

Análise do Sistema de Inovação Tecnológica em Agricultura de Precisão no Brasil

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)

Análise do Sistema de Inovação Tecnológica em Agricultura de Precisão no Brasil

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.

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 do Brasil (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.

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 associado à produção de alimentos, como biotecnologia, bioinformática, nanotecnologia, modelagem, simulação e automação, visando ao aumento da produtividade, à 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.

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; STANKIEWICZ, 1991; HEKKERT et al., 2007; HEKKERT et al., 2011) atrelado às atividades de inovação em agricultura de precisão no Brasil.

No entanto, o processo inovativo relacionado ao desenvolvimento de novas tecnologias é bastante complexo e exige grande esforço das organizações, públicas e privadas, na implementação de infraestruturas de pesquisa, desenvolvimento e inovação que favoreçam o estabelecimento de relações para a troca de conhecimentos necessários à geração e difusão de inovações (SALERNO; KUBOTA, 2008).

Dadas as estruturas e relacionamentos que estão postos, cabe refletir sobre como têm funcionado as atividades de inovação tecnológica nesse campo diante dos desafios que se apresentam para a produção agrícola brasileira. Assim, a pesquisa teve objetivo de investigar

o funcionamento das atividades de inovação em agricultura de precisão no Brasil, sob a ótica do sistema de inovação tecnológica, analisando cada função e as interações entre as funções.

O estudo dessas estruturas e padrões de funcionamento pode contribuir para a atuação mais eficiente de formuladores de políticas públicas e atores públicos e privados que atuam ou desejam atuar nesse campo, tanto no Brasil como em outros países com características semelhantes, a partir do exemplo brasileiro.

Além disso, um grande passo para o avanço do desenvolvimento tecnológico é o reconhecimento das fragilidades e potencialidades que permeiam seu ambiente no momento atual, com vistas à implementação de políticas mais assertivas na direção do futuro da tecnologia, ao que se espera que este estudo possa contribuir também neste sentido.

2 As Funções dos Sistemas de Inovação Tecnológica

Carlsson e Stankiewicz (1991, p.94) definem um sistema de inovação tecnológica como “uma rede dinâmica de agentes interagindo nas áreas econômica/industrial, sob uma infraestrutura institucional particular e envolvidos na geração, difusão e utilização de uma tecnologia específica”. Dentro dos quadros teóricos de sistemas de inovação, a concepção de sistema tecnológico é tida por alguns autores (CARLSSON; STANKIEWICZ, 1991; CARLSSON et al., 2002; JACOBSSON; BERGEK, 2004; HEKKERT et al., 2007; HEKKERT; NEGRO, 2009; HEKKERT et al., 2011; SANDÉN; HILLMAN, 2011) como mais adequada para explicar mudanças tecnológicas provocadas pelos processos de inovação, uma vez que sua análise se dá em um nível micro, menos complexo.

Os sistemas de inovação tecnológica, ou simplesmente sistemas tecnológicos, foram propostos por Carlsson e Stankiewicz (1991) como alternativa a delimitação geográfica presente na definição de sistemas nacionais de inovação. Assim, a definição de sistema tecnológico cunhada pelos autores tem como premissa que seus limites podem ou não coincidir com as fronteiras nacionais, como também podem variar de uma área tecnoindustrial para outra, a depender dos agentes econômicos que deles participem.

Dessa forma, um sistema tecnológico pode ser definido como o conjunto de atores, redes e instituições (leis e regras) que, ao interagirem uns com os outros, influenciam a velocidade e a direção da mudança tecnológica em uma área tecnológica específica (HEKKERT et al., 2007; BERGEK et al., 2008; MARKARD; TRUFFER, 2008).

De acordo com Wieczorek et al. (2015), esse conjunto de atores, redes e instituições formam os componentes estruturais dos sistemas tecnológicos, seguindo as estruturas mais gerais dos sistemas de inovação. Um aspecto inovador e essencial da perspectiva do sistema tecnológico se refere à sua atenção para o desempenho funcional dos componentes do sistema, conceitualizado por meio de um conjunto de sete funções apresentadas resumidamente no Tabela 1, definidas em dois trabalhos programáticos de Hekkert et al. (2007) e Bergek et al. (2008).

Tabela 1. Funções dos sistemas de inovação tecnológica

Funções	Definição
F1. Atividades empreendedoras	As atividades realizadas pelos empresários integrantes do sistema, incluindo experiências comerciais, demonstração de P&D e abertura para entrada de novas empresas.
F2. Desenvolvimento de conhecimento	A descoberta básica de pesquisa e tecnologia criada por investimentos e atividades de P&D, pré-requisitos para inovações.
F3. Troca de conhecimento	O processo que o conhecimento e a tecnologia são transferidos de uma rede ou organização para outras redes ou organizações.
F4. Orientação da pesquisa	O direcionamento necessário para facilitar a convergência no desenvolvimento tecnológico, envolvendo metas políticas e expectativas sobre opções tecnológicas.
F5. Formação de mercado	A formação de um novo mercado ou nicho de mercado, criando vantagem competitiva temporária através de regimes fiscais favoráveis, quotas de consumo ou outras atividades de políticas públicas.
F6. Mobilização de recursos	O investimento em capital humano, capital financeiro e de infraestrutura, que foram incorporados pelo governo, capital de risco ou empresas financeiras.
F7. Criação de legitimidade	Governo, coalizão jurídica e apoio público à tecnologia para combater a resistência de atores estabelecidos, bem como a disponibilidade das empresas em apoiar a maturação dos projetos desenvolvidos.

