

Agricultura de precisão: inovação para a produção mundial de alimentos e otimização de insumos agrícolas

RESUMO

A agricultura de precisão (AP) é uma inovação tecnológica que possibilita racionalizar o uso dos recursos naturais e insumos agrícolas, melhorando a eficiência no processo produtivo. Nesse sentido, o artigo tem por objetivo analisar o impacto da agricultura de precisão (AP): (a) na produção de alimentos e (b) no uso de fertilizantes. O estudo é estruturado por pesquisa bibliográfica com utilização de dados secundários. As variáveis analisadas foram: (a) produtividade (kg/ha) e (b) uso de fertilizantes agrícolas (kg/ha), tendo-se como base a cultura da soja. A adoção da AP pode ser difundida como uma alternativa para aumentar a produção de alimentos, considerando avaliações sobre a cultura da soja e, além disso, diminuir o uso de fertilizantes, de forma a interferir positivamente sobre a gestão dos recursos naturais.

PALAVRAS-CHAVE: Agronegócio. Fertilizante Agrícola. Glycine Max. Tecnologia.

Felipe Dalzotto Artuzo

felipeartuzo1@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Cristian Rogério Foguesatto

cristian_rogeriof@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Leonardo Xavier da Silva

leonardoxavier@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

INTRODUÇÃO

A agricultura representa uma relação fundamental entre a sociedade e o meio ambiente. Nesse sentido, a preocupação com as questões ambientais, e com a dimensão da sustentabilidade, tem se tornado cada vez mais relevante nos estudos relacionados aos agronegócios. A necessidade de uma estrutura robusta e confiável, para medir os impactos ambientais, nas atividades do agronegócio, está sendo apresentada como uma tendência em países líderes na produção de alimentos (VITOUSEK et al., 2009).

Como a população mundial deverá aumentar nas próximas décadas, torna-se evidente a pressão sobre os sistemas agrícolas e a crescente necessidade de converter as extensões remanescentes de ecossistemas naturais em agroecossistemas. Além disso, será necessário haver sistemas agrícolas que se adaptem em suprir as necessidades da produção de alimentos (FOLEY et al., 2011).

Da mesma forma, as possibilidades de expansão dos solos aráveis no mundo são limitadas (LUZ, 2006), podendo-se ter uma margem de expansão de 20% em relação à área já agricultável, embora em muitas regiões já exista a tendência inversa – a perda de solos aráveis devido à degradação. Assim, é necessário que a expansão agrícola, para atender à demanda mundial por alimentos (FAO, 2014), seja orientada no sentido de se buscarem medidas conservacionistas desse recurso, principalmente nos países em desenvolvimento, que detêm a maior parte de terra arável disponível, mas ainda não desenvolveram potencialmente as técnicas conservacionistas de manejo. Duas das medidas conservacionistas seriam: a otimização das áreas já existentes e a utilização racional e pontual de insumos agrícolas.

Nesse contexto, as inúmeras inovações agrícolas, baseadas, principalmente, pelas inovações de produto, tiveram um enorme efeito sobre o aumento da produção de alimentos. Geralmente, os efeitos econômicos do aumento da produção, por meios dessas tecnologias, têm sido positivos, no entanto, os seus efeitos ambientais nem sempre. Exemplo disso é o uso dos fertilizantes agrícolas.

Os fertilizantes são utilizados para aumentar a produtividade das culturas e para substituir os nutrientes do solo exportados com a colheita. Esse tem sido importante para reverter à tendência de declínio dos nutrientes e da produtividade do solo. Mas, de acordo com Mueller et al. (2013), é necessário haver uma gestão no uso de fertilizantes para não ocorrer uma subestimativa ou superestimativa na quantidade a ser aplicada, o que possivelmente ocasionaria um impacto ambiental.

Para isso, a agricultura de precisão (AP) tornar-se-ia uma ferramenta para utilização eficiente dos recursos naturais e insumos agrícolas. Visto que o uso adequado do fator “terra” é o primeiro passo em direção à preservação dos recursos naturais e para uma agricultura sustentável (REUTER; KERSEBAUM, 2009; JENRICH, 2011).

A AP é uma prática agrícola, na qual faz uso de tecnologia de informação, baseada no princípio da variabilidade espacial e temporal. Além disso, visa o gerenciamento detalhado do sistema de produção agrícola como um todo, não somente nas aplicações de insumos ou de mapeamentos diversos, mas de todo os processos envolvidos na produção (CASSMAN, 1999; MIRANDA, 2006). Assim,

o potencial da AP gera benefícios econômicos e ambientais (SILVA et al., 2007; BRAMLEY, 2009). Esses aspectos podem ser visualizados por meio do uso eficiente de fósforo (P) e potássio (K).

A partir dessas informações, questiona-se: como aumentar a produção de alimentos, sem aumentar a área agricultável, tendo como base a ótica da AP? Nesse sentido, o artigo tem por objetivo analisar o impacto da agricultura de precisão: (a) na produção de alimentos e (b) no uso de fertilizantes.

