

Intensificação sustentável da agricultura brasileira

Cenários para 2050¹

Fábio R. Marin²
Felipe G. Pilau³
Humberto F. S. Spolador⁴
Rafael Otto⁵
Carlos G. S. Pedreira⁶

Resumo – O aumento da população urbana de países em desenvolvimento, a elevação da demanda por proteína animal, a escassez de terras disponíveis para a expansão da produção agrícola e a possibilidade de mudança do clima futuro são fatores que devem continuar influenciando fortemente a conjuntura do setor agrícola do Brasil nas próximas décadas. Este artigo selecionou quatro áreas relacionadas ao setor – clima, fertilizantes, pecuária e economia – para uma discussão motivada principalmente pelo desafio de manter os ganhos de produtividade. O manuscrito está baseado no desafio de aumentar a produção sem expandir substancialmente a área agrícola, apontando para a perspectiva positiva de o País permanecer como um dos principais produtores de alimentos do mundo e de o setor manter a relevante contribuição para o crescimento da economia brasileira.

Palavras-chave: economia, fertilizantes, mudanças climáticas, produção animal.

Sustainable intensification of Brazilian agriculture: scenarios for 2050

Abstract – The expected increase of urban population mainly in developing countries, the increase in demand for animal protein, the shortage of available land for agriculture expansion and the high probability of climate change are driving factors shaping the Brazilian agricultural sector boundary conditions in the next three decades. In this paper, we selected four important areas for the Brazilian agricultural sector (climate, fertilizers, livestock and economy) to discuss the challenges and opportunities that arise in such perspective for the country. The discussion was based primarily on the challenge for yield increasing without (or with little) area expansion and points out to a positive outlook in the case Brazil were able to remain as one of the leading world food producer.

Keywords: economy, fertilizers, climate change, animal production.

Introdução

Há pouco mais de uma década, pouco se discutia sobre a necessidade de aumentar a

produtividade agrícola em escala global. Ao contrário, simulações com modelos computacionais de equilíbrio geral não apontavam relação entre aumento populacional e escassez de alimento,

¹ Original recebido em 5/7/2016 e aprovado em 12/9/2016.

² Engenheiro-agrônomo, professor da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. E-mail: fabio.marin@usp.br

³ Engenheiro-agrônomo, professor da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. E-mail: fgpilau@usp.br

⁴ Economista, professor da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. E-mail: hspolador@usp.br

⁵ Engenheiro-agrônomo, professor da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. E-mail: rotto@usp.br

⁶ Engenheiro-agrônomo, professor da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. E-mail: cgspedreira@usp.br

mas projetavam a manutenção ou a queda do consumo e dos preços das commodities (VAN ITTERSUM et al., 2013).

Atualmente, a situação é inversa e os cenários para 2050 preocupam. O risco de insegurança alimentar torna-se inquietante ao se considerar as projeções de aumento populacional na faixa dos 30% e, em especial, que esse adicional de dois bilhões de pessoas viverão principalmente nos centros urbanos de países em desenvolvimento (GODFRAY et al., 2010).

Para que esse cenário não se concretize, será preciso aumentar a produção agrícola mundial em até 60% (ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012; BRUINSMA, 2003; LOBELL et al., 2009). Sendo o Brasil importante fornecedor global de alimentos, o aumento contínuo da produção agrícola do País trará benefícios internos e será cada vez mais importante para o mundo. Essa necessidade implica, contudo, um desafio adicional, uma vez que o aumento da produção não poderá ser unicamente baseado no aumento da área cultivada. Com isso, não é difícil concluir que a maior parte do aumento da produção agrícola do mundo precisará vir do aumento da produtividade da área agrícola consolidada (VAN REES et al., 2014) para evitar o aumento expressivo dos preços de alimentos, da pobreza e da fome no mundo (FISCHER et al., 2009).

Esse cenário pessimista, contudo, coloca o Brasil em destaque, com potencial para atender a boa parte da demanda projetada. Internamente, a estrutura e a relevância do setor agropecuário na economia nacional destacam a oportunidade que se apresenta ao País nas próximas décadas, sugerindo uma reflexão sobre que modelo agrícola poderia atender a esse novo patamar de demanda global por alimentos.

No Brasil, todos os setores produtivos que demandam terra, em especial a agricultura, serão cada vez mais pressionados pela disputa do uso do solo (ZAFALON, 2013) e por questões socioambientais. Assim, ainda que projeções indiquem a possibilidade de incremento de 69

milhões de hectares da área agrícola brasileira até 2024 (OCDE-FAO..., 2015), as atenções e investimentos recairão sobre as regiões com potencial de incremento produtivo, em condições sustentáveis (LICKER et al., 2010), maiores que outras, por causa de suas melhores condições de solo, clima e, em alguns casos, pelo acesso à irrigação.

Outro componente complexo dessa projeção está relacionado com a possibilidade de mudança do clima, já que a maioria dos estudiosos do tema admite que o clima futuro será ainda mais desafiador à produção agrícola, notadamente em regiões tropicais. Nesse sentido, apesar da dificuldade em se projetar o clima no longo prazo, uma tendência consensual da comunidade científica é de que haja elevação expressiva da concentração de CO₂ na atmosfera, aquecimento do ar e mudança da distribuição das chuvas nas principais regiões agrícolas do mundo (ROSENZWEIG et al., 2014).