Fonte: Adaptado de Van Alphen et al. (2010) e Lai et al. (2012).

As funções do sistema são uma série de processos ou atividades consideradas pelos autores como de extrema importância para o bom funcionamento de um sistema de inovação (HEKKERT et al., 2007). O mapeamento desses processos permite analisar a dinâmica de um sistema de inovação tecnológica, com orientações práticas do que está contribuindo para o avanço da tecnologia inovadora e o que está retardando sua evolução (BERGEK et al., 2008).

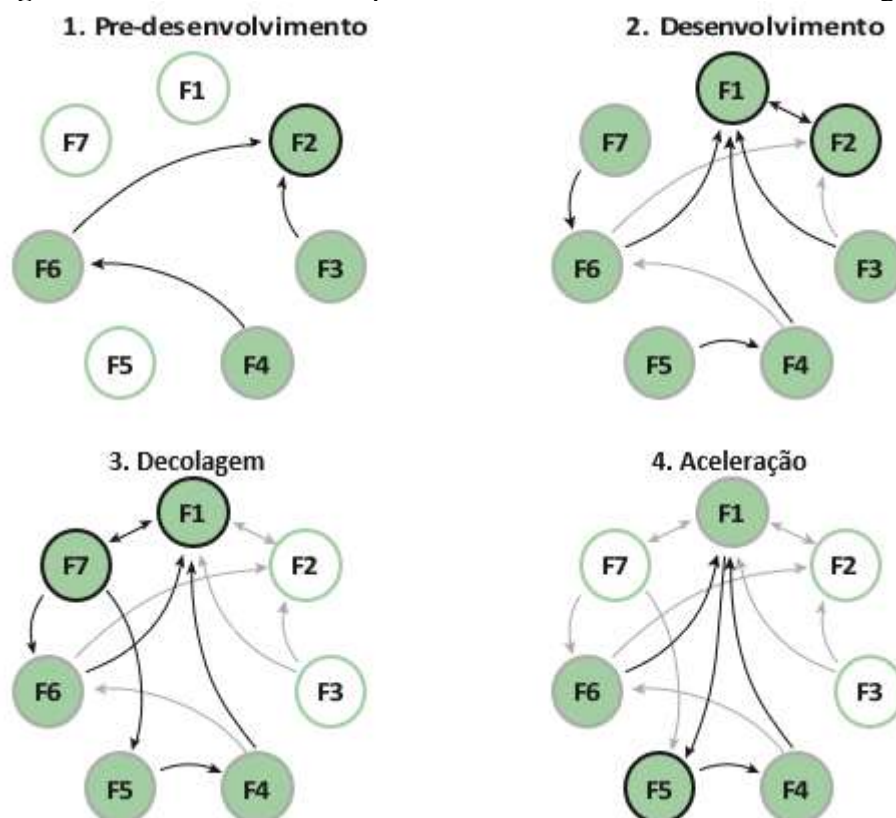
A principal contribuição dessa abordagem de análise gira em torno da noção de causalidade cumulativa entre as funções do sistema tecnológico, que se reforçam mutuamente ao longo do tempo. Porém, do mesmo modo que se complementam, um sistema de inovação pode entrar em colapso devido à ausência de uma única função desse sistema (SUURS et al., 2010; LAI et al., 2012).

Essa complementação estabelece certos padrões funcionais de acordo com a fase de desenvolvimento da tecnologia em análise. Dessa forma, a importância atribuída às funções será diferente em cada fase, dada a necessidade do sistema naquele momento para o desenvolvimento da tecnologia (HEKKERT et al., 2011). Um esquema dessa importância relativa pode ser visualizado na Figura 1.

As setas pretas são as relações que ocorrem na fase atual, ao passo que as setas acinzentadas representam as relações que ocorreram em fases anteriores e ainda estão ocorrendo para melhorar o desenvolvimento da tecnologia, visto que o conhecimento é acumulado em cada fase. As funções com círculos em negrito representam a função mais importante para aquela fase.

Por exemplo, na fase de pré-desenvolvimento, caracterizada principalmente pelo desenvolvimento de protótipos testados de forma experimental em condições controladas, o desenvolvimento de conhecimento é a função mais importante, influenciada de maneira crítica pelas funções de troca de conhecimento e mobilização de recursos que dão suporte a função principal, sendo a orientação da pesquisa uma função crítica para a mobilização de recursos.