Assim, por meio da comparação de duas funções de produção - uma com a tecnologia de AP e outra sem a tecnologia -, será possível inferir diretrizes sobre uma perspectiva de produção baseada na AP, sobre as variáveis da “produção” e do “uso de fertilizantes”. Partindo dos pressupostos de que: (a) a redução no uso de fertilizantes minimizaria o impacto ambiental negativo e (b) o incremento produtivo proporcionado pela AP reduziria a necessidade de abertura de novas áreas ou a conversão de florestas em áreas agrícolas.

FUNDAMENTOS TEÓRICO-CONCEITUAIS DO ESTUDO

O presente artigo está construído sob o enfoque da teoria neoclássica da produção, organizada por Marshall, ainda no século XIX (MOCHÓN; TROSTER, 1999) e contemporaneamente acessível em textos como os de Pindyck e Rubinfeld (2002) e de Varian (2012), entre outros da área de microeconomia. A justificativa para seu aproveitamento está na necessidade de verificar se uma mudança tecnológica é capaz de tornar a produção de soja “mais” econômica e na possibilidade de analisar a capacidade de se fazer o uso eficiente dos recursos escassos, evidentemente, terra e os insumos fósforo (P) e potássio (K), diante da necessidade crescente de alimentos.

Especificamente, há uma comparação entre duas funções de produção, sendo que a primeira faz referência para agricultura convencional (AC) (1) e a segunda para AP (2).

$$PAC = f(QTFK, QTFP) \quad (1)$$

Onde:

PAC: função de produção de soja (em mil toneladas) pelo sistema convencional;

QTFK: quantidade total de fertilizante a base de potássio utilizado para produção de soja em sistema convencional (em mil toneladas);

QTFP: quantidade total de fertilizante a base de fósforo utilizado para produção de soja em sistema convencional (em mil toneladas);

$$PAP = f(MK, MP) \quad (2)$$

Onde:

PAP: função de produção de soja (em mil toneladas) pelo sistema de agricultura de precisão;

MK: média de potássio em kg extraído pela planta para produção de 1.000kg de grãos.

MP: média de fósforo em kg extraído pela planta para produção de 1.000kg de grãos;

As tecnologias são comparadas com base em uma mesma quantidade produzida de soja. Ou seja, tem-se como vínculo conceitual as isoquantas. Assim, para AC, são consideradas isoquantas que expressem proporções fixas, enquanto que, para AP, por sua característica tecnológica, são atribuídas isoquantas com possíveis variações nas proporções dos dois insumos (P e K). Ainda que seja possível realizar o exercício de estimação da taxa técnica de substituição entre os fatores referidos no artigo, o mesmo não é realizado, motivo pelo qual o objetivo do estudo é o de comparar as funções de produção (AC e AP), para as variáveis “produção” e “uso de fertilizantes”.

METODOLOGIA

O estudo de AP foi baseado na aplicação de fertilizantes a taxa variável, no qual é a técnica que varia a dose de fertilizantes aplicada de acordo com a necessidade específica de cada ponto dentro do talhão. O insumo adotado na pesquisa se refere aos fertilizantes (P e K). A metodologia determinou como áreas de AP, locais onde o manejo ocorreu a partir da elaboração de mapas de fertilidade e posterior correção do solo (além de mapas de rendimento para determinação da produtividade, conforme Fiorin et al., (2011)), analisando-se as diferenças espaciais existentes.

A soja é a cultura base do estudo, sendo aquela que mais adota técnicas de AP, o que justifica sua escolha. Além disso, as culturas com maiores escalas de produção, tendem a favorecer a adoção da AP, e dessa forma, o uso da tecnologia é mais frequente na soja (ARTUZO, 2015).

Em relação aos dados, a pesquisa se fundamenta no histórico de produção e produtividade da soja (FAO, 2014), no consumo nacional de fertilizantes, obtido pelo International Plant Nutrition Institute – IPNI (2014), bem como nas informações de revisão bibliográfica, adotando como base técnica/experimental o trabalho de Fiorin et al., (2011).

O estudo foi aplicado em quatro locais – África, Argentina, Brasil e EUA -, sendo analisadas e comparadas áreas de AP com áreas de AC, com o intuito de avaliar qual prática demandará maior quantidade de insumos, o que, por consequência, estará relacionada com um maior impacto ambiental negativo. A escolha pelos locais se deve pela importância, presente e futura, da produção de soja. Os EUA, Brasil e Argentina, em ordem, são os principais produtores, enquanto a África tem um potencial para a produção futura da commodity (MUELLER et al., 2013).