Assim, um cenário plausível para a agricultura brasileira em 2050 poderia basear-se nas seguintes premissas: 1) a população mundial crescerá aproximadamente 30%; 2) a maior parte desse adicional de dois bilhões de pessoas viverá em cidades de países em desenvolvimento, ampliando a classe média global; 3) a limitação de terras aráveis disponíveis para expansão da área agrícola mundial; 4) a elevação do padrão de demanda por proteínas animal; 5) as mudanças climáticas devem mudar os padrões de produção e exigir sistemas produtivos menos agressivos sob o ponto de vista de emissões; e 6) a demanda por água deve aumentar, mas a disponibilidade possivelmente cairá.

Embora não seja a primeira vez que cenários malthusianos surgem no horizonte da humanidade, nenhum deles se concretizou até o momento. Mas a inclusão de limitantes relacionados à escassez de água e de terra e a alta probabilidade de mudança do clima demandam ao menos a discussão de estratégias de ação de convivência nesse novo cenário (FISCHER et al., 2009).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é contribuir para a discussão sobre que cenários seriam esperados para as próximas três décadas, destacando oportunidades, desafios e incertezas.

Mudança do clima e a agricultura

O clima é uma representação média das condições meteorológicas de uma região ao longo de um período suficientemente longo, normalmente de 30 anos. Nos últimos 65 milhões de anos, e por diversas vezes, o clima da Terra sofreu grandes alterações em escalas de milhares a milhões de anos – por causas naturais.

Nas últimas décadas, os pesquisadores vêm acompanhando um novo ciclo de alterações climáticas e, com o uso de modelos, tentam projetar cenários, a magnitude e a variação espaço-temporal dessas alterações. O clima prognosticado para os próximos anos pode ser encarado como apenas mais um ciclo de alterações globais, quantitativamente não distinto dos registros passados mas acontecendo numa velocidade inquietante.

As principais causas naturais das mudanças climáticas globais seriam os fatores astronômicos relacionados à variação da excentricidade da órbita terrestre, da inclinação do eixo terrestre, da emitância solar ou da precessão dos equinócios, ou causas de origem terrestre, como a proporção entre oceanos e continentes, atividade vulcânica, tamanho das calotas polares, composição atmosférica e a deriva dos continentes.

Atualmente, a alteração da composição atmosférica decorrente da ação antrópica é apontada como a principal causa das mudanças do clima, mas há ainda alguma discussão sobre isso. As medidas feitas em estações meteorológicas em todo o globo desde 1860 apontam para o aumento médio da temperatura de $0,6\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$ durante o século 20. Evidências secundárias desse aquecimento são as variações da cobertura de neve das montanhas e de áreas geladas, o aumento do nível global dos mares, o aumento das precipitações e da cobertura de nuvens, o

El Niño/La Niña e os eventos extremos de mau tempo.

A revolução industrial é apontada como um marco inicial desse processo, uma vez que a emissão dos gases de efeito estufa (GEE) cresceu expressivamente desde meados do século 19, coincidindo com o início da era industrial. O alto consumo energético com base em combustíveis fósseis e biomassa e a consequente elevação das emissões de CO_2 para a atmosfera nos últimos 200 anos explicam em grande parte o aumento da concentração de GEE na atmosfera. Estimativas apontam que antes da Revolução Industrial a concentração de CO_2 oscilava em torno de 280 ppm e que atualmente se aproxima dos 410 ppm (Figura 1).

Como os cenários climáticos futuros envolvem grande incerteza, uma estratégia para pelo menos quantificá-la é realizar um agrupamento de simulações, por diversos grupos de modeladores do clima, para observar se há tendências. Com base nesse tipo de simulações, o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC) da ONU afirmou categoricamente em seu último relatório que

[...] o aquecimento do sistema climático é inequívoco e, desde 1950, observou-se várias mudanças sem precedentes no período de décadas a milênios; a atmosfera e o oceano aqueceram, as camadas de gelo e neve diminuíram e o nível dos oceanos subiu (CLIMATE..., 2014).

Ainda segundo esse grupo de cientistas, as tendências mais prováveis indicam aumento de $0,5\text{ °C}$ a $1,5\text{ °C}$ da temperatura média do ar e cenário indefinido para chuva, pois os modelos não apontam tendência uniforme, e a incerteza é muito grande. Se o futuro é incerto, o passado indica que o aquecimento global é uma realidade, já que a temperatura média global de abril de 2016 foi a maior da história (GISTEMP TEAM, 2016; HANSEN et al., 2010), repetindo uma sequência de recordes mundiais, especialmente depois da metade da década de 1990. Localmente, a tendência de elevação da temperatura pode ser exemplificada pelas medidas feitas nos últi-