Figura 1. Padrões funcionais por fase de desenvolvimento da tecnologia



Fonte: Hekkert et al. (2011).

Já na fase de desenvolvimento, espera-se que a atividade empreendedora seja a função mais importante no sistema, já que as primeiras experiências já foram realizadas, que mostrará se a inovação também funciona na prática, o que demanda que a função desenvolvimento de conhecimento permaneça ativa. No entanto, todas as outras funções do sistema podem influenciar positivamente ou negativamente essa função, portanto, todas podem ser críticas nesta fase e precisarão ser cuidadosamente analisadas (HEKKERT et al., 2011).

Algumas das principais críticas a essa perspectiva concentra-se no fato de que ela foi concebida e aplicada em países desenvolvidos e que países em desenvolvimento possuem, em geral, um baixo nível de desenvolvimento das diversas funções do sistema tecnológico. Além disso, argumenta-se que a fronteira do sistema tecnológico em si mesmo desconsidera fatores exógenos que podem influenciar o desempenho das funções, sobretudo nos países em desenvolvimento (EDSAND, 2017).

Apesar disso, estudos nessa linha de abordagem obtiveram êxito em países como Etiópia (KEBEDE; MITSUFUJI, 2017) e China (CHEN; ZHAO, 2012; LAI et al., 2012), sugerindo que a utilização de abordagens multiníveis, considerando também os fatos históricos relacionados a tecnologia e o contexto institucional em que os atores estão inseridos, pode minimizar essa aparente limitação da abordagem (BERGEK et al., 2008; HEKKERT et al., 2011).

Nas pesquisas em agricultura de precisão, a abordagem de sistemas tecnológicos foi recomendada por Eastwood, Chapman e Paine (2012) para melhor visualização dos atores envolvidos no processo de inovação. Posteriormente, foi utilizada por Eastwood, Trotter e Scott (2013) ao abordar os desafios atuais para a agricultura de precisão bem-sucedida na prática dos setores leiteiro, bovino e ovino da Austrália, e por Eastwood, Klerkx e Nettle

(2017) ao analisar a divisão de funções da pesquisa e da extensão públicas e privadas nos sistemas de inovação agrícola.

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; STANKIEWICZ, 1991; HEKKERT et al., 2007; HEKKERT et al., 2011) atrelado às atividades de inovação em agricultura de precisão no Brasil.

Dessa forma, são formuladas as seguintes hipóteses de pesquisa:

H1: A tecnologia de agricultura de precisão encontra-se na fase de desenvolvimento no Brasil.

H2: A atividade empreendedora é a função mais influente do sistema.

H3: Existe correlação positiva entre a atividade empreendedora e o desenvolvimento de conhecimento.

H4: A troca de conhecimentos influencia positivamente na atividade empreendedora.

H5: A orientação da pesquisa influencia positivamente na atividade empreendedora

Diante dos desafios alimentares e de mudança climática que motivam diferentes pesquisas de inovação na agricultura, a perspectiva dos sistemas de inovação agrícola aparece como um importante catalisador no sentido de minimizar as contingências do cenário agrícola emergente. Com uma visão de concepção da inovação de forma sistêmica, pode-se favorecer, por exemplo, tecnologias menos agressivas ao meio ambiente, um paradoxo da agricultura em qualquer contexto mundial.

3 Método

Visando a investigação do funcionamento sistêmico das atividades de inovação, com base nas sete funções do sistema de inovação tecnológica (HEKKERT et al., 2007; VAN ALPHEN et al., 2010; LAI et al., 2012), a partir da percepção dos atores envolvidos cotidianamente nesse ambiente, sobre o quão bem cada função tem sido executada e a influência disso para o desenvolvimento da tecnologia de agricultura de precisão, foi feito um levantamento de campo com aplicação de questionário eletrônico (GIL, 2008; HEKKERT et al., 2011), em que se buscou a participação do maior número possível de atores envolvidos nas atividades de pesquisa e inovação, por meio do envio do link do questionário a todos os membros da Rede AP, aos membros da Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão, a Associação Brasileira dos Prestadores de Serviços de Agricultura de Precisão (ABPSAP) e a Associação Brasileira de Agricultura de Precisão (AsBraAP), para compartilhamento entre seus associados, e aos programas de pós-graduação das universidades com linha de pesquisa na área da agricultura de precisão, para compartilhamento entre seus pesquisadores.

Por se tratar, em princípio, de um ambiente altamente dinâmico em que não se tem um número estimado de atores participantes, a definição de um tamanho amostral, quer fosse aleatório ou não, mostrou-se impraticável e, diante disso, tentar garantir que os respondentes fossem de fato envolvidos com o objeto de estudo e conhecedores da dinâmica de inovação que se buscava desenhar foi a única preocupação levada a cabo para garantir a validade científica dos dados.

Para isso, o envolvimento das associações setoriais teve papel ativo na divulgação da pesquisa e nos resultados alcançados com o questionário online, que retornou o número de 231 respostas, das quais 14 foram descartadas por não terem respondido a totalidade do questionário, restando o total de 217 respostas consideradas válidas para tratamento e análise de dados.

O instrumento utilizado foi adaptado de Hekkert et al. (2011). Nele, cada função do sistema é um conjunto de variáveis para atribuição de pontuação. Esse instrumento passou por tradução reversa do idioma inglês para o português e, posteriormente, por validação com júri de especialistas formado por três professores doutores que atuam no Curso Superior de Tecnologia em Mecanização em Agricultura de Precisão da FATEC Pompéia (SP). Foram incluídas no questionário informações que identificassem o perfil do respondente, como tempo de atuação nas temáticas da inovação e da agricultura de precisão, escolaridade e tipo de vínculo organizacional.

Seguindo o instrumento, as funções do sistema (CARLSSON; STANKIEWICZ, 1991; HEKKERT et al., 2007; BERGEK et al., 2008; HEKKERT et al., 2011; EASTWOOD; KLERKX; NETTLE, 2017) foram pontuadas pelos respondentes em uma escala tipo Likert de 5 pontos (1 = muito fraca e 5 = muito forte) para identificar quão bem cada função é cumprida e quais funções constituem a maior dificuldade ou o maior suporte às atividades. As funções do sistema com as pontuações mais baixas podem ser vistas como as mais problemáticas.

O tratamento dos dados foi realizado utilizando o software *Statistical Package for the Social Sciences* (IBM® SPSS® Statistics versão 18), em que se verificou análise estatística descritiva dos dados com uma visão geral do cumprimento de cada função, bem como buscou-se o estabelecimento de correlações entre as funções do sistema e a fase de desenvolvimento da tecnologia, além de analisar as funções como conjunto de variáveis independentes capazes de explicar uma proporção da variação do desenvolvimento da tecnologia, como variável dependente, a um nível de significância, aplicando a técnica de análise de regressão linear múltipla, utilizando método *Enter* (HAIR et al., 2009; GOUVÊA; PREARO; ROMEIRO, 2012).

Entre as premissas a serem consideradas para a aplicação da análise de regressão linear múltipla estão a ausência de multicolinearidade, a normalidade multivariada dos dados e o tamanho da amostra, sendo esta estimada em pelo menos cinco observações para cada variável independente na variável estatística, o que daria uma amostra de no mínimo 160 (32 assertivas x 5) casos para o questionário aplicado, estando esta premissa plenamente atendida pelo quantitativo analisado (HAIR et al., 2005). Já a ausência de multicolinearidade foi confirmada com os valores de $VIF < 5$ e a normalidade multivariada dos dados com o teste Kolmogorov-Smirnov ($p=0,000$).

4 Resultados

Os dados analisados visam ao entendimento do funcionamento sistêmico das atividades de inovação a partir das sete funções do sistema de inovação tecnológica desenhadas por Hekkert et al. (2007), considerando a percepção dos diferentes atores envolvidos cotidianamente nesse ambiente. Para isso, são apresentados o perfil dos respondentes, como forma de qualificação dos dados levantados, e os principais resultados encontrados a partir das técnicas metodológicas escolhidas para a análise.

4.1 Perfil dos respondentes

Entre as informações que qualificam o perfil dos 217 respondentes considerados como válidos para o estudo está o tipo de vínculo organizacional em relação a tecnologia em análise, em que 40% deles desenvolvem suas atividades como professor/pesquisador ou

estudante de pós-graduação na área de agricultura de precisão em universidades. Outros 20% atuam em órgãos governamentais como formuladores ou executores de políticas públicas, 17% são pesquisadores vinculados a institutos de pesquisa, 10% são profissionais com atuação na indústria de máquinas e implementos agrícolas, 7% são consultores prestadores de serviços em agricultura de precisão e outros 6% são representantes de organizações de apoio. Constava ainda entre as opções de vínculo o perfil de usuário da tecnologia como produtor ou cooperado, mas não houve respondente com esse tipo de vínculo.

Perguntados também sobre sua escolaridade no momento atual, 60% dos respondentes estão cursando ou já concluíram a Pós-Graduação *Stricto Sensu* (mestrado ou doutorado), 36% possui Pós-Graduação *Lato Sensu* (especialização) concluída e 4% concluiu o ensino superior. Um resumo desse perfil é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Perfil dos respondentes

Vínculo organizacional			Escolaridade		
Prestador de serviços	15	6,67%	Ensino fundamental	0	0%
Indústria	22	10%	Ensino médio	0	0%
Universidade	87	40%	Ensino superior	8	3,33
Instituto de pesquisa	35	16,67%	Pós-graduação lato sensu	79	36,67%
Órgão governamental	43	20%	Pós-graduação stricto sensu	130	60%
Organização de apoio	15	6,67%	Outro		
Usuário	0	0%			
Outros	0	0%			