DESCRIÇÃO DA ANÁLISE

Por meio dos dados do mapa de rendimento, comparou-se o sistema de AP e AC, tanto para a quantidade de fertilizantes aplicada (kg/ha), quanto para a produtividade (kg/ha). Assim, a partir da porcentagem (%) do incremento da produção por área, e da redução de fertilizantes, demonstrou-se de forma gráfica o potencial de produção e o potencial de redução de fertilizantes, nos anos de

2000 a 2014. Sendo possível relacionar a tecnologia de AP com a produção de alimentos.

Para quantificar a extração de nutrientes (P e K), adotaram-se os dados obtidos por Caires e Fonseca (2000), ou seja, 8 kg de P e 65,65 kg de K, para cada 1.000 kg de grãos de soja. Sendo possível estimar o consumo “ótimo” necessário de fertilizantes (P e K), para as devidas produções (Tabela 1).

Tabela 01: Produção de soja nos anos de 2000 a 2014.

Ano	Argentina	Brasil	EUA	África	Produção Mundial
2000	2516,98	4091,87	9381,72	119,29	20162,32
2001	3360,11	4882,25	9833,74	132,76	22280,58
2002	3750,00	5346,13	9376,07	128,73	22709,71
2003	4352,32	6489,93	8347,67	132,75	23831,45
2004	3947,09	6193,74	10626,74	146,82	25690,56
2005	4786,22	6397,76	10438,12	164,76	26820,10
2006	5067,17	6558,08	10874,86	187,13	27745,75
2007	5935,35	7232,15	9107,22	167,93	27465,94
2008	5779,76	7479,14	10093,59	181,98	28908,95
2009	3874,17	7168,17	11427,16	197,55	27926,42
2010	6584,43	8594,54	11325,68	195,96	33114,30
2011	6111,07	9351,93	10523,99	235,85	32699,61
2012	5012,52	8231,11	10348,86	246,95	30197,59
2013	6163,28	10215,56	11423,67	257,17	34761,62
2014	6674,71	10845,07	13501,71	297,25	38554,51
DP	1269,71	1909,81	1231,53	53,19	5050,12

*Valores em mil toneladas

Fonte: FAO (2014).

Da mesma forma, para determinar a quantidade de fertilizantes a base de P e K, adotou-se as equações 3 e 4, respectivamente:

$$CP = \frac{P \times MP}{100} \quad (3)$$

Onde:

CP = Consumo de fertilizantes a base de fósforo;

P = Produção de soja dos países e do mundo;

MP = Média de fósforo em kg extraído pela planta para produção de 1.000kg de grãos.

$$CK = \frac{P \times MK}{100} \quad (4)$$

Onde:

CK = Consumo de fertilizantes a base de potássio;

P = Produção de soja dos países e do mundo;

MK = Média de potássio em kg extraído pela planta para produção de 1.000kg de grãos.

Com a quantificação ideal necessária de fertilizantes, estimou-se o acréscimo de insumos para a produção em áreas de AC, conforme dados obtidos por Dellamea (2008) e pelo IPNI (2014). O sistema de aplicação de fertilizantes

predominante na agricultura mundial é o convencional, ou seja, trabalha-se com uma condição representativa da fertilidade de toda a área.

Considerando que o solo é, por natureza, variável em seus atributos químicos, a aplicação de fertilizantes fixos não leva a variabilidade em consideração, podendo ocasionar uma subestimativa ou uma superestimativa de aplicação. Para tanto, após a quantificação ideal de fertilizantes, tanto em relação à produção mundial, como para os países em questão (Argentina, África do Sul, Brasil e EUA), efetuou-se a estimativa de fertilizantes para as devidas produções, em ambos os sistemas. Para a definição da quantidade total, no sistema de AC, utilizou-se as equações 5 (para K) e 6 (para P):

$$QTFK = CK + \left(CK \times \frac{R}{100} \right) \quad (5)$$

Onde:

QTFK = Quantidade total de fertilizante a base de potássio utilizado para produção de soja em sistema convencional;

CK = Consumo de fertilizantes a base de potássio;

R = Diferença em incremento de insumos entre sistema convencional e de agricultura de precisão (%).

$$QTFP = CP + \left(CP \times \frac{R}{100} \right) \quad (6)$$

Onde:

QTFP = Quantidade total de fertilizante a base de fósforo utilizado para produção de soja em sistema convencional;

CP = Consumo de fertilizantes a base de fósforo;

R = Diferença em incremento de insumos entre sistema convencional e de agricultura de precisão (%).

Os dados de produtividade foram tabulados a partir de informações bibliográficas de comparações de produtividades em áreas de AP, com áreas de AC, obtidos por Fiorin et al., (2011). A média geral de incremento de produtividade foi obtida pela média aritmética dos incrementos de cada propriedade, após a aplicação dos testes de normalidade, que foram medidos a partir do teste de Kolmogorov-Smirnov, analisado com o software Assistat, com normalidade alfa de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas próximas décadas, um dos desafios cruciais para a humanidade, será ofertar alimentos sem prejudicar a integridade do meio ambiente (FOLEY et al., 2011; PEREIRA, 2012). Para tanto, surge à necessidade da adoção e difusão de tecnologias que possibilite à redução e/ou a otimização na aplicação de insumos agrícolas. Com isso, a discussão da importância da utilização da AP, como forma de redução na aplicação excessiva de fertilizantes, ganha destaque no cenário nacional e internacional.