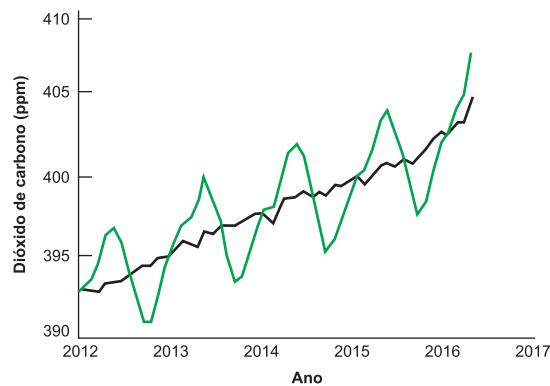
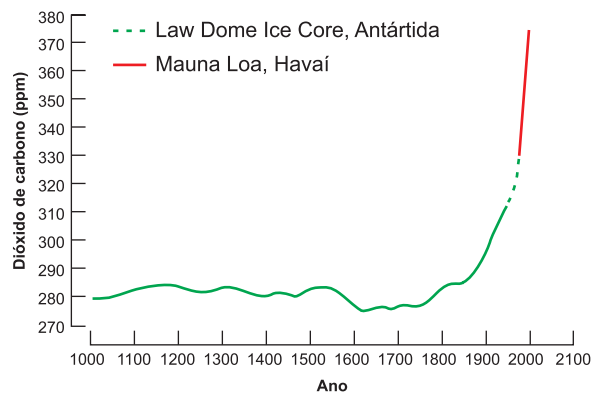


Figura 1. Dados históricos de concentração de CO₂ obtidos em amostras de gelo profundo da Antártida e variação temporal da concentração de CO₂ medida na estação de Mauna Loa, Havai.

Fonte: modificada de Etheridge et al. (1998) e Tans (2016).

mos 99 anos na estação meteorológica da Esalq (Figura 2), que apontam elevação de 1,26 °C na média das máximas e 1,55 °C na mínima numa estação distante de áreas urbanas, repetindo padrões revelados por séries temporais de longo prazo no Brasil e no mundo.

Essas mudanças possíveis, contudo, não ocorrerão de modo isolado nem abrupto, sem oferecer oportunidades para a produção agropecuária se adaptar. Diante disso, cabe perguntar o que pode ser esperado para as próximas décadas nos muitos setores da agropecuária brasileira. Cenários agrícolas para o Brasil (PINTO et al., 2008) elaborados na última década parecem, por um lado, excessivamente pessimistas por não considerarem o efeito fertilizante do CO₂ sobre o aparato fotossintético – notadamente nas espécies com via metabólica para fixação do carbono denominado ciclo C3⁷ – e na elevação da produtividade da água pela possibilidade de regulação estomática mais efetiva, especialmente nas espécies com via metabólica C4⁸ (MARIN et al., 2013; MARIN; NASSIF, 2013). Por outro lado, tais cenários não consideraram a modificação do padrão de ocorrência de eventos extremos e, por isso, parecem otimistas (CARVALHO et al., 2013). Nesse contexto, a pesquisa precisa

continuar avançando no sentido de incorporar os resultados mais recentes das respostas fisiológicas das culturas ao clima futuro e os novos cenários climáticos projetados.

Contexto atual e projeções de oferta e demanda de fertilizantes

Considerando os fatores determinantes da agricultura brasileira nas próximas três décadas, a intensificação da produção sustentável emerge claramente como uma necessidade premente, e uma oportunidade, para manter a posição estratégica do País como líder na produção de alimentos. Destaca-se o uso de fertilizantes e corretivos como uma das principais opções para a elevação da produtividade agrícola em boa parte das regiões produtoras do Brasil, normalmente caracterizadas por solos ácidos e de baixa fertilidade.

O consumo de fertilizantes no Brasil e no mundo cresceu fortemente nas últimas décadas (Figura 3). Em 2014, atingiu 13,4 milhões de toneladas no Brasil e 181,6 milhões de toneladas no mundo (INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION, 2016). De 2014 a 2024, o consu-

⁷ Nas plantas de ciclo C3, o dióxido de carbono é fixado na forma 3-fosfoglicerato.

⁸ Nas plantas de ciclo C4, o dióxido de carbono é fixado primeiramente numa molécula de quatro carbonos (malato) para então ser usado para a produção de 3-fosfoglicerato.