Fonte: Elaboração do autor

Visando entender melhor a ligação dos respondentes com as atividades de inovação e agricultura de precisão, foi questionado também sobre o tempo de atuação com o tema da inovação, o que retornou média de 13,47 anos, sendo o máximo de 43 anos e o mínimo de 1 ano, com mediana de 9,50 anos, em que 75% dos respondentes atuam a mais de 5 anos com o tema. Já com a agricultura de precisão o tempo médio de atuação foi de 8,5 anos, sendo o máximo de 22 anos e o mínimo de 1 ano, com mediana de 8 anos, em que 75% dos respondentes atuam a pelo menos 4 anos com o tema, o que já era esperado pelo caráter mais recente desse campo, mas ainda assim um tempo de exposição que pode ser considerado satisfatório para os fins da pesquisa.

4.1 Resultados obtidos

A análise de dados oriundos das respostas ao questionário aplicado seguiu primeiramente uma análise descritiva, seguida de análise de correlação e aplicação da técnica de análise de regressão linear múltipla e suas principais premissas, conforme já descrito no tópico referente ao método, além da estatística descritiva básica.

Como resultados, tem-se, de início a fase de desenvolvimento da tecnologia, apontada pela maioria dos respondentes como estando entre as fases de desenvolvimento (45,5%) e decolagem (27,27%), indicando que a maioria considera a aplicação comercial da tecnologia ainda como incipiente e, portanto, em desenvolvimento, dada a pergunta orientadora que a classificaria para a fase seguinte, de acordo com o questionário (Existe aplicação comercial?), sugerindo a aceitação da hipótese *H1: A agricultura de precisão no Brasil encontra-se na fase de desenvolvimento no Brasil.*

Dentre os possíveis fatores que podem estar afetando esse desenvolvimento, ou a falta dele, alguns podem ser obtidos pelas respostas a outras questões do próprio questionário. Por exemplo, 77% dos respondentes considera fracas ou muito fracas as atuais metas políticas em torno da tecnologia, enquanto 67,74% considera que os objetivos definidos para a área na política agrícola, de gerar aumento de produtividade com redução de custos e danos ambientais, não são confiáveis, ou talvez não estejam claros a esse ponto. Outros 61,21%

considera como fraco ou muito fraco o alinhamento de visões e expectativas entre os atores envolvidos. Tudo isso sugere que existem falhas na articulação política institucional em torno do tema e na disseminação do conhecimento sobre o campo, pontos que compõem a função orientação da pesquisa, que obteve a pior avaliação entre as funções do sistema, seguida das funções mobilização de recursos, criação de legitimidade e troca de conhecimentos.

De modo geral, a percepção dos respondentes sobre a mobilização de recursos é pior quando se trata da qualificação da mão de obra e da formação de recursos humanos necessários para o avanço da tecnologia, considerada fraca ou muito fraca por 80,65%, e da disponibilidade de capital (investimentos, capital de risco, subsídios etc.) para o financiamento das atividades, considerada fraca ou muito fraca por 61,29% dos respondentes. Já os recursos referentes a infraestrutura física e material necessária para o desenvolvimento da agricultura de precisão foi considerada como um ponto forte ou muito forte por 54,84% dos respondentes, apontando para uma certa dissonância entre estrutura e processos nessa função, já que, de acordo com a pesquisa, avanços na infraestrutura não foram acompanhados de melhorias no acesso ao financiamento ou a formação profissional de qualidade, alinhada as necessidades do setor.

A troca de conhecimentos é considerada problemática por 62% dos respondentes, enquanto que 67,74% destes considera que esta função constitui uma barreira para que a tecnologia possa avançar a próxima fase de desenvolvimento. Isso se deve, em especial, a relação entre indústria e usuários, percebida como fraca por 67% dos pesquisados, e a fraca relação entre atores além das fronteiras geográficas, percebida como fraca por 61,29%, indicando a concentração do conhecimento desenvolvido em bolsões geográficos. Os respondentes indicaram também como fraca (74%) a troca de conhecimentos entre pesquisa e indústria, mas, como visto na etapa qualitativa, na verdade essa troca está restrita a um grupo dominante, não sendo necessariamente fraca, mas problemática nesse sentido.

O teste de correlação indicou a existência de correlação positiva entre a fase de desenvolvimento da tecnologia de agricultura de precisão e as funções do sistema analisadas pelo instrumento, exceto criação de legitimidade.

Os resultados da regressão indicam um ajustamento moderado do modelo, com $R^2=0,435$ e $R^2\text{Ajustado}=0,416$. O valor do teste *Durbin-Watson*=1,941, indica ausência de auto correlação dos resíduos. Esse resultado significa dizer que, pelo menos, 41,6% do desenvolvimento da tecnologia pode ser explicado a partir das variáveis independentes elencadas no modelo. Esse ajuste moderado é aceitável considerando que este estudo não tem o objetivo de prever, mas tão somente investigar o funcionamento das funções. Além disso, a complexidade da inovação tecnológica como objeto de estudo é algo que demandaria uma análise mais aprofundada, caso o objetivo fosse a predição. Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes da regressão.

Tabela 2. Coeficientes da regressão

Modelo geral	Coeficientes padronizados	t	Sig.	Diagnóstico de colinearidade	
	Beta			Tolerância	VIF
(Constant)		-4,158	0,000		
Atividade empreendedora	0,250	3,883	0,000	0,651	1,537
Desenvolvimento de conhecimento	0,072	1,207	0,229	0,762	1,312
Troca de conhecimento	0,657	9,058	0,000	0,514	1,945
Orientação da pesquisa	-0,280	-3,611	0,000	0,449	2,228
Formação de mercado	-0,080	-1,346	0,180	0,764	1,309
Mobilização de recursos	0,110	1,843	0,067	0,760	1,316
Criação de legitimidade	0,083	1,523	0,129	0,907	1,103

a. Variável dependente: Fase de desenvolvimento da tecnologia

Fonte: Elaboração do autor.

Os dados da regressão indicam a troca de conhecimentos como a função mais influente sobre o modelo, ao contrário da atividade empreendedora, como esperado e proposto pela hipótese *H2*. *A atividade empreendedora é a função mais influente do sistema*, indicando a rejeição desta.

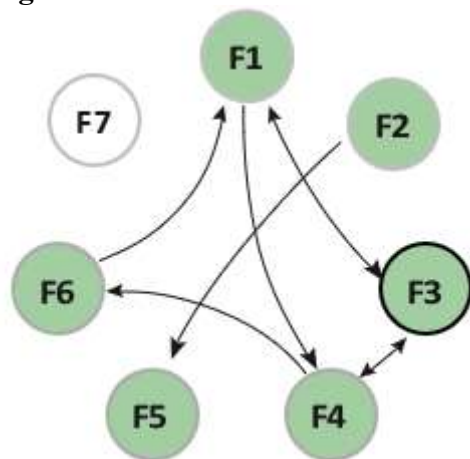
Alinhadas, a troca de conhecimentos é uma função que, neste estágio, mantém boa correlação positiva com a atividade empreendedora (0,400 $p=0,000$), outra função influente no modelo, que por sua vez mantém também boa correlação positiva com o desenvolvimento de conhecimento (0,366 $p=0,000$), sugerindo a aceitação da hipótese descritiva *H3*. *Existe correlação positiva entre a atividade empreendedora e o desenvolvimento de conhecimento*. A tabela completa de correlações é apresentada como Apêndice I.

Ademais, também é passível de aceitação as hipóteses descritivas *H4*, *H5*, haja vista que os resultados da correlação confirmam essa suposição para troca de conhecimentos (0,400 $p=0,000$) e orientação da pesquisa (0,439 $p=0,000$), indicando que a atividade empreendedora é favorecida em um cenário com direcionamento sobre o caminho a ser trilhado pela tecnologia, com fortes relações de troca e investimentos em infraestrutura, qualificação e acesso ao capital.

Entre as funções com melhor percepção dos respondentes está justamente a atividade empreendedora, seguida por desenvolvimento de conhecimento e formação de mercado. No geral, os pesquisados consideram haver um forte ou muito forte movimento de entrada de novas empresas (78,31%) e de inovação entre as indústrias (45,17%), assim como percebem a qualidade (61,29%) e quantidade (58,06%) do conhecimento desenvolvido como forte ou muito forte, indicando a necessidade de ajustes nas demais funções para responder as necessidades do sistema e de desenvolvimento da tecnologia.

A partir dos dados de correlação entre as variáveis investigadas, que demonstram as interdependências entre as funções do sistema na sua fase de desenvolvimento, tornou-se possível propor visualmente como estas interações ocorrem, reeditando a Figura 1, de Hekkert et al. (2011), apresentada na Figura 2.

Figura 2. Padrão funcional da tecnologia na fase de desenvolvimento



Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 10 exibe a função troca de conhecimentos (F3) como a função mais importante do sistema ($\beta=0,657$ $p=0,000$), interagindo mutuamente com as funções orientação da pesquisa (F4:0,674 $p=0,000$) e atividade empreendedora (F1:0,400 $p=0,000$), sugerindo que existe uma relação dinâmica de mútua alimentação e retroalimentação bastante relevante, tanto para impulsionar o surgimento de novos negócios na área tecnológica, como para a definição dos rumos a serem seguidos pela pesquisa e desenvolvimento. A orientação da

pesquisa também (F4) também influencia a mobilização de recursos (F6:0,407 $p=0,000$) a serem destinados a esse campo, que por sua vez influencia no vigor da atividade empreendedora (F1:0,360 $p=0,000$), sugerindo que quanto mais recurso mobilizado para a área, maior a possibilidade de novos negócios surgirem. Interessante observar também que o conhecimento desenvolvido (F2) pode atuar como direcionador do mercado em formação (F5:0,376 $p=0,000$).

5 Discussão

A literatura sobre os padrões funcionais em Hekkert et al. (2011) sugere que com a tecnologia na fase de desenvolvimento, como identificado para a agricultura de precisão, seria esperado que a atividade empreendedora fosse a função mais importante, impulsionando a geração de ativos que contribuíssem para seu avanço. Para este caso, no entanto, verificou-se que a troca de conhecimentos mostrou-se mais relevante, o que parece fazer sentido tendo em vista que percentual significativo do conhecimento necessário para que a tecnologia chegue a esta fase deve ter sido desenvolvido na fase anterior e necessita transpor barreiras por meio de trocas para gerar aplicação e crescimento. A correlação identificada entre as funções troca de conhecimentos e atividade empreendedora, por sua vez, permite supor que as relações estabelecidas nessas trocas podem favorecer também o surgimento de novas empresas, a exemplo das *startups agro*.

Uma observação deve ser feita a esse respeito, já que os participantes da pesquisa apontaram que a tecnologia de agricultura de precisão encontra-se na fase de desenvolvimento no Brasil, indicando se tratar de um sistema incipiente, em que é esperado um maior protagonismo das organizações de pesquisa pública no desenvolvimento de conhecimento que torne a exploração comercial viável pelo capital privado, conforme sugerido em Salerno e Kubota (2008), apontando a falta de sinergia entre as organizações nesse sentido, principalmente universidades e faculdades privadas e órgãos governamentais.

6 Conclusões

Sobre os padrões funcionais em sistemas de inovação tecnológica, cabe esclarecer que suas relações entre funções e a influência de umas sobre as outras, vista no referencial conceitual, não devem ser tomadas como verdade absoluta. Parece plausível que, pelo que se viu neste estudo, essa relação varia de acordo com a tecnologia em análise e em função de fatores externos que com ela interagem, além da fase de desenvolvimento da tecnologia, como políticas, infraestruturas e densidade de relacionamentos entre organizações.

A principal falha parece ser política, de articulação institucional fraca que não conseguiu ainda incluir a agricultura de precisão na agenda estratégica nacional, embora conste em documentos da área de inovação. O sistema identificado e analisado contém todos os elementos constitutivos de um sistema de inovação tecnológica (indústria, pesquisa, governo, organizações de apoio etc.), porém o aparato institucional geral e pouco específico e falta de direcionamento político faz com que sua atuação fique aquém do desejado.

A agricultura de precisão não é determinística de desenvolvimento. É necessário que os governos e as instituições de ensino estejam atentos a esse contexto, porque existe a necessidade de interligação entre as diferentes áreas de desenvolvimento com reflexos em áreas diferentes: a educação tem reflexos na agricultura, que tem reflexos na saúde, etc. Isso pressupõe o entendimento de que a área é um sistema complexo dependente de muitas variáveis que precisam ser reconhecidas.

Referencias

- BERNARDI, A. C. C. et al. (Org.). **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.
- BERGEK, A.; JACOBSSON, S.; CARLSSON, B.; LINDMARK, S.; RICKNE, A. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. **Research Policy**, v.37, n.3, p.407-429, 2008.
- CARLSSON, B.; JACOBSSON, S.; HOLMÉN, M.; RICKNE, A. Innovation systems: analytical and methodological issues. **Research Policy**, v.31, n.2, p.233-245, 2002.
- CARLSSON, B.; STANKIEWICZ, R. On the nature, function and composition of technological systems. **Journal of Evolutionary Economics**, v.1, n.2, p.93-118, 1991.
- CHEN, X.; ZHAO, S. Research on the evaluation model of Chinese enterprises technological innovation system: from a perspective of complex system. **Chinese Management Studies**, v. 6, n.1, p.65-77, 2012.
- EASTWOOD, C.; KLERKX, L.; NETTLE, R. Dynamics and distribution of public and private research and extension roles for technological innovation and diffusion: Case studies of the implementation and adaptation of precision farming technologies. **Journal of Rural Studies**, v.49, p.1-12, jan. 2017.
- EASTWOOD, C.; TROTTER, M.; SCOTT, N. Understanding the user: learning from on-farm application of precision farming technologies in the Australian livestock sector. **Australian Journal of Multi-disciplinary Engineering**, v.10, n.1, p.41-50, 2013.
- EASTWOOD, C. R.; CHAPMAN, D. F.; PAINE, M. S. Networks of practice for co-construction of agricultural decision support systems: Case studies of precision dairy farms in Australia. **Agricultural Systems**, v.108, p.10-18, apr. 2012.
- EDSAND, H.-E. Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the technological innovation system and the wider context. **Technology in Society**, v.49, p.1-15, 2017.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. 6.ed. São Paulo: Bookman, 2009.
- HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise Multivariada de Dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- GOUVÊA, M. A.; PREARO, L. C.; ROMEIRO, M. C. Avaliação da adequação de aplicação de técnicas multivariadas em estudos do comportamento do consumidor em teses e dissertações de duas instituições de ensino superior. **Revista de Administração**, v.47, n.2, p.338-355, 2012.
- HEKKERT, M. P.; NEGRO, S. O.; HEIMERIKS, G.; HARMSSEN, R. **Technological Innovation System analysis: A manual for analysts**. Utrecht University, 2011.
- HEKKERT, M. P.; NEGRO, S. O. Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims. **Technological Forecasting & Social Change**, v.76, n.4, p.584-594, 2009.

HEKKERT, M. P.; SUURS, R. A. A.; NEGRO, S. O.; KUHLMANN, S.; SMITS, REHM. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. **Technological Forecasting & Social Change**, v.74, n.4, p.413–432, 2007.

KEBEDE, K. Y.; MITSUFUJI, T. Technological innovation system building for diffusion of renewable energy technology: A case of solar PV systems in Ethiopia. **Technological Forecasting & Social Change**, v.114, p.242–253, 2017.

LAI, X.; YE, Z.; XU, Z.; HOLMES, M. H.; LAMBRIGHT, W. H. Carbon capture and sequestration (CCS) technological innovation system in China: Structure, function evaluation and policy implication. **Energy Policy**, v.50, p.635-646, 2012.

MARKARD, J.; TRUFFER, B. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. **Research Policy**, v.37, n.4, p.596-615, 2008.

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

ONU. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Organização das Nações Unidas. Genebra: UN, 2015. Disponível em <<https://sustainabledevelopment.un.org>>, acesso em 3 de maio de 2017.

SALERNO, M. S.; KUBOTA, L. C. Estado e Inovação. In: NEGRI, J. A.; KUBOTA, L. C. (Org.). **Políticas de incentivo à inovação tecnológica no Brasil**, p.13-64. Brasília: IPEA, 2008.

SANDÉN, B. A.; HILLMAN, K. M. A framework for analysis of multi-mode interaction among technologies with examples from the history of alternative transport fuels in Sweden. **Research Policy**, v.40, n.3, p.403-414, 2011.

SUURS, R. A. A.; HEKKERT, M. P.; KIEBOOM, S.; SMITS, R. E. H. M. Understanding the formative stage of technological innovation system development: The case of natural gas as an automotive fuel. **Energy Policy**, v.38, n.1, p.419-431, 2010.

VAN ALPHEN, K.; NOOTHOUT, P. M.; HEKKERT, M. P.; TURKENBURG, W. C. Evaluating the development of carbon capture and storage technologies in the United States. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.14, n.3, p.971-986, 2010.

WIECZOREK, A. J.; HEKKERT, M. P.; COENEN, L.; HARMSSEN, R. Broadening the national focus in technological innovation system analysis: the case of offshore wind. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v.14, p.128–148, 2015.

JACOBSSON, S.; BERGEK, A. Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology. **Industrial and Corporate Change**, v.13, n.5, p.815-849, 2004.

Apêndice I

Correlations

		Fase de desenvolvimento	Atividade empreendedora	Desenvolvimento de conhecimento	Troca de conhecimento	Orientação da pesquisa	Formação de mercado	Mobilização de recursos	Criação de legitimidade
Fase de desenvolvimento	Pearson Correlation	1	,410**	,162*	,593**	,314**	,138*	,227**	,059
	Sig. (2-tailed)		,000	,017	,000	,000	,043	,001	,386
	N	217	217	217	217	217	217	217	217
Atividade empreendedora	Pearson Correlation	,410**	1	,366**	,400**	,439**	,392**	,360**	-,177**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,009
	N	217	217	217	217	217	217	217	217
Desenvolvimento de conhecimento	Pearson Correlation	,162*	,366**	1	,173*	,321**	,376**	,156*	-,153*
	Sig. (2-tailed)	,017	,000		,010	,000	,000	,021	,025
	N	217	217	217	217	217	217	217	217
Troca de conhecimento	Pearson Correlation	,593**	,400**	,173*	1	,674**	,242**	,254**	,045
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,010		,000	,000	,000	,511
	N	217	217	217	217	217	217	217	217
Orientação da pesquisa	Pearson Correlation	,314**	,439**	,321**	,674**	1	,283**	,407**	-,041
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,546
	N	217	217	217	217	217	217	217	217
Formação de mercado	Pearson Correlation	,138*	,392**	,376**	,242**	,283**	1	,239**	-,165*
	Sig. (2-tailed)	,043	,000	,000	,000	,000		,000	,015
	N	217	217	217	217	217	217	217	217
Mobilização de recursos	Pearson Correlation	,227**	,360**	,156*	,254**	,407**	,239**	1	-,209**
	Sig. (2-tailed)	,001	,000	,021	,000	,000	,000		,002
	N	217	217	217	217	217	217	217	217
Criação de legitimidade	Pearson Correlation	,059	-,177**	-,153*	,045	-,041	-,165*	-,209**	1
	Sig. (2-tailed)	,386	,009	,025	,511	,546	,015	,002	
	N	217	217	217	217	217	217	217	217

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).