Nesse sentido, o resultado do incremento de produtividade, de cada propriedade, obtido por Fiorin et al., (2011), foi analisado por meio do teste de normalidade, no qual confirmou uma distribuição normal (Tabela 2). Assim, os dados, das diferentes propriedades, apresentam características semelhantes, não

possuindo grandes variações entre os incrementos. Esse fato torna-se importante pela possibilidade de extrapolar as informações obtidas.

Tabela 2: Teste de normalidade do incremento de produtividade entre a agricultura de precisão (AP) e agricultura convencional (AC).

Teste	Valor	Vcrit	p-valor	Normal
Kolmogorov-Smirnov	0,2107	0,32119	p > .15	Sim

Normalidade (alfa = 5%)

Fonte: elaborado pelos autores

Observa-se, que todas as áreas de AP resultaram em maior produtividade, quando comparadas com a AC (Tabela 3). A média resultante, do incremento de produtividade nas áreas avaliadas, foi de 10,39%, demonstrando que a AP pode ser utilizada como uma forma de elevar os índices produtivos na cultura da soja. Assim, o resultado corrobora com a ideia de Pierce e Nowak (1999), onde a AP teria o potencial de aumentar a produtividade das culturas e a qualidade ambiental.

Da mesma forma, corrobora com Tittonell e Giller (2013), no qual descrevem a AP como uma forma para maximizar a eficiência no uso dos insumos, o que significa aumentar a produtividade por unidade de recursos investidos. Assim, medições espaciais da produção, utilizando avanços tecnológicos de monitoramento de rendimento, demonstram variabilidade no rendimento das culturas em uma determinada área, sugerindo que a produção de campo pode ser maximizada, ou ter seu custo reduzido, variando com a gestão do manejo (BASSO et al., 2001).

Nesse sentido, uma boa compreensão, além de medições precisas da variabilidade da produtividade, é essencial para avaliar intervalos de rendimento (ROBERT, 2002; TITTONELL; GILLER, 2013). Da mesma forma, a AP se torna, não apenas uma adição de novas tecnologias, mas sim uma revolução da informação, possibilitada pelas novas tecnologias, que resultam em um nível elevado de gestão e no uso de um sistema preciso na propriedade rural.

Tabela 3: Avaliação da produtividade em lavouras conduzidas em agricultura de precisão (AP) e agricultura convencional (AC).

Propriedades	Manejo	Área (ha)	Produtividade kg/ha	% de incremento
Propriedade 1	AP	60,0	4.260	9,23
	AC	85,0	3.900	
Propriedade 2	AP	53,8	4.260	7,58
	AC	45,0	3.960	
Propriedade 3	AP	60,0	3.480	11,54
	AC	45,0	3.120	
Propriedade 4	AP	28,0	3.600	11,11
	AC	28,0	3.240	
Propriedade 5	AP	114,6	4.200	16,67
	AC	114,6	3.600	
Propriedade 6	AP	46,7	3.192	6,19
	AC	46,7	3.006	
Média (%)				10,39
DP*				3,69

DP = Desvio Padrão

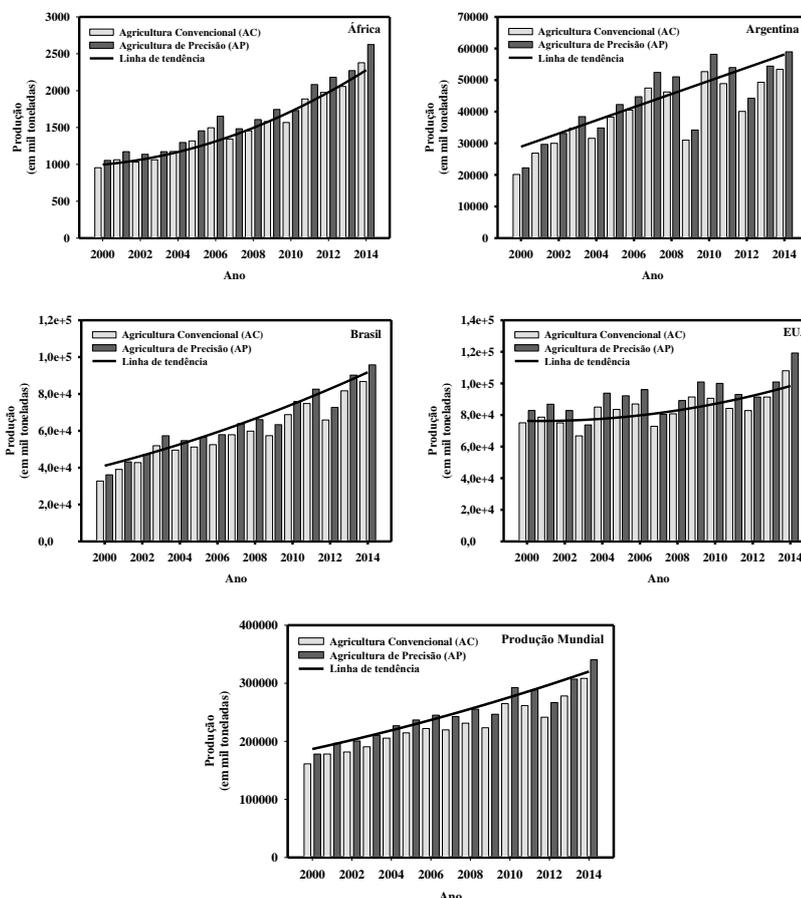
Fonte: Adaptado de Fiorin et al. (2011).

