional da água que visem atingir a todos os produtores serão menos eficientes do que treinamentos e capacitações específicas aos produtores mais influentes do PGO.

De forma geral, 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, sendo que a em questão foi provada ser estruturada disassortativamente. 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. Não é necessário persuadir toda a massa de indivíduos da rede social do PGO com novas informações, pois tais informações podem ser disseminadas por grande parte do perímetro de irrigação atingindo-se somente os agentes-chave. Esse resultado é a principal sugestão política aos gestores do DIG. Após este trabalho, é possível se dizer quantos produtores – e quais seriam eles – devem ser capacitados sobre mitigação ou adaptação aos problemas oriundos das mudanças climáticas. Mostrou-se que, além de mais dispendiosa, a tentativa de convencimento geral dos produtores sobre os temas supracitados seria menos eficiente e, portanto, deve ser evitada. Essas são apenas algumas das inúmeras aplicações que se espera fazer da abordagem proposta.

Por fim, é necessário ressaltar algumas limitações do estudo. A análise realizada neste trabalho ainda é simplificada, não incluindo um modelo explícito da dinâmica estoque-fluxo do sistema em questão. Além disso, 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. Por se tratar 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 ser um grande passo para o futuro desenvolvimento de modelos semelhantes para tais. Sugere-se que futuros trabalhos levem em consideração esses pontos levantados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.1551-1564, 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.
- BOUTTIER, 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. 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.
- \_\_\_\_\_ Improving communication in drought preparedness campaigns in irrigation systems: a network analysis. **Business and management review**, v.4, n.1, 2014a.
- \_\_\_\_\_ 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.
- \_\_\_\_\_ 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.
- 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.
- COELHO, E. *et al.* Irrigação em citrus nas condições do nordeste do Brasil. **Laranja, Cordeirópolis**, v.27, n.2, p.297-320, 2006.
- 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. 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: 20/8/2017.
- \_\_\_\_\_ Caracterização do PGO, 2011. Disponível em: <<http://www.dig.org.br/noticia/Caracterizacao-do-Perimetro-de-Irrigacao-Gorutuba-distrito-do-gorutuba/31/>>. Acesso: 20/8/2017.
- EVERETT, M.; BORGATTI, S.P. Ego network betweenness. **Social networks**, v.27, n.1, p.31-38, 2005.
- FORD, D.N. A behavioral approach to feedback loop dominance analysis. **System Dynamics Review**, v.15, n.1, p.3, 1999.
- 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.
- 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: 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: 20/8/2017.
- INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: 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.
- KRUGMAN, P. Confronting the mystery of urban hierarchy. **Journal of the Japanese and International Economies**, v.10, n.4, p.399-418, 1996.
- MARCHI, S.; PAGE, S.E. Agent-based models. **Annual Review of political science**, v.17, n.1, p.1-20, 2014.
- MATTHEWS, R.B.; GILBERT, N.G.; ROACH, A.; POLHILL, J.G.; GOTTS, N.M. Agent-based land-use models: a review of applications. **Landscape Ecology**, v.22, n.10, p.1447-1459, 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.

- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Caderno Setorial de Recursos Hídricos: agropecuária. Brasília: MMA. 2006.
- 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.3274-3279, 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: **Proceedings of the 27th International Conference of the System Dynamics Society**. 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.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (Organização das Nações Unidas); FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (Minas Gerais); INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (Brasil). Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/>>. Acesso: 20/8/2017.
- ROGERS, E.M. Elements of diffusion. **Diffusion of innovations**, v.5, p.1-38, 2003.
- SCHEINKMAN, J. Social interactions, theory. In: DURLAUF, S.N.; BLUME, L. (Ed.). **The new Palgrave dictionary of economics**. Basingstoke: Palgrave MacMillan, 2008.
- SILVA, R.M.A. Entre dois paradigmas: combate à seca e convivência com o semiárido. **Sociedade e estado**. Brasília, v.18, n.1-2, p.361-385, 2003
- 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**. 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. Porto Alegre, 2013. Tese (Doutoramento em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS.