

Atividades de inovação em agricultura de precisão no Brasil como estratégia de sustentabilidade no agronegócio

VÁLDESON AMARO LIMA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE RONDÔNIA (IFRO)

ISABEL CRISTINA DOS SANTOS

UNIVERSIDADE MUNICIPAL DE SÃO CAETANO DO SUL (USCS)

Atividades de inovação em agricultura de precisão no Brasil como estratégia de sustentabilidade no agronegócio

1 Introdução

Desde a aprovação, em 2015, pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), da Resolução 70/1, intitulada *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, ou simplesmente Agenda 2030 – “um plano de ação para as pessoas, o planeta e a prosperidade” (United Nations [UN], 2015, p.1) –, acentuaram-se as discussões sobre a necessidade de ação dos governos quanto a uma questão há muito debatida por Thomas Robert Malthus (1766-1834) e pelos teóricos neomalthusianos, ainda que com argumentos questionáveis: a escassez de alimentos.

A Agenda 2030 foi organizada em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas que atuam como direcionadores da ação dos países com vistas a alcançar determinado nível de desenvolvimento econômico, social e ambiental. Dentre estes, o ODS 2 destaca a promoção da agricultura sustentável como forma de aumentar a produtividade e a produção, manter os ecossistemas e fortalecer a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, possibilitando o alcance da segurança alimentar e o combate à fome.

A emergência do tema foi reforçada na edição de 2017 do *Global Innovation Index*, documento que fornece métricas detalhadas sobre o desempenho de inovação de 127 países e economias ao redor do mundo, e que, naquela edição, trouxe o tema “*innovation feeding the world*”, concentrando-se na inovação na agricultura e nos sistemas alimentares, enfatizando a inovação como meio fundamental para sustentar o crescimento da produtividade necessário para atender à crescente demanda mundial de alimentos.

No Brasil, a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI) para o período 2016 a 2022, elaborada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC, 2016), apresenta a disponibilidade de alimentos como um dos tópicos centrais de atuação do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI) brasileiro.

O setor de alimentos está destacado na ENCTI como um dos temas estratégicos para o desenvolvimento nacional, com o qual o SNCTI possui responsabilidades crescentes quanto ao aumento sustentável de sua produção agrícola, a partir do desenvolvimento e aprimoramento de sistemas produtivos integrados sustentáveis e do desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias, capazes de gerar aumento de produtividade, ao mesmo tempo em que atuam na melhoria de uso dos recursos naturais aplicados ao processo produtivo, como terra, água e energia.

A importância atribuída ao setor é reflexo não apenas da participação crescente do agronegócio no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, mas principalmente da elevada participação do agronegócio brasileiro no mercado global de alimentos, onde responde por 5,7% da fatia de mercado mundial como terceiro maior exportador, e do crescimento iminente dessa demanda mundial. Com a população mundial prevista para 9,8 bilhões de pessoas em 2050, a produção de alimentos precisaria aumentar em 70% até o mesmo ano para garantir o abastecimento (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2013).

Diante desse desafio, o documento da ENCTI aponta para a necessidade de fortalecimento dos processos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em áreas de fronteira do conhecimento associadas à produção de alimentos, como biotecnologia, bioinformática, nanotecnologia, modelagem, simulação e automação, visando ao aumento da produtividade, a adaptação à mudança do clima e à defesa agropecuária, em que o modelo de agricultura de precisão ganha considerável destaque, citado no próprio documento, pela convergência de tecnologia gerencial, tecnologia de informação e agregação de valor à produção, com minimização de impactos ambientais.

Desse contexto, utilizando uma lente analítica derivada da literatura sobre abordagens de inovação a partir da economia evolucionária (Nelson e Winter, 1982), comumente utilizada em estudos que discutem dinâmicas de desenvolvimento econômico, a presente pesquisa objetiva a identificação da estrutura presente nas atividades de inovação em agricultura de precisão brasileira, descrevendo os papéis desempenhados pelos principais atores, suas interações e evidenciando suas redes sociais de troca de conhecimentos.

O pressuposto básico para a aplicação da agricultura de precisão é a ocorrência de variações de produtividade dentro de uma área de cultivo (Resende et al., 2010), sendo considerada um conceito de gestão agrícola relativamente novo (Aubert, Schroeder e Grimaudo, 2012; Adenle, Azadi e Arbiol, 2015), abordado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) como uma “postura gerencial da lavoura que leva em conta a variabilidade espacial para obter retorno econômico e ambiental” (Inamasu e Bernardi, 2014, p.25). Esse modelo de gestão agrícola apoia a decisão dos agricultores sobre a alocação espacial de insumos para a produtividade da cultura e, posteriormente, monitora os rendimentos das colheitas (Adenle, Azadi e Arbiol, 2015).

Ainda que a agricultura de precisão congregue uma série de técnicas e ferramentas distintas, como sistemas de informações gerenciais, sistemas de posicionamento geográfico, sensoriamento remoto etc., aplicáveis em diferentes situações de variabilidade produtiva, os estudos mais recentes nesse campo têm assumido a abordagem de modelo gerencial para se referir a sua aplicação (Aubert, Schroeder e Grimaudo, 2012; Inamasu e Bernardi, 2014; Adenle, Azadi e Arbiol, 2015).

De acordo com Bernardi et al. (2014), os esforços de PD&I em agricultura de precisão no Brasil estão estruturados em uma rede, organizada e liderada pela Embrapa, que reúne cerca de 200 pesquisadores, 20 centros de pesquisa da Embrapa, mais de 30 empresas privadas, nove universidades, três fundações, quatro institutos de pesquisa, além de um Laboratório de Referência Nacional em Agricultura de Precisão (Lanapre), operando em 15 campos experimentais de culturas perenes e anuais, distribuídos em todo o território nacional. Denominada Rede Agricultura de Precisão (ou Rede AP), tal configuração sugere a existência de um sistema tecnológico (Carlsson e Stankiewicz, 1991; Hekkert et al., 2007; Hekkert et al., 2011) atrelado às atividades de inovação em agricultura de precisão no Brasil.

É sabido que o desenvolvimento de inovações relacionadas a uma tecnologia e sua posterior aplicação, dependem de interações estabelecidas com diversos atores e instituições que, em muitas vezes, extrapolam os limites geográficos e/ou setoriais e, portanto, não devem ser analisadas como restritas a um sistema setorial (SSI), regional (SRI) e/ou nacional de inovação (SNI), apesar de estarem contidas neles (Hekkert et al., 2007).

Assim, este estudo apropria-se da definição de agricultura de precisão como modelo gerencial (Inamasu e Bernardi, 2014) defendida pela Embrapa, para delimitar sua análise como tecnologia específica capaz de movimentar uma rede dinâmica de agentes envolvidos na geração, difusão e utilização dessa tecnologia, sob uma infraestrutura institucional particular, à luz do que determinam os pressupostos teóricos sobre sistemas de inovação tecnológica (Carlsson e Stankiewicz, 1991; Watkins, Papaioannou, Mugwagwa e Kale, 2015).

2 Metodologia

A identificação da estrutura presente nas atividades de inovação em agricultura de precisão do Brasil seguiu a metodologia descrita por Hekkert et al. (2011) para análise de sistemas de inovação tecnológica, a partir de quatro tipos componentes:

- i. Atores, caracterizados pelas organizações que geram, difundem e adotam as novas tecnologias, subdivididas nas categorias: pesquisa (institutos de pesquisa, universidades

- e pesquisa privada), educação (ensino superior e treinamento profissional), indústria (fornecedores e demandantes), órgãos governamentais (reguladores e formuladores de políticas) e instituições de apoio (associações setoriais, entidades de classe, investidores, bancos, etc);
- ii. Instituições, representadas pelas políticas formais que estão em vigor e que afetam o desenvolvimento da tecnologia em foco;
 - iii. Redes, caracterizando as interações e subgrupos de atores na troca de conhecimento e desenvolvimento da inovação; e
 - iv. Fatores tecnológicos, caracterizados pelas infraestruturas de inovação em que se integram.

Para tanto, foram realizadas 11 entrevistas, com nove atores de reconhecida importância para o fenômeno em estudo, no formato de entrevista por pautas (Gil, 2008), em que os entrevistados foram convidados a falar sobre sua experiência de atuação nas atividades de inovação em agricultura de precisão, sendo direcionados, sempre que oportuno na fala de cada um, para questões norteadoras sobre as trajetórias de desenvolvimento da tecnologia, o sistema de geração e compartilhamento de conhecimentos, a correspondência entre o sistema educacional e as necessidades empresariais e a centralidade do tema na agenda política governamental ou setorial do agronegócio.

Esse direcionamento buscou principalmente a identificação dos atores mais relevantes, as principais instituições e as infraestruturas de inovação em que se integram. A partir da primeira entrevista se definiu o próximo entrevistado por indicação do primeiro, e assim sucessivamente, adotando a técnica de “bola de neve”.

As entrevistas foram realizadas individualmente, presencial ou via Skype, com duração média de aproximadamente 80 minutos, seguindo o mesmo formato da primeira e gravadas em sistema de áudio, com autorização dos entrevistados. Na Tabela 1 é apresentada a relação de atores e a posição ocupada pelo entrevistado (ocultada sua identificação), na ordem em que se deram as entrevistas, encerradas no número de nove pela pouca diferenciação nos discursos dos entrevistados, momento em que se definiu pela saturação.

Tabela 1. Relação de atores entrevistados

Ator	Posição do entrevistado
Embrapa Instrumentação	Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento
	Pesquisador / Coordenador da Rede Agricultura de Precisão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento	Chefe da Divisão de Agricultura de Precisão / Secretário da Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP	Pesquisador / Presidente da Associação Brasileira de Agricultura de Precisão
AgroTecnologia	Proprietário-gestor / Presidente da Associação Brasileira dos Prestadores de Serviços de Agricultura de Precisão
Máquinas Agrícolas Jacto S/A	Diretor de Relações Institucionais / Presidente da Câmara Setorial de Máquinas e Implementos Agrícolas da ABIMAQ
Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer	Pesquisador da área de projetos de softwares aplicados à agricultura
Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR)	Coordenador do Programa Nacional de Agricultura de Precisão do SENAR
Stara S/A Indústria de Implementos Agrícolas	Supervisor de Engenharia de Software
Instituto Brasileiro de Análises (IBRA)	Diretor-presidente

Fonte: Elaboração própria.

O tratamento dos dados se deu mediante a transcrição dos áudios para textos e em seguida pela leitura criteriosa, linha por linha, do que foi dito pelos entrevistados. Concomitantemente, foram coletados dados por meio de documentos institucionais da Embrapa que davam conta da composição e modelo de atuação da Rede Agricultura de Precisão, políticas, normas e procedimentos que dão suporte a atuação em rede, infraestruturas de interação e os papéis que desempenham cada ator. Foram levantados também dados gerais de propriedade intelectual relacionadas a agricultura de precisão nos portais eletrônicos da World Intellectual Property Organization (WIPO) e do Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI), dados da produção e colaboração científica disponíveis na plataforma Scopus e dados sobre a educação superior na área de Agronomia por meio do portal eletrônico e-Mec, do Ministério da Educação do Brasil, visando obter suporte às falas dos entrevistados.

As redes de interações e subgrupos de troca de conhecimentos e desenvolvimento da inovação foram identificadas por meio dos registros sobre as atividades desenvolvidas pelos atores em parceria, mas também em documentos públicos de organizações de apoio, como as fundações estaduais de amparo a pesquisa, fundações setoriais do agronegócio, fundações privadas e órgãos de fomento federais, além de universidades e empresas públicas e privadas que mantêm registro aberto de projetos desenvolvidos ou em desenvolvimento nos últimos 10 anos.

Esse levantamento teve ponto de partida na Rede Agricultura de Precisão, mas buscou uma visão ampliada das atividades de inovação no campo da agricultura de precisão, sem limitação geográfica ou de atuação. Assim, se intentava identificar parcerias declaradas em projetos de inovação (com membros da rede ou não) ou registros públicos de cooperação firmados entre organizações públicas e privadas voltados para a inovação em agricultura de precisão, por meio da verificação de listas de projetos apoiados em cada organização e seus respectivos atores constituintes, delimitados a projetos que mencionavam explicitamente a agricultura de precisão.

Foi elaborada uma matriz quadrática, alimentada na medida em que uma nova relação era identificada, codificada como uma variável "dummy" (zero para nenhuma relação, um para uma relação existente), posteriormente tratada utilizando os softwares UCINET (versão 6.618) e NetDraw (versão 2.159), observando os principais indicadores da Análise de Redes Sociais: densidade da rede, proximidade entre atores, intermediação entre atores, reciprocidade de relações e graus de entrada e saída (Borgatti, Everett e Freeman, 2002; Hanneman e Riddle, 2005; Borgatti, Everett e Johnson, 2013).

Embora a opção pela coleta em documentos, em vez de se perguntar diretamente aos atores com quais outros atores eles atuam e trocam conhecimento no sentido da inovação, tenha limitado a análise a um número restrito de projetos tornados públicos, essa concentração nos documentos foi importante para manter a discussão mais próxima de uma representação objetiva dos papéis desempenhados na realidade, a partir de registros do que realmente tem acontecido neste campo.

Perguntar diretamente aos atores demandaria a necessidade de se ter acesso “a pessoa certa” dentro de cada organização que pudesse responder com precisão a essa questão, o que nem sempre é possível na pesquisa acadêmica, além de tomar um tempo que o pesquisador não dispunha até a conclusão da pesquisa.

3 Descrição dos Resultados

3.1 Atores

A identificação dos principais atores que contribuem para o desenvolvimento da tecnologia corrobora a variedade potencial de organizações relevantes nesse processo, cada

uma exercendo um papel chave a partir de suas capacidades, que tendem a ser ampliadas na medida em que novos conhecimentos são desenvolvidos.

Não é possível, porém, determinar e nomear a totalidade de atores envolvidos, visto que sua própria organização como um sistema aberto e dinâmico implica na constante entrada e saída de atores a medida que um objetivo é alcançado ou um novo objetivo é definido. Logo, o que se tem a partir da Rede Agricultura de Precisão é uma noção dos principais atores e os papéis que desempenham com base em dados do momento atual, conforme Tabela 2.

Esses atores podem ser divididos em categorias de acordo com a natureza de suas atividades, identificadas como pesquisa, educação, indústria e organizações de apoio, mas também pelo papel que exercem na rede. As universidades, por exemplo, normalmente estão envolvidas com a execução de projetos nas áreas de pesquisa de alunos e professores orientadores de programas de pós-graduação diretamente nos setores produtivos, como a fruticultura na UCS ou grãos na UFLA. Nesta mesma categoria, porém, algumas atuam diretamente no desenvolvimento de ferramentas, como robô agrícola na EESC/USP ou redes de comunicação sem fio entre equipamentos na Poli/USP.

O fato relevante é que essa categoria é a grande responsável pela geração de novos conhecimentos. Esse conhecimento pode ser difundido para a sociedade por meio dessas próprias organizações ou de organizações de educação como o SENAR ou a Fundação Agrisus, responsáveis por levar treinamento profissional a consultores, técnicos e produtores, ou pode ainda ser associado ao conhecimento gerado na indústria, na medida em que estabelece conexões com a universidade para a execução de projetos iniciados em seu P&D.

A respeito disso, o Brasil aparece na quarta posição mundial em número de publicações científicas sobre a temática da agricultura de precisão na base de dados Scopus, atrás apenas de Estados Unidos, China e Alemanha, sendo José Paulo Molin, da ESALQ/USP, o pesquisador brasileiro mais representativo nesse meio. Entre as sete organizações de pesquisa que mais produzem conhecimento nessa área no Brasil, cinco compõem a Rede AP, incluindo a Embrapa.

As coautorias nessas publicações evidenciam relações das universidades com a indústria e com a academia internacional. As publicações da Embrapa, por exemplo, possuem coautoria com escolas da Universidade de São Paulo, com empresas como SLC Agrícola e com organizações internacionais como a University of Nebraska (Lincoln, EUA) e o United States Department of Agriculture. Já a ESALQ/USP possui coautorias com a Embrapa, com a Wageningen University and Research Centre (Holanda) e com Máquinas Agrícolas Jacto S/A, entre outras.

Apesar disso, a reação das instituições de ensino técnico, tecnológico e superior tem sido demasiadamente lenta frente as necessidades do setor. Observa-se uma fraca inserção de currículos e métodos de ensino nas faculdades que privilegiem a formação de estudantes e profissionais nas abordagens interdisciplinares subjacentes à agricultura de precisão, o que foi mencionado nas entrevistas como fator desencadeador de um problema crônico de qualificação da mão de obra.

Foi verificada uma amostra aleatória de 65 cursos de graduação em Agronomia, dentre o total de 349 ofertados por instituições de ensino superior públicas e privadas, revelou que a agricultura de precisão existe como disciplina em 21 deles, sendo 11 como disciplina optativa. Além disso, os ementários dessas disciplinas revelam que o foco na variabilidade espacial só existe em sete dos projetos pedagógicos que contemplam a disciplina, os demais abordam a solução tecnológica e não o problema. Do total analisado, 31 não apresenta nenhum conteúdo que mencione ou faça referência a agricultura de precisão.

Tabela 2. Atores e instituições na Rede Agricultura de Precisão

Políticas e Instituições					
Políticas Públicas (Pesquisa, inovação, transição)	Instituições (Leis, padrões, normas, éticas, procedimentos, comportamentos)				
<p>Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI/MCTIC); Agenda Estratégica 2014-2030 do setor de Agricultura de Precisão (MAPA); Plano ABC; Política Nacional de iLPF; Programa de Modernização da Frota de Tratores Agrícolas e Implementos Associados e Colheitadeiras (Moderfrota); Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica na Produção Agropecuária (InovAgro); Fundo Setorial CT-Agro.</p>	<p>Lei de Inovação (10.973/2004); Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação (13.243/2016); Lei do Bem (11.196/2005); Lei de Informática (8.248/1991); Lei da Propriedade Intelectual (Lei 9.279/1996); Lei de Proteção de Dados Pessoais (13.709/2018); ISO 11783; ISO 1185; ISO 7638; Norma Regulamentadora (NR) 31.</p>				
Pesquisa (Institutos de pesquisa, universidades, pesquisa privada)	Indústria				
<p>Embrapa; Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE); Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI); Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP); Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP); Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP); Instituto Agronômico de Campinas (IAC); Escola Politécnica (Poli/USP); Universidade de Caxias do Sul (UCS); Universidade Federal de Lavras (UFLA); Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM/UFPel); Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF).</p>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <th style="text-align: center;">Fornecedores (Fabricantes de máquinas, fornecedores de matérias-primas ou de subsistemas)</th> <th style="text-align: center;">Demandantes (Unidades piloto, consultores, cooperativas, usuário final)</th> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <p>AGCO; Agrosystem; Auteq; Baldan; CNH Industrial; Máquinas Agrícolas Jacto S/A; John Deere Brasil; Kuhn do Brasil; LOHR Sistemas Eletrônicos; Marchesan-Tatu S/A; Original Indústria Eletrônica; Somafertil; Stara S/A; Verion Agricultura.</p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>Cooperativa Agrária Agroindustrial; APagri; Campo Agricultura e Meio Ambiente; Cotrijal Cooperativa Agrária e Industrial; Comigo Cooperativa Agroindustrial; Enalta Inovações Tecnológicas; Florestalle; Citrusuco; SLC Agrícola; Batistella Florestal; Vinícola Miolo; Schio Agropecuária; Terrasul Vinhos Finos.</p> </td> </tr> </table>	Fornecedores (Fabricantes de máquinas, fornecedores de matérias-primas ou de subsistemas)	Demandantes (Unidades piloto, consultores, cooperativas, usuário final)	<p>AGCO; Agrosystem; Auteq; Baldan; CNH Industrial; Máquinas Agrícolas Jacto S/A; John Deere Brasil; Kuhn do Brasil; LOHR Sistemas Eletrônicos; Marchesan-Tatu S/A; Original Indústria Eletrônica; Somafertil; Stara S/A; Verion Agricultura.</p>	<p>Cooperativa Agrária Agroindustrial; APagri; Campo Agricultura e Meio Ambiente; Cotrijal Cooperativa Agrária e Industrial; Comigo Cooperativa Agroindustrial; Enalta Inovações Tecnológicas; Florestalle; Citrusuco; SLC Agrícola; Batistella Florestal; Vinícola Miolo; Schio Agropecuária; Terrasul Vinhos Finos.</p>
Fornecedores (Fabricantes de máquinas, fornecedores de matérias-primas ou de subsistemas)	Demandantes (Unidades piloto, consultores, cooperativas, usuário final)				
<p>AGCO; Agrosystem; Auteq; Baldan; CNH Industrial; Máquinas Agrícolas Jacto S/A; John Deere Brasil; Kuhn do Brasil; LOHR Sistemas Eletrônicos; Marchesan-Tatu S/A; Original Indústria Eletrônica; Somafertil; Stara S/A; Verion Agricultura.</p>	<p>Cooperativa Agrária Agroindustrial; APagri; Campo Agricultura e Meio Ambiente; Cotrijal Cooperativa Agrária e Industrial; Comigo Cooperativa Agroindustrial; Enalta Inovações Tecnológicas; Florestalle; Citrusuco; SLC Agrícola; Batistella Florestal; Vinícola Miolo; Schio Agropecuária; Terrasul Vinhos Finos.</p>				
Educação (Ensino superior, treinamento profissional)					
<p>Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR); Fundação Agrisus.</p>					
Organizações de apoio (Bancos, capital de risco, associações setoriais, entidades de classe, empresas de suporte a inovação, fundações de apoio a pesquisa, órgãos governamentais)					
<p>Association of Equipment Manufactures (AEM-USA); Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri); Fundação Agrisus; Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE); Confederação Nacional da Agricultura (CNA); Instituto CNA.</p>					

Fonte: Elaboração própria

Os dados do Ministério da Educação revelam ainda que existe apenas um curso superior no país voltado exclusivamente para a área de agricultura de precisão, ofertado pela FATEC Pompéia, em São Paulo, como Curso Superior de Tecnologia em Mecanização em Agricultura de Precisão, mas sua matriz curricular foca no segmento de máquinas e tecnologias aplicadas e não na gestão de variabilidade. Além disso, consta nos registros do Catálogo Nacional de Cursos Técnicos, documento que embasa a oferta de cursos pelas instituições públicas federais, uma solicitação do MAPA para inclusão do Curso Técnico em Agricultura de Precisão, negada pelo Ministério da Educação, indicando a falta de sensibilidade para com o tema na articulação interministerial.

Sobre a indústria, é possível estabelecer uma diferenciação nessa categoria entre um grupo com papel demandante de tecnologia e outro com papel fornecedor. Parcela significativa de projetos executados pelas organizações de pesquisa e pela própria indústria fornecedora têm origem nas necessidades da indústria demandante, formada por cooperativas de produtores, consultores e empresas com grande potencial de aplicação da tecnologia que acabam cedendo espaço à experimentação, como são os casos de SLC Agrícola e Batistella Florestal.

Já a indústria fornecedora, composta por grandes corporações de capital estrangeiro e nacional do segmento de máquinas e implementos, é assim chamada por ser a categoria que faz com que os ativos de inovação sejam consolidados em produtos e cheguem até o campo por meio de sua rede de distribuição. Este grupo possui grande capilaridade de investimento próprio em P&D, a exemplo da Stara S/A (que tem 170 dos seus 2100 empregados nessa função) ou da Máquinas Agrícolas Jacto S/A (que destina 5% do seu faturamento para essas atividades), mas mantém na relação com as organizações de pesquisa e com a indústria demandante a base de seus programas de inovação, acessando conhecimento disponível naquelas para a resolução de problemas existentes nestas. Compõe esta categoria também pequenas e médias empresas de tecnologia voltadas a esse segmento, normalmente fornecedores de componentes eletrônicos ou subsistemas a serem implantados nos maquinários, mas também criadores de avanços tecnológicos em novos sistemas e novos componentes a serem utilizados.

Apesar disso, são poucos os registros de patentes envolvendo tecnologias de agricultura de precisão no Brasil. Na base de dados da World Intellectual Property Organization (WIPO) constam 43 patentes com a designação de “agricultura de precisão” no título ou no resumo descritivo registradas no país. Já na base do Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI) constam apenas 24 registros com essa designação. Todavia, como a agricultura de precisão é um termo que agrega diversas tecnologias de distintas áreas, podem haver registros de patentes dessas tecnologias sem que se tenha feito menção ao termo. Entre os principais depositantes nas duas bases constam a indústria de máquinas agrícolas Jacto S/A (8), a FAPEMIG (3), a Unicamp (3) e a Indústria de Implementos Vence Tudo (3).

Todas as categorias têm o suporte de organizações de apoio que financiam seus projetos, como as fundações de amparo a pesquisa a exemplo da FACEPE e Fundação Agrisus; estabelecem procedimentos e regulam atividades, como a Association of Equipment Manufactures (AEM-USA); ou atuam como extensão de organizações junto a áreas onde estas não possuem muita proximidade, como a Epagri.

Extrapolando esta observação para o setor de uma forma mais abrangente a partir de sua trajetória tecnológica e das entrevistas realizadas, é possível dizer que a indústria assumiu um papel central no desenvolvimento de máquinas agrícolas com potencial eletrônico, provocando, no decorrer dos anos, o esvaziamento do tema na academia e na pesquisa pública e privada de pequenas empresas com vocação tecnológica, atualmente denominadas de ‘agrotechs’, que passaram a se voltar, respectivamente para os estudos da variabilidade espacial nas lavouras e para os elementos eletrônicos relacionados a automação, como sensores, softwares, IoT, big data etc., porém associadas a essa grande indústria. Assim, as consultorias em agricultura de precisão se voltaram automaticamente para o georreferenciamento, mapeamento e análise de

solo, fazendo o trabalho de campo a partir das tecnologias desenvolvidas. Claro que esta é uma visão geral, já que não existe exclusividade de nenhum dos segmentos de atores em nenhuma das áreas.

Essas organizações atuam sob um aparato institucional não divergente daquele que define a dinâmica das atividades de inovação de modo geral, acrescida de algumas particularidades de padronização específicas aplicadas ao setor. Esta visão microinstitucional é apresentada na perspectiva dos atores entrevistados.

3.2 Instituições

O aparato institucional composto por políticas e instituições formais que estão em vigor e que afetam o desenvolvimento da tecnologia de agricultura de precisão tratam, no geral, de programas governamentais destinados a induzir o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias à produção agrícola, programas de financiamento, leis gerais que definem regras sobre incentivos fiscais e a participação de empresas e organizações de pesquisa em projetos de inovação e padrões a serem seguidos pelas tecnologias desenvolvidas, apresentadas também na Tabela 2.

Entre as políticas públicas, as entrevistas destacaram aquelas que facilitam a aquisição da tecnologia pelo usuário final, como o Moderfrota e o InovAgro, programas de financiamento para a aquisição de equipamentos como tratores e colheitadeiras e para a incorporação de inovações tecnológicas nas propriedades rurais, respectivamente, com boas condições de juros e prazo de pagamento, de acordo com os entrevistados. Essas políticas facilitam a difusão da inovação na medida em que dão condições de longo prazo para sua aquisição por parte dos produtores, visto que os custos de implantação da agricultura de precisão são apontados também pelos entrevistados como um grande entrave para a sua aceitação.

Por outro lado, o desenvolvimento de ativos de inovação encontra respaldo institucional no marco legal da inovação, representado aqui pelo Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação, Lei de Inovação e Lei do Bem, que tratam, respectivamente, das normas para o desenvolvimento de projetos de inovação em parceria entre organizações de pesquisa e empresas privadas e das possibilidades de captação de recursos para esses projetos de inovação. Um exemplo disso foi o desenvolvimento do AgriBot, uma plataforma robótica modular e autônoma para aquisição de dados em agricultura de precisão, desenvolvida em parceria entre Embrapa Instrumentação, Escola de Engenharia de São Carlos/USP e Máquinas Agrícolas Jacto, financiado pela FINEP por meio do Fundo Setorial CT-Agro.

Os entrevistados relatam ainda que esse respaldo é ratificado por uma legislação tida como auxiliar àquela pertinente a inovação, que abrange a Lei de Informática, a Lei da Propriedade Intelectual e a mais recente Lei de Proteção de Dados Pessoais, e por procedimentos que definem padrões a serem seguidos para os produtos desenvolvidos, como as normas ISO 11783, 1185 e 7638.

No caso destas, a importância de sua observação vai ao encontro de uma demanda há muito existente no setor referente a interface entre sensores e equipamentos eletrônicos e as máquinas agrícolas com as quais operam, visto que, ainda hoje, muitos destes ativos não são compatíveis entre si. Já a legislação dita auxiliar corrobora também com incentivos fiscais para a inovação tecnológica, mas, principalmente, para a existência de um ambiente juridicamente estável em relação aos direitos de propriedade dos ativos criados e dos dados utilizados nas pesquisas.

Esses ativos de inovação são desenvolvidos visando atender às necessidades do mercado, identificadas a partir dos diferentes atores que dele participam, porém, alguns programas governamentais criam um ambiente institucional de indução ao desenvolvimento e aplicação dessas novas tecnologias ao unificarem necessidades de determinadas áreas específicas com as quais a agricultura de precisão pode atuar de forma transversal. São os casos, por exemplo, do

Plano ABC, voltado para a redução da emissão de carbono na agricultura, e da Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), voltada para difundir a combinação de diferentes sistemas produtivos em uma mesma área como meio de diminuir impactos e elevar os resultados produtivos.

São mencionadas ainda como políticas que influenciam a inovação em agricultura de precisão a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI/MCTIC), na medida em que propõe direcionamentos a serem seguidos no caminho do desenvolvimento de inovações aplicadas à produção agrícola; e a Agenda Estratégica 2014-2030 do setor de Agricultura de Precisão, por estabelecer metas e ações a serem executadas pelo MAPA, para o desenvolvimento e utilização da agricultura de precisão no Brasil.

Todas estas políticas e instituições desempenham um papel importante no desenvolvimento, difusão e implementação da agricultura de precisão ao possibilitar que os diferentes atores interajam uns com os outros em redes que desenvolvem e/ou difundem a tecnologia. No entanto, os entrevistados concordam que faltam políticas mais específicas para o campo da agricultura de precisão, desde aquelas que fomentam o desenvolvimento e difusão da tecnologia, até a articulação entre políticas de educação, economia e/ou trabalho visando o atendimento das necessidades desta área.

3.3 Redes

A observação das interações de atores na troca de conhecimentos e desenvolvimento da inovação permitiu a identificação dos atores principais e dos subgrupos formados a partir das relações estabelecidas para essas atividades. Isso foi possível pela elaboração de uma matriz quadrática codificada como uma variável "dummy" (zero para nenhuma relação, um para uma relação existente), a partir dos registros públicos de parcerias das atividades desenvolvidas por diferentes atores, apresentadas em formato de rede na Figura 2.

Os registros de atividades da Rede AP sugerem uma configuração de rede baseada nos projetos técnicos em que cada ator participa diretamente, com maior densidade e proximidade entre os atores dentro de cada projeto, formando grupos que, apesar de também se comunicarem diretamente uns com os outros, têm a Embrapa como principal "ator-ponte" dessa comunicação.

Além dos grandes grupos visíveis na representação da rede, a análise de indicadores atesta a existência de 15 subgrupos nos quais os atores estão mais próximos e intensamente ligados uns aos outros do que aos outros membros da rede, conforme Figura 1.

Figura 1. Subgrupos de rede existentes na Rede AP

15 cliques found.

- 1: Embrapa Batistella Florestal Agrisus FACEPE FCA-UNESP Florestalle IAC Miolo Schio Terra Sul UCS UFPel UFRGS
- 2: Embrapa Agrária Agrisus CNA COMIGO COTRIJAL Epagri Citrusuco Instituto CNA SENAR
- 3: Embrapa Agrisus ESALQ-USP
- 4: Embrapa Agrisus UFLA
- 5: Embrapa AEM (USA) AGCO Agrosystem Auteq Baldan CNH CTI Renato Archer EESC-USP Enalta ESALQ-USP Jacto John Deere Kuhn Lohr Marchesan-Tatu Original Indústria POLI-USP Stara Verion
- 6: Embrapa AGCO Agrosystem COTRIJAL Stara
- 7: Embrapa AGCO Somafértil
- 8: Embrapa Agrosystem COTRIJAL Citrusuco
- 9: Embrapa APagri Campo SLC Agrícola Somafértil UFLA UFSM Univasf
- 10: Embrapa APagri ESALQ-USP
- 11: Embrapa SLC Agrícola UFPel
- 12: Embrapa COTRIJAL Stara UFSM
- 13: Embrapa Stara UFRGS
- 14: Embrapa SENAR Univasf
- 15: Embrapa FACEPE Univasf

Fonte: Elaboração própria

O maior deles é o subgrupo 5, composto por 20 dos 47 atores, e todos os outros subgrupos menores compartilham alguma sobreposição (alguns atores são membros de ambos os grupos) com alguma parte desse grupo, confirmando a Embrapa como o ator principal, presente em

todos os 15 subgrupos, com maior adjacência de Fundação Agrisus, Cotrijal e Stara, com quem compartilha 4 sobreposições. Isso demonstra um certo padrão de funcionamento da rede, cujos subgrupos envolvem sempre organizações de diferentes categorias (pesquisa, indústria e organizações de apoio), privilegiando a diversidade de conhecimentos e experiências.

Os dados mostram ainda que nenhum ator está completamente isolado de nenhum dos subgrupos, indicando um alto grau de participação comum nos processos dos grupos. Além disso, é possível observar até que ponto os subgrupos se sobrepõem, medidos pelo número de membros em comum, sendo os subgrupos 5 e 6 mais próximos entre si, enquanto se confirma a existência de três grandes grupos visíveis na rede, sendo o primeiro formado pelos subgrupos 1, 3, 4, e 11; o segundo pelos subgrupos 2, 8, 6, 5, 12 e 13; e o terceiro formado pelos subgrupos 7, 9, 10, 14 e 15.

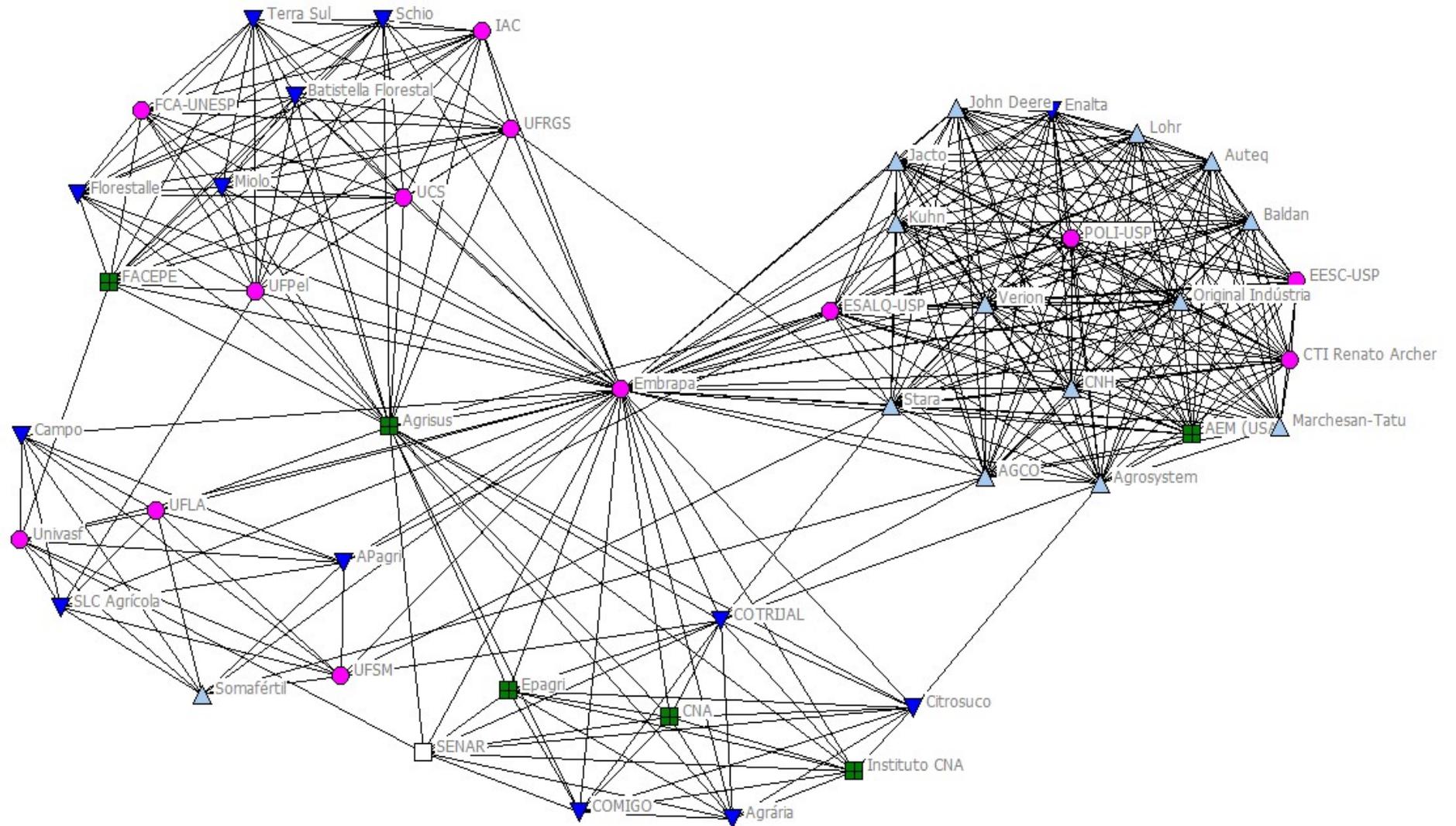
A intensidade das conexões na rede foi estimada em 30,6%, resultado da divisão entre o número de relações existentes (662) e o total de ligações possíveis (2162), demonstrando a densidade estimada de 0,306 ($p=0,0002$). Ou seja, a probabilidade de que qualquer relação esteja presente entre dois atores aleatórios é de 30,6% de chance, o que pode ser considerado satisfatório para o campo de estudo da inovação na rede analisada, dado o forte papel de “ator- ponte” já identificado para a Embrapa, o que em tese a colocaria como uma ligação quase que obrigatória.

A densidade de uma rede pode variar de zero a um, sendo zero quando não existem laços presentes e um quando todas as organizações têm a tendência de querer distribuir informações diretamente para todos os outros em seu campo. Qualquer dos extremos seria impraticável para os objetivos de geração de inovação e estaria em desacordo com a forma de atuação da rede pela formação de grupos de atores com capacidades complementares em áreas definidas, onde as densidades tendem a ser maiores do que na rede completa, sendo 64,2% no primeiro grupo, 50,4% no segundo e 47,7% no terceiro grupo.

Os dados de centralidade evidenciam um índice de centralização geral da rede de 38,99%, sendo de 70,88% para as saídas existentes na rede, tendo a Embrapa como principal fornecedora, enquanto as entradas apresentam centralização de 15,35%, tendo Stara, ESALQ/USP, AGCO e Agrisus como principais receptoras. Esses dados evidenciam também um certo padrão de funcionamento da rede com alguma equivalência entre os níveis de saída e de entrada em cada ator, exceto para Embrapa, onde os níveis de saída são 3,28 vezes maiores que os de entrada. Apesar disso, os graus de proximidade e reciprocidade variam apenas de 0,414 a 0,590 e 0,482 a 0,728, respectivamente, indicando que todos os atores se encontram relativamente bem posicionados na rede.

Apesar das ligações evidentes, é perceptível um certo distanciamento entre os atores que compõem a categoria da indústria fornecedora e os que compõem a indústria demandante, com uma maior proximidade entre esses dois grupos e as organizações de pesquisa, indicando uma ligação mais forte entre indústria e universidade, que por vezes age como ponte entre demandantes e fornecedores, principalmente Embrapa, UFRGS, UFPel, ESALQ/USP e UFSM.

Figura 2. Configuração “Spring-embedding” das trocas existentes na Rede AP



Fonte: Elaboração própria
Legenda: ▲ Indústria fornecedora; ▼ Indústria demandante; ● Pesquisa; □ Educação; ■ Organizações de apoio.

3.4 Fatores tecnológicos

Os fatores tecnológicos, apontados em unanimidade pelos entrevistados como sendo as principais infraestruturas em que os esforços de desenvolvimento da inovação em agricultura de precisão se integram, versam principalmente sobre as redes em que estão inseridos os atores mais relevantes, os eventos técnicos específicos da área e as reuniões setoriais, a exemplo daquelas realizadas pelas associações da área e pela Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão, onde discutem experiências e caminhos a serem seguidos.

Além da Rede Agricultura de Precisão, cujo funcionamento já foi detalhado, outras infraestruturas contribuem sobremaneira para essa integralização de esforços, ainda que muitas das organizações que as compõem não tenham aparecido nas redes elaboradas até aqui. São exemplos, além do já citado Projeto Aquarius, o Centro de Inovação no Agronegócio (CIAg), mantido pela Fundação Shunji Nishimiura; o Centro de Expertise em Agricultura Tropical (CEAT), mantido pela Bayer; o AgTech Garage, hub de inovação que conecta grandes empresas e startups da área, ligado a ESALQ/USP e a iniciativa AgTechValley – Vale do Piracicaba; dentre outras iniciativas que visam unificar esforços para o avanço da tecnologia.

Entre os eventos técnicos da área, o Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, realizado a cada dois anos, é citado como a principal infraestrutura de integração entre organizações de pesquisa e indústria (fornecedora e demandante). A última edição do congresso, realizada em outubro de 2018 em Curitiba, reuniu cerca de 800 participantes entre pesquisadores, profissionais de assistência técnica, consultores, professores, estudantes, empresas e produtores rurais, contemplando a realização de diferentes palestras, plenárias sobre desafios da área no Brasil, painéis setoriais sobre a atuação de cada categoria de atores, apresentação de trabalhos científicos e espaço para exposição de produtos e serviços. Esse ambiente, segundo alguns participantes, cria um cenário propício para a aproximação entre profissionais e usuários que trabalham com Agricultura de Precisão no Brasil e no mundo, ensejando, muitas vezes, parcerias concretizadas em projetos de PD&I desenvolvidos conjuntamente.

Essas infraestruturas, ou fatores tecnológicos, fecham o quadro de análise da estrutura das atividades de inovação em agricultura de precisão brasileira, em que se verificou os papéis desempenhados pelos principais atores, identificados como sendo ESALQ/USP e Embrapa como organizações de pesquisa indutoras do desenvolvimento dessa tecnologia e John Deere, AGCO, Jacto e Stara como organizações industriais com forte capital de investimento para esse avanço, refletindo em uma estrutura centralizada, com interações restritas a um grupo dominante, mantendo a margem do processo de desenvolvimento da tecnologia o seu usuário final.

4 Conclusões

Em princípio, o quadro teórico de sistemas de inovação, como visto em Watkins et al. (2015), considera a ação coletiva de governos, universidades, atividades empresariais, organizações intermediárias, instituições financeiras e sociedade civil, sob um determinado aparato institucional, como preponderante para a geração e difusão de uma inovação em uma economia nacional.

No entanto, apesar do crescimento econômico verificado em torno do agronegócio e mesmo dos resultados da aplicação da agricultura de precisão, os dados das redes mostram que, embora haja interações importantes ocorrendo, estas têm estado restritas a um grupo dominante de organizações de pesquisa e industriais, sendo necessário alguma cautela e reflexão quanto a capacidade desse sistema em gerar desenvolvimento econômico endógeno, para além de crescimento econômico localizado, como defendido pelos teóricos da economia evolucionária (Nelson e Winter, 1982).

Parte desta cautela se deve a fraca atuação dos órgãos governamentais na orientação estratégica de pesquisa e consecução de políticas que favoreçam o desenvolvimento da tecnologia, o que tem sido um fator processual absolutamente negativo para o sistema, haja vista que caberia ao Estado, por exemplo, a adequação do sistema de educação para as necessidades do setor, de acordo com o National Research Council (1997), o que, como visto, não tem sido feito, gerando incerteza sobre o real interesse do governo em fomentar a tecnologia como definido na ENCTI (MCTIC, 2016) e contribuindo para o agravamento de falhas já existentes no sistema.

Além disso, o conceito de sistema de inovação tecnológica defendido por Carlsson e Stankiewicz (1991) pressupõe uma infraestrutura institucional particular sobre uma rede dinâmica de agentes interagindo nas áreas econômica e industrial, o que não pode ser afirmado a partir deste estudo. Embora tenha sido verificada a existência de um sistema complexo de interações retratado em rede, ainda que explorado neste estudo apenas superficialmente, não se verifica um aparato institucional tão específico quanto demandaria essas atividades para se configurar num sistema. Embora os atores e a infraestrutura existentes componham os elementos necessários para essa caracterização, as políticas e instituições que atuam sobre essas atividades são gerais do ambiente de inovação brasileiro.

Tudo isso demonstra que existe uma dissonância entre estrutura e processos em relação as atividades de inovação em agricultura de precisão. Isso porque embora existam atores relevantes e bem posicionados em um ambiente sistêmico, o funcionamento das atividades tem estado aquém do esperado para o setor, podendo gerar efeitos negativos de enfraquecimento sobre a agenda proposta em direção ao alcance do ODS 2, especialmente no que se refere a meta de garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo.

Referências

- Adenle, A. A., Azadi, H., & Arbiol, J. (2015). Global assessment of technological innovation for climate change adaptation and mitigation in developing world. *Journal of Environmental Management*, 161, pp. 261-275. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.040>
- Aubert, B. A., Schroeder, A., & Grimaudo, J. (2012). IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decision Support Systems*, 54(1), pp. 510-520. doi:<https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.07.002>
- Bernardi, A. C., Naime, J. M., Resende, A. V., Bassoi, L. H., & Inamasu, R. Y. (2014). *Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília: Embrapa.
- Borgatti, S. P. (2002). Netdraw Network Visualization. *Analytic Technologies*. MA: Harvard.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., & Johnson, J. C. (2013). *Analyzing Social Network*. Sage Publications.
- Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics*, 1(2), pp. 93-118.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations. (2013). *How to feed the world in 2050*. ONU.
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. São Paulo: Atlas.
- Global Innovation Index. (2017). *Innovation Feeding the World*. Cornell Insead Wipo.
- Hanneman, R. A., & Riddle, M. (2005). *Introduction to Social Network Methods*. Riverside: University of California, Riverside.

Hekkert, M. P., Negro, S. O., Heimeriks, G., & Harmsen, R. (2011). *Technological Innovation System analysis: a manual for analysts*. Utrecht University.

Hekkert, M. P., Suurs, R. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting & Social Change*, 74(4), pp. 413-432.

Inamasu, R. Y., & Bernardi, A. C. (2014). Agricultura de Precisão. Em A. C. Bernardi, *Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar* (pp. 21-33). Brasília: Embrapa.

MCTIC. (2016). *Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação – ENCTI 2016-2022*. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações.

National Research Council. (1997). *Precision Agriculture in the 21st Century: geospatial and information technologies in crop management*. Washington, DC: The National Academies Press.

Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge: Harvard University Press.

Resende, A. V. (2010). Agricultura de precisão no Brasil: avanços, dificuldades e impactos no manejo e conservação do solo, segurança alimentar e sustentabilidade. *XVIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*. Teresina: Anais...

United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. General Assembly. Acesso em 3 de Maio de 2017, disponível em <https://sustainabledevelopment.un.org>

Watkins, A., Papaioannou, T., Mugwagwa, J., & Kale, D. (2015). National innovation systems and the intermediary role of industry associations in building institutional capacities for innovation in developing countries: A critical review of the literature. *Research Policy*, 44(8), pp. 1407-1418.