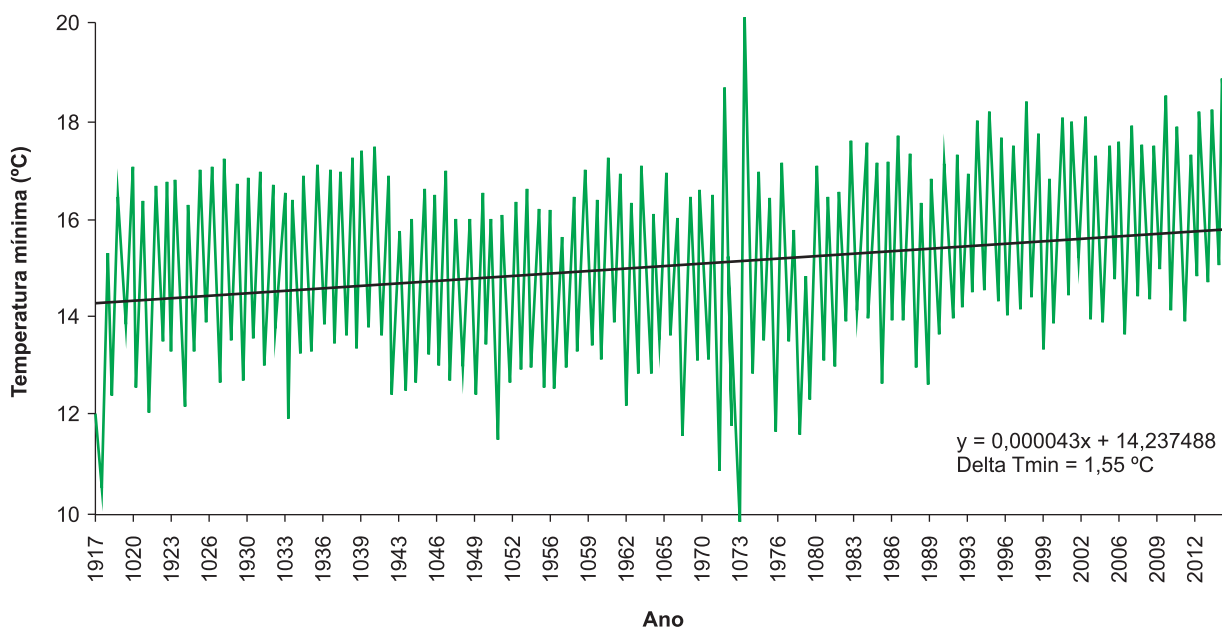
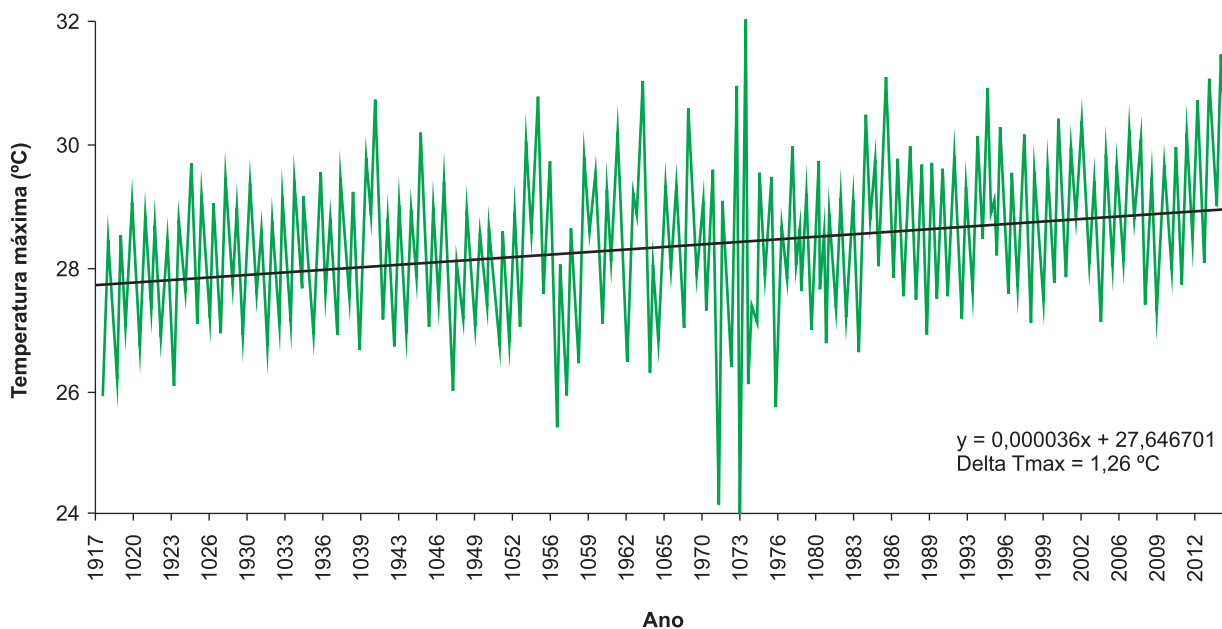


Figura 2. Tendência temporal das temperaturas máxima e mínima, de 1917 a 2016, em Piracicaba, SP.

Fonte: Posto meteorológico da Esalq (2016).

mo de fertilizantes no mundo deve crescer 1,8% ao ano, enquanto na América Latina o crescimento esperado é de 3,3% ao ano, com destaques para Brasil, Argentina, Colômbia e México (FAO, 2015). O avanço da agricultura brasileira pode ser observado quando considerado o aumento percentual do consumo de fertilizantes no País.

Em 1960, o Brasil respondia por menos de 1% do consumo mundial de fertilizantes; em 2014, por 7,4% (Figura 3).

Previsões indicam que o consumo mundial de fertilizantes atingirá 200 milhões de toneladas em 2018 (FAO, 2015). Do total con-

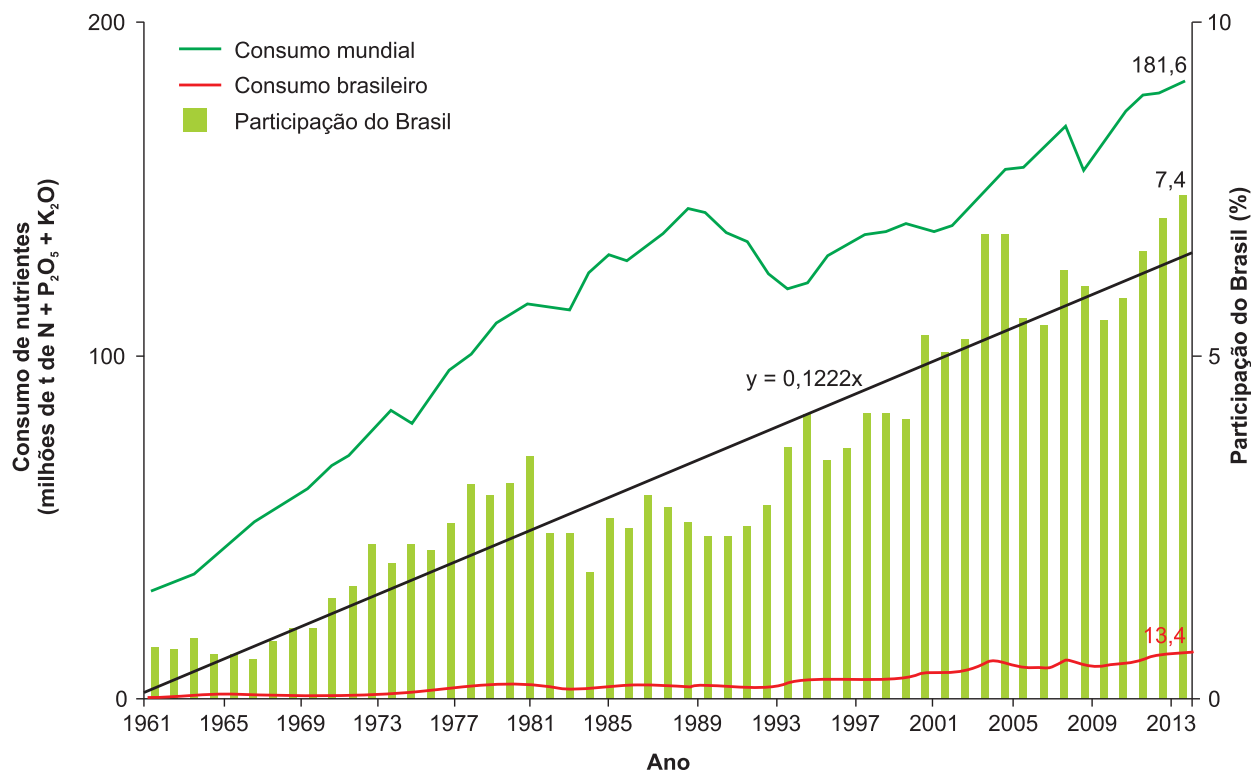


Figura 3. Evolução do consumo brasileiro e mundial de fertilizantes e evolução da participação brasileira.

Fonte: elaborada com dados de International Fertilizer Association (2016).

sumido em 2014, 111 milhões de toneladas são de N, 42,7 milhões de toneladas de P_2O_5 e 31,0 milhões de toneladas de K_2O (FAO, 2015). No Brasil, o consumo de fertilizantes nitrogenados representa 28% do total, enquanto fósforo e potássio respondem, respectivamente, por 34% e 38% (EVOLUÇÃO..., 2014). Apesar da franca expansão do uso de fertilizantes no Brasil, cerca de 70% do fertilizante consumido no País é importado. O Brasil produz somente 45% dos fertilizantes fosfatados consumidos, 25% dos nitrogenados e 10% dos potássicos. O aumento da capacidade de produção de fertilizantes no Brasil, desafio para os setores público e privado, é condição para garantir a segurança alimentar e consolidar o País como potência agrícola.

Uma das preocupações referentes à expansão da atividade agrícola no mundo é a escassez das reservas de fertilizantes. Dos três nutrientes usados em larga escala, os fertilizantes nitrogenados são produzidos pela reação Haber-Bosch, na qual o N_2 atmosférico reage com H_2 e

gera gás amônia (NH_3). Enquanto as reservas de N_2 são praticamente inesgotáveis – o ar contém 78% de N_2 –, a fonte de H para o NH_3 é o gás natural (basicamente metano, CH_4) em 75% ou 80% das plantas industriais (ABRAM; FORSTER, 2005). Somente 5% do gás natural consumido no mundo é usado na fabricação de fertilizantes nitrogenados, e 57% das reservas de gás natural estão na Rússia, no Iran e no Qatar (FIXEN, 2007). Novas plantas de fertilizantes nitrogenados devem surgir nos próximos anos em países onde o gás natural for de baixo custo.

Quanto aos fertilizantes minerais, a maior preocupação refere-se ao esgotamento das reservas de rocha fosfática, matéria-prima de fertilizantes fosfatados. As estimativas de reservas sofreram alterações significativas nos últimos anos, principalmente por causa da revisão feita por Van Kauwenbergh (2010). Calcula-se que as reservas de rocha fosfática totalizem 65 bilhões de toneladas. Considerando a taxa de produção

anual de 176 milhões de toneladas, então a vida útil das reservas hoje conhecidas é de 370 anos (MINERAL..., 2011). Estimativas mais recentes calculam produção de 220 milhões de toneladas e reservas de 67 bilhões de toneladas (MINERAL..., 2015), ou seja, vida útil de 304 anos. As reservas mundiais vão durar de 300 a 400 anos, mas na maioria dos países as reservas esgotarão em menos de 100 anos (COOPER et al., 2011). A contribuição do Marrocos, que possui 77% das reservas de rocha fosfática (MINERAL..., 2011), para a produção global vai aumentar de 15% em 2010 para 40% em 2050, podendo atingir 80% em 2100 (COOPER et al., 2011).

Mas as estimativas da vida útil das reservas são imprecisas por muitas razões. As principais referem-se ao interesse comercial de empresas e países produtores e a taxas de aumento do consumo de fertilizantes, baseado no crescimento populacional esperado. A expectativa é que a população mundial atingirá o pico e se estabilizará a partir de 2050 – pode até decrescer sensivelmente de 2050 até o fim do século (GLOBAL..., 2007; WORLD..., 2004). Especialistas preveem estabilização do consumo de fósforo durante a segunda metade do século (SMIT et al., 2009; VAN VUUREN et al., 2010).

Outro nutriente de destaque é o potássio, com previsões mais otimistas que o fósforo. Na última década, muitas empresas anunciaram operações em diversos países, o que aumentou consideravelmente as estimativas de reservas de minérios de potássio. Orris et al. (2014) mencionam que bacias contendo minerais potássicos podem ultrapassar 100 bilhões de toneladas de K_2O , o que parece estar em consenso com estimativas do USGS (MINERAL..., 2015), que totalizam reservas de 250 bilhões de toneladas K_2O no mundo. Essas estimativas são muito maiores do que as previsões anteriores, que calculavam reservas de 8 bilhões a 18 bilhões de toneladas de K_2O (MINERAL..., 2009). Considerando as últimas estimativas e os níveis de consumo atuais, a vida útil das reservas é de milhares de anos. Evidentemente, boa parte das reservas não são

exploradas e não apresentam custos compatíveis com o nível tecnológico adotado atualmente.

Outra preocupação diz respeito às reservas de calcário agrícola, tendo em vista as condições de solos ácidos que predominam nas regiões de expansão da agricultura brasileira. Entretanto, a distribuição geográfica das reservas de calcário agrícola, abundantes no Brasil, facilita a produção do insumo próximo das regiões agrícolas – a produção brasileira de calcário agrícola atingiu 33 milhões de toneladas em 2013 (LIMA; NEVES, 2014). A reserva medida de calcário no Brasil é de 53 bilhões de toneladas e a reserva lavrável é de 25,4 bilhões de toneladas conforme o Anuário Mineral Brasileiro (ANUÁRIO..., 2010). Considerando os níveis de consumo atuais, as reservas brasileiras são suficientes para milhares de anos. Outra vantagem é que praticamente todos os estados do País possuem reservas significativas de calcário (NAHASS; SEVERINO, 2003).

O rápido crescimento esperado da atividade agrícola brasileira nas próximas três décadas, com expansão de novas áreas de produção, fará com que o consumo de fertilizantes continue em rápida expansão, como tem sido nas últimas décadas. A escassez de nutrientes e calcário não será impeditivo para o avanço da produção de alimentos no Brasil nas próximas décadas. O principal desafio será conciliar o aumento da demanda de fertilizantes com a escassez de investimentos em novas plantas produtoras de fertilizantes para que a agricultura brasileira não fique ainda mais sujeita às variações de preços internacionais dos fertilizantes – há previsão de avanço da produção nacional de fertilizantes fosfatados nas próximas décadas, mas as novas plantas produtoras de fertilizantes nitrogenados anunciadas pela Petrobrás não entraram em operação. A viabilidade do aumento da produção nacional de fertilizantes nitrogenados vai depender também do preço do gás natural nos próximos anos, que é diretamente relacionada ao preço do petróleo. O aumento da produção nacional de fertilizantes potássicos nas próximas décadas vai ocorrer à medida que se viabiliza a extração de potássio das reservas minerais no

Nordeste e Norte. Entretanto, dada a limitação das reservas, o Brasil deve continuar na dependência de importações nas próximas décadas.

Contexto atual e perspectivas para a pecuária brasileira

Um dos tópicos mais discutidos quando se pensa em cenários agrícolas futuros trata do consumo de proteína animal decorrente do crescimento da população mundial associado ao aumento do poder aquisitivo de regiões mais pobres. O Brasil tem hoje papel estratégico como grande produtor de carnes, e a discussão sobre os fatores determinantes desse mercado e a capacidade do País de seguir oferecendo proteína de qualidade e sustentável nas próximas três décadas merece atenção. O Brasil possui o maior rebanho bovino comercial do planeta (IBGE, 2010), e grande parte da produção é para o mercado interno – menos de 20% da produção foi exportada em 2012. Com 212 milhões de cabeças (FAOSTAT, 2013), o País aparece continuamente como o maior, ou o segundo maior, produtor mundial de carne bovina (JANK et al., 2014). Mais de 90% do rebanho se alimenta unicamente de pastagens (KARIA et al., 2006), pois é menor o custo de produção nessas condições – é o próprio animal que colhe a forragem, eliminando assim a necessidade de colheita, transporte, armazenamento e fornecimento. Esse modelo traz grande vantagem competitiva diante das preocupações cada vez maiores em relação à segurança alimentar (JANK et al., 2011), pois minimiza riscos associados à doença da vaca louca (JANK et al., 2014), além de atender à demanda cada vez maior de carne e leite produzidos em condições mais naturais e com menos alimentos concentrados e produtos químicos (ARAÚJO et al., 2008).

Os produtores envolvidos nessas cadeias precisam se tornar cada vez mais eficientes. As mudanças dos últimos anos – como a estabilização da moeda e a competição pelo uso da terra – exigem maior produtividade e competitividade dos sistemas de produção (BARCELLOS et al.,

2008). Ser mais eficiente, ou seja, produzir mais carne e leite com menos área de pastagem, vem se tornando uma necessidade de sobrevivência para a pecuária brasileira (DIAS-FILHO, 2015).

A produção brasileira de carne bovina experimentou grande crescimento nas últimas décadas, cuja causa principal, acredita-se, foi o aumento das áreas de pastagens (MARTHA JUNIOR et al., 2012; NEPSTAD et al., 2006; SOARES-FILHO et al., 2006). Isso tem gerado críticas, pois a noção predominante é a de que os animais criados de forma extensiva, com vários hectares por cabeça, trazem prejuízos ambientais por causa da baixa produtividade e da contínua necessidade de expansão das áreas de pastagens para que a modalidade se mantenha economicamente viável (MEYER; RODRIGUES, 2014). A pesquisa mostra, todavia, inequivocamente, que isso não é verdade.

Meyer e Rodrigues (2014) examinaram dados do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 1985, 1995 e 2006 e reportaram aumento do rebanho bovino, de 128 milhões de cabeças em 1985 para 176,1 milhões em 2006. Nesse período, a área de pastagem caiu de 179,2 milhões de hectares para 160 milhões, o que evidencia claro aumento de produtividade. Outro exemplo é a produção de carne em equivalente-carcaça, que subiu de 38,4 kg/ha/ano em 2001 para 53,9 kg/ha/ano em 2010 (JANK et al., 2014). O aumento da produtividade na pecuária brasileira só foi possível pela substituição de pastagens naturais, de baixo valor nutritivo, por pastagens de forrageiras melhoradas geneticamente (DIAS-FILHO, 2015; MEYER; RODRIGUES, 2014). Estima-se que aproximadamente oito milhões hectares de pastagens sejam renovados ou recuperados no Brasil anualmente (JANK et al., 2014).

Em outra análise das estatísticas do IBGE, Martha Junior et al. (2012) mostraram acentuado aumento da produção de carne bovina no Brasil de 1950 a 2006, de 1,08 toneladas em equivalente-carcaça para 6,89 milhões. De 1950 a 1975, a principal causa do aumento apontado pelos autores foi a expansão das áreas de pas-

tagem, responsável por aproximadamente 86%. Depois de 1975, a principal causa passou a ser o aumento da produtividade, que a partir de 1985 foi responsável por mais de 100% do crescimento da produção de carne bovina. Isso foi possível porque, a partir de 1985, houve redução das áreas de pastagem e adoção de gramíneas melhoradas, como as do gênero *Brachiaria* (syn. *Urochloa*).

As pastagens ocupam a maior área agrícola do Brasil. O País possui aproximadamente 161 milhões de hectares de pastagens, 60 milhões dos quais são classificados como pastagens nativas. Dos 101 milhões de hectares de pastagens cultivadas, aproximadamente 100 milhões são de capins do gênero *Brachiaria* (*Brachiaria* spp.) (ANUALPEC, 2008, 2013). Desse gênero, a *Brachiaria brizantha* ocupa 50% das áreas cultivadas, formando a maior monocultura mundial em termos de superfície. A Figura 4 mostra a mudança de importância das pastagens nativas em relação às pastagens cultivadas nos últimos 45 anos, o que indica especialização da atividade.

O Brasil tem se destacado nos últimos 20 ou 25 anos como um dos maiores produtores de alimentos e exportador de commodities. Entre as razões, estão as vastas áreas disponíveis para produção animal e culturas agrícolas, que correspondem a aproximadamente 33% da área do País (FAO, 2012). Isso, além das características de solo e clima favoráveis, contribui para

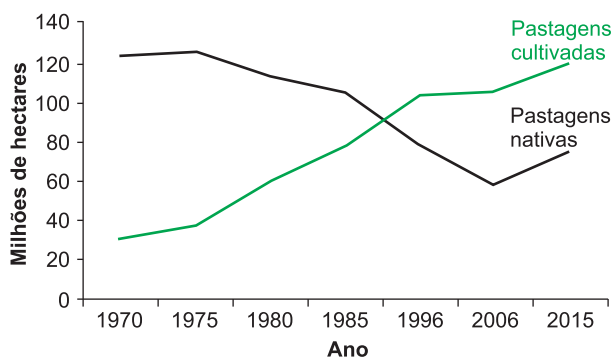


Figura 4. Evolução das áreas de pastagens nativas e cultivadas no Brasil, de 1970 a 2015.