Além disso, os dados demonstram que, com a estimativa de 10,39% de produtividade média, superior com a adoção da AP, poderia apresentar um reflexo significativo para a expansão da produção nacional e mundial. Destaca-se que a tecnologia não se apresenta apenas como a mais produtiva, mas sim como a mais rentável, ou seja, com um retorno econômico superior quando comparada com a AC (SILVA et al., 2007).

Além do aumento da produção (SILVA; MORAES; MOLIN, 2011), a AP possibilita o gerenciamento da aplicação de fertilizantes e, como consequência, uma agricultura ambientalmente correta, podendo contribuir para a sustentabilidade na produção agrícola. Desta forma, confirma-se a ideia intuitiva de que a precisão no manejo de fertilizantes localizado, e em quantidade certa, deva reduzir o impacto ambiental negativo da produção agrícola (SAPKOTA et al., 2014).

Assim, a AP, além de possibilitar avanços nas propriedades, pode ser utilizada como uma ferramenta que auxilie no aumento da produção de grãos, pelo incremento de produtividade em cada lavoura. Segundo Robert (2002), a AP oferece uma variedade de benefícios potenciais, seja na rentabilidade, bem como na produtividade, sustentabilidade, qualidade da cultura, segurança alimentar e entre outros. Nesse sentido, nos últimos anos, a produção de soja teve um aumento expressivo, que poderia ter sido maior caso a AP fosse adotada e difundida (Figura 1).

Figura 1: Simulação da produção de soja a partir da adoção da agricultura de precisão (AP), nos anos de 2000 a 2014.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados da FAO (2014).

Em 2014, por exemplo, a produção mundial poderia ser elevada em mais de 32 milhões de toneladas de soja - caso a AP fosse adotada em 100% da área destinada para produção. Os avanços proporcionados pelo melhoramento genético, eficiência técnica, e demais fatores agrônômicos, amplamente utilizados na cultura, no sistema de AC, resultam em um leve crescimento da produção ao longo dos anos. Aliado a isso, a AP demonstra um forte impacto sobre o aumento produtivo, proporcionando ganhos expressivos sobre a AC, que já adota ferramentas tecnológicas vinculadas a outras áreas. Assim, observam-se dois momentos, sendo um com ganho em escala para países com índices produtivos elevados e outro como ferramenta de auxílio para desenvolvimento agrícola, em países com menor expressão produtiva, mas com enorme potencial, como, por exemplo, os países da África. Nos países em desenvolvimento, a adoção da AP seria uma possibilidade para alcançar aumentos significativos de produtividade.

Verifica-se, que 100% das áreas cultivadas, no sistema de AP, apresentaram maior eficiência na redução de fertilizantes, havendo variação em torno de 29,7% a 41,2 %, com média de 33,1% (Tabela 4). Para Borges e Mallarino (1998), a economia de fertilizantes é um benefício que o manejo localizado pode proporcionar. Assim, a adoção da AP proporcionaria esta característica: aplicação variável em uma área com características heterogêneas.

Tabela 4: Diferença no uso total de fertilizantes entre as áreas de agricultura convencional (AC) e agricultura de precisão (AP), (Soja - safra 2006/07).

Município	Área (ha)	AC (kg)	AP(kg)	Diferença (%)
Carazinho	64,8	19440	14900	-30,50
Não Me Toque	38,6	11580	8200	-41,20
Santo Antônio	34,6	10380	8000	-29,70
Total	138	41400	31100	-33,10
DP	16,40	4921,10	3927,26	6,42

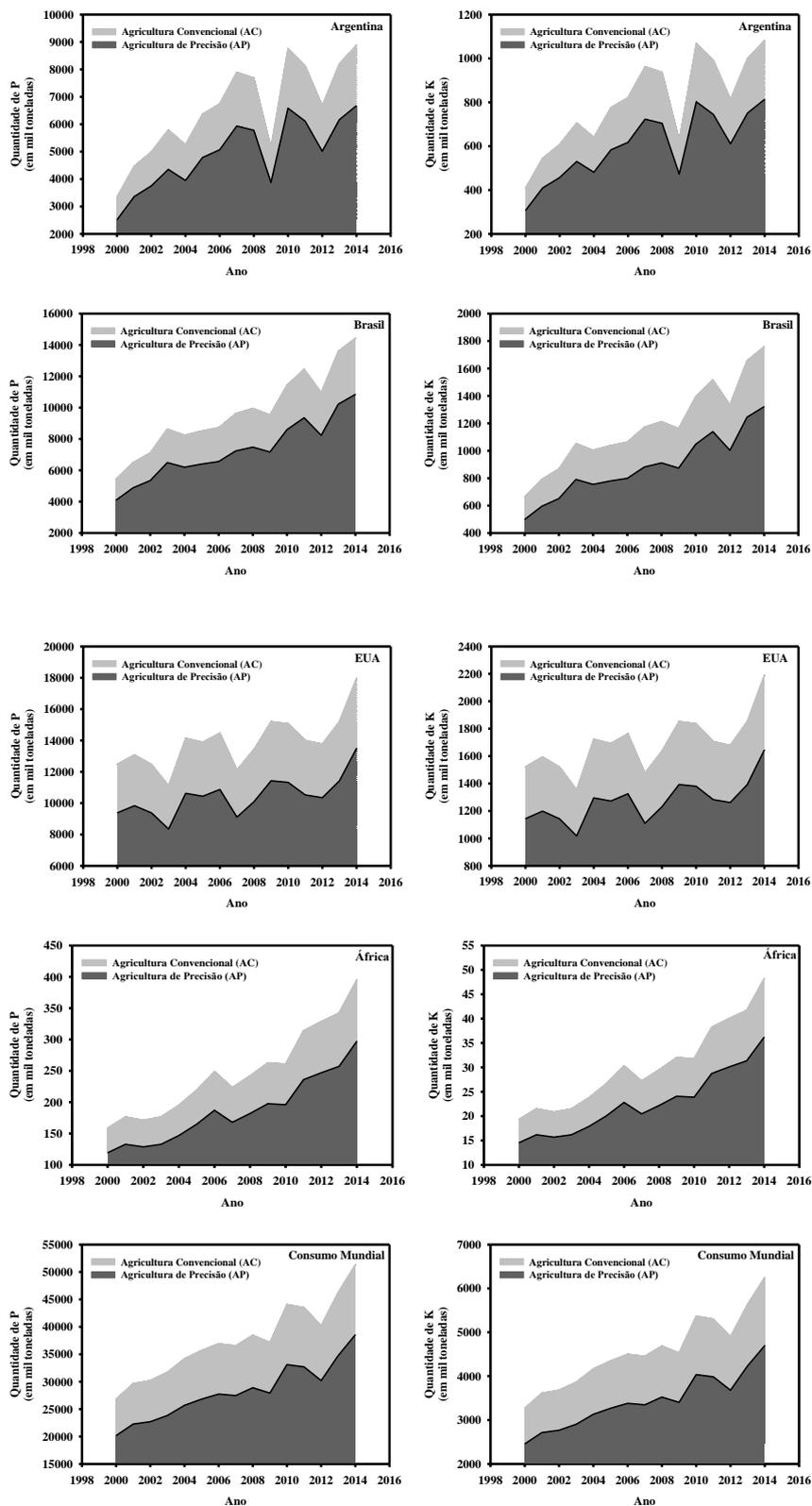
DP = Desvio Padrão

Fonte: Adaptado de Dellamea (2008)

Para tanto, vale destacar que a utilização de fertilizantes é importante para o estabelecimento da cultura e sua manutenção, possuindo interferência direta e positiva para a produtividade (JOHNSTON, 1998). Sendo assim, o uso adequado de fertilizantes é indispensável, principalmente quando possui uma relação produção versus meio ambiente. Assim, torna-se fundamental a utilização do insumo, mas, por meio da adoção de tecnologias que proporcionem a racionalidade no uso do fertilizante. Essa é a razão pela qual os estudos demonstram que áreas com altas tecnologias proporcionam altas produtividades, além de um ótimo manejo produtivo, neste caso, englobando a aplicação dos insumos (BOKUSHEVA; HOCKMANN; KUMBHAKAR, 2012; ANG; BANERJEE; MADSEN, 2013).

Da mesma forma, em relação aos países, os EUA são os maiores consumidores de fertilizantes (Figura 2). Ao mesmo tempo, se caracterizam como o maior produtor mundial da commodity. Nessa situação, com a adoção da AP, o consumo poderia ser reduzido, otimizando a aplicação do insumo. A África, por exemplo, apresenta baixa produção, pela pouca área destinada para soja, além do baixo nível tecnológico, em contrapartida, possui alto potencial produtivo, que pode ser explorado com o uso de novas tecnologias (MUELLER et al., 2013).

Figura 2: Simulação do consumo de Fósforo (P) e Potássio (K), entre a agricultura convencional (AC) e agricultura de precisão (AP), nos anos de 2000 a 2014.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados da IPNI (2014)

Percebe-se, que se a AP fosse adotada em todo o território nacional ou mundial, poder-se-ia reduzir a quantidade de insumos, o que ocasionaria um menor impacto ambiental negativo, proveniente da não superestimativa da aplicação de nutrientes. Os países industrializados têm criado um sistema agrícola modernizado, com alta produtividade e tecnologias avançadas. Porém, nos países em desenvolvimento, a pobreza permanece ligada à agricultura, pois a maioria da população ainda se dedica à agricultura tradicional, com aplicação limitada de tecnologias modernas em áreas rurais (WANG, 2001). Robert (2002), no início da década de 2000, observou uma desaceleração no uso da AP, pelos prestadores de serviços e também pelos agricultores. Algumas barreiras apontadas foram às relacionadas com as questões socioeconômicas, agronômicas e tecnológicas, no qual comparou o fato com a adoção de outras tecnologias, como a do trator, que levou mais de 30 anos para se tornar algo comum na agricultura.

O que determinará o tempo de adoção da AP será a visualização de ganhos econômicos pelos produtores e/ou os incentivos que os governos proporcionarão, a fim de aumentar a produção atual das culturas, podendo potencializar o desempenho econômico e melhorar as medidas de combate à fome. Assim, um dos desafios dos agentes atuantes no agronegócio é produzir alimentos em níveis de quantidade e qualidade para atender a crescente demanda mundial, com total economia e otimização do fator terra. Desta forma, o uso de tecnologias que possibilite o incremento da produção, em uma mesma área, torna-se ferramenta aplicável na forma de manejo da produção agrícola.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da técnica de agricultura de precisão (AP) pode ser difundida como uma alternativa para o aumento da produção de alimentos, tomando por base as estimativas de maiores médias de produtividade na cultura da soja, quando comparada ao sistema convencional (AC). Os EUA, Brasil e Argentina, obteriam incremento produtivo com a adoção da AP, pois já possuem uma base tecnológica para a produção da soja. Já África, com alto potencial para a expansão produtiva, não apresentaria o mesmo incremento, pois faltariam outros fatores tecnológicos e agronômicos para a produção.

A redução do impacto ambiental, relacionado ao menor índice de uso dos fertilizantes - fósforo (P) e potássio (K) - nas áreas de AP, remete a uma interferência positiva sobre a gestão dos recursos naturais. Os EUA, Brasil e Argentina, apresentam valores expressivos no uso dos insumos (P e K), demonstrando que a quantidade de fertilizante utilizado para as suas respectivas produções, foram superestimados, o que poderia ser reduzido com a adoção da AP. Já a África, não reverteu à quantidade de fertilizante consumida em produção de soja, pois não faz uso de todas as tecnologias disponíveis.

Desta forma, a intensificação agrícola e a otimização do fator terra, são obrigações que necessitam maior elucidação na produção de alimentos, onde os setores produtivos necessitam adotar as tecnologias agrícolas de forma equitativa sobre as questões econômicas e ambientais. Ressalta-se que o estudo se propôs a analisar, de forma exploratória, possíveis resultados, a partir da adoção de ferramentas precisas na agricultura, o que pode ser usados para futuros estudos experimentais sobre o assunto abordado.

Precision Agriculture: Innovation for world food production and to optimization in the use of fertilizers

ABSTRACT

Precision agriculture (AP) is a technological innovation. With the adoption of this innovation, the use of natural resources and agricultural inputs is rationalized, increasing the efficiency of the production process. This research aims to analyze the impact of precision agriculture: (a) in food production, and (b) in the use of fertilizers. This study paper is structured for bibliographic research using secondary data. We analyze the following variables: (a) productivity (kg/ha), and (b) use of fertilizers (kg/ha) based on the culture of soybean. AP adoption could be disseminated as an alternative to increase food production. In addition, reduce the use of fertilizers, in order to intervene positively on the management of natural resources.

KEYWORDS: Agribusiness. Agricultural Fertilizer. Glycine Max. Technology.

REFERÊNCIAS

ANG, J. B.; BANERJEE, R.; MADSEN, J. B. Innovation and Productivity Advances in British Agriculture: 1620-1850. **Southern Economic Journal**, v. 80, n. 1, p. 162-186, 2013.

BASSO, B.; RITCHIE, J. T.; PIERCE, F. J.; BRAGA, R. P.; JONES, J. W. Spatial validation of crop models for precision agriculture. **Agricultural Systems**, v. 68, n. 2, p. 97-112, 2001.

BOKUSHEVA, R.; HOCKMANN, H.; KUMBHAKAR, S. C. Dynamics of productivity and technical efficiency in Russian agriculture. **European Review of Agricultural Economics**, v. 39, n. 4, p. 611-637, 2012.

BORGES, R.; MALLARINO, A. P. Significance of spatially variable soil phosphorus and potassium for early growth and nutrient content of no-till corn and soybean. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 29, [S. n.], p. 2589-2605, 1998.

BRAMLEY, R. G. V. Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. **Crop & Pasture Science**, v. 60, n. 3, p. 197-217, 2009.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. D. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.

CASSMAN, K. G. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 96, n. 11, p. 5952-5959, 1999.

DELLAMEA, R. B. C. **Eficiência da Adubação a Taxa Variável em Áreas Manejadas com Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. 2008. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Fao discute demanda mundial por alimentos**. 2014. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/FAOddma.asp>> Acesso em: 29/10/2014.

FIORIN, J. E.; COCCO, K. L. T.; AMADO, T. J. C.; WYZYKOWSKI, T.; LORENZONI, J.; SILVA JUNIOR, V. R.; HAUSCHILD, F. E. G. Viabilidade Técnica e Econômica da

Agricultura de Precisão no Sistema Cooperativo do Rio Grande do Sul. XVI Seminário Interinstitucional de Ensino Pesquisa e Extensão. **Anais...**Cruz Alta, 2011.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337-342, 2011.

IPNI – International Plant Nutrition Institute. *Fertilizantes*. Disponível em: <<http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132#evolucao>>. Acesso em: 23/06/2016.

JENRICH, M. Potential of precision conservation agriculture as a means of increasing productivity and incomes for smallholder farmers. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 66, n. 6, p. 171A-174A, 2011.

JOHNSTON, A. E. The importance of fertilizers in plant nutrient management. In: JOHNSTON, A. E.; SYERS, J. K. **Nutrient Management for Sustainable Crop Production in Asia**. Wallingford: CAB International, 1998. 35-50 p.

LUZ, M. J. S. E. **Expansão da Fronteira Agrícola versus Recurso Terra**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 20 p. (Documentos, 154).

MIRANDA, E. **Modelagem e mapas de capacidade de suporte de carga de solos cultivados com cana-de-açúcar**. 2006. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.

MOCHÓN, F.; TROSTER, R. L. **Introdução à Economia**: São Paulo, Makron Books 1999.

MUELLER, N. D.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; RAY, D. K. Closing yield gaps through nutrient and water management. **Nature**, v. 494, n. 7437, p. 390-390, 2013.

PEREIRA, K. Produção de alimentos: desafio e perspectiva sistêmica. 2010. **Infobibos**. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_3/Alimentos/Index.htm>. Acesso em: 23 jun. 2016.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, v. 67, [S. n.], p. 1-85, 1999.

PINDYCK, R.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**: São Paulo: Prentice Hall 2002.

REUTER, H. I.; KERSEBAUM, K. C. Applications in Precision Agriculture. *In: HENGL, T.; REUTER, H. I. Geomorphometry: Concepts, Software, Applications.* v. 33. Developments in Soil Science, 2009. 623-636 p.

ROBERT, P. C. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. **Plant and Soil**, v. 247, n. 1, p. 143-149, 2002.

SAPKOTA, T. B.; MAJUMDAR, K.; JAT, M. L.; KUMAR, A. Precision nutrient management in conservation agriculture based wheat production of Northwest India: Profitability, nutrient use efficiency and environmental footprint. **Field Crops Research**, v. 155, [S. n.], p. 233-244, 2014.

SILVA, C. B.; VALE, S. M. L. R.; PINTO, F. A. C.; MÜLLER, C. A. S. The economic feasibility of precision agriculture in Mato Grosso do Sul State, Brazil: a case study. **Precision Agriculture**, v. 8, n. 6, p. 255-265, 2007.

SILVA, C. B.; DE MORAES, M. A. F. D.; MOLIN, J. P. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 1, p. 67-81, 2011.

TITTONELL, P.; GILLER, K. E. When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. **Field Crops Research**, v. 143, [S. n.], p. 76-90, 2013.

VARIAN, H. **Microeconomia**: uma abordagem moderna. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

VITOUSEK, P. M.; NAYLOR, R.; CREWS, T.; DAVID, M. B. Nutrient Imbalances in Agricultural Development. **Science**, v. 324, n. 5934, p. 1519-1520, 2009.

WANG, M. H. Possible adoption of precision agriculture for developing countries at the threshold of the new millennium. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 30, n. 1-3, p. 45-50, 2001.

Recebido: 13 out. 2016.

Aprovado: 09 dez. 2016.

DOI: 10.3895/rts.v13n29.4755

Como citar: ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SILVA, L. X. da. Agricultura de precisão: inovação para a produção mundial de alimentos e otimização de insumos agrícolas. **R. Technol. Soc.** Curitiba, v. 13, n. 29, p. 146-161, set./dez. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/4755>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Felipe Dalzotto Artuzo
Rua Afonso Tochetto, 81, Bairro Santo André, CEP: 99900-000, Getúlio Vargas-RS.

Direito autorial: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