Fonte: IBGE (2007).

que o custo de produção agrícola seja um dos menores do mundo (CARVALHO et al., 2009; DEBLITZ, 2012; FERRAZ; FELICIO, 2010). Por ser essencialmente baseada no uso de pastagens, a produção animal é altamente competitiva, já que custos de colheita, transporte, armazenamento e fornecimento para os animais são, em grande parte, eliminados ou minimizados. A baixa dependência da disponibilidade de grãos é outra vantagem quando comparado com sistemas confinados, que contribuem com apenas 10% dos animais terminados no mercado (TORRES JUNIOR; AGUIAR, 2013).

O desenvolvimento da bovinocultura de corte tem sido historicamente associado à ocupação da fronteira agrícola (DIAS-FILHO, 2011, 2013), tradicionalmente com baixo investimento. De 1975 a 2006, o aumento das áreas de pastagens no Norte e Nordeste esteve associado à abertura de novas áreas para agricultura – depois o processo seguiu em direção à Amazônia (Figura 5). Entretanto, os custos das terras aumentaram com a chegada de culturas como a soja e a cana-de-açúcar no Centro-Oeste/Norte, commodities que ganharam importância nos mercados interno e externo (ADAMI et al., 2012; OLIVETTE et al., 2010), com grandes projetos de reflorestamento. Com isso, as áreas de pastagens/produção animal foram sendo “empurradas” para o norte e realocadas para áreas distantes dos grandes centros urbanos e mercado consumidor.

Os baixos custos de produção comparados com os de outros países fazem com o Brasil seja destaque internacional no mercado de carnes. Apesar do encarecimento, nos últimos 5–10 anos, dos fertilizantes, da mão de obra e de maquinários (TORRES JUNIOR; AGUIAR, 2013), nesse período a indústria animal tem gerado faturamento de aproximadamente US\$ 50 bilhões e empregado cerca de 7,5 milhões de pessoas no País – a bovinocultura de corte responde por 30,4% do PIB agrícola e por 6,73% do PIB nacional (CEPEA, 2011).

Apesar da crônica falta de infraestrutura e de recentes incertezas econômicas, a agricultura brasileira tem consistentemente se destacado

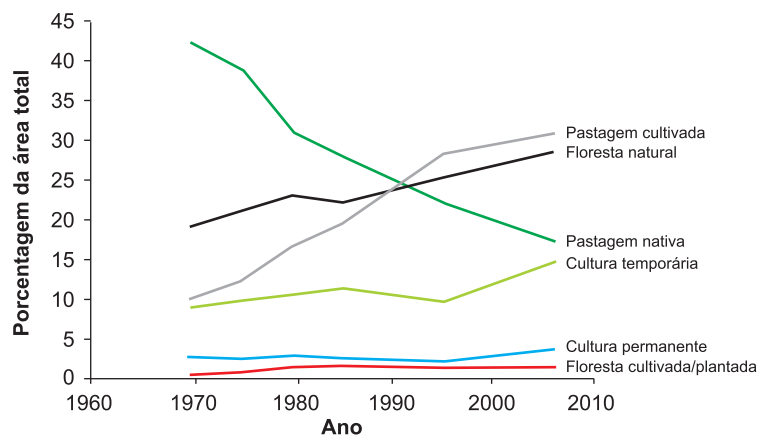


Figura 5. Evolução do uso da terra no Brasil de 1960 a 2010.

Fonte: adaptado de IBGE (2007).

como grande força econômica do País. Pesquisas em agricultura, frequentemente “ilhas de excelência”, apesar das limitações operacionais, econômicas e políticas, têm colocado o Brasil em destaque entre os países de clima tropical. É inquestionável que as plantas forrageiras tropicais – especialmente gramíneas – vão continuar sendo uma inestimável fonte de alimento para a produção de carne e leite no Brasil. Estima-se que o planeta terá 9,3 bilhões de habitantes em 2050 (UNITED NATIONS, 2014), o que forçará a demanda por proteína de origem animal. Há oportunidades para o aumento da produção tanto de carne quanto de leite, baseado em aumentos de produtividade, mesmo que a área de pastagens hoje usada seja reduzida. As áreas agricultáveis atuais, incluindo pastagens, podem ser melhoradas para atender à demanda por alimentos e preservar habitats (STRASSBURG et al., 2014).

Para tanto, planejamento de longo prazo, legislação moderna, infraestrutura, crédito e segurança da posse da terra são fundamentais para o futuro da agricultura brasileira, em particular para a pecuária baseada no uso de pastagens. Nesse contexto, a intensificação agropecuária

não significa fazer pecuária de alta emissão de carbono, poluidora de mananciais, promotora do uso de defensivos e aditivos e oposta à sustentabilidade. De outro modo, entende-se como pecuária intensiva aquela que racionaliza o uso de insumos, controla os processos, otimiza o investimento no componente de custo fixo, ou seja, terra, e exige gestão moderna de recursos e pessoas para geração de renda.

Bases econômicas para a intensificação agrícola brasileira

As projeções tecnológicas e a necessidade de intensificação da agropecuária brasileira dependem das bases socioeconômicas para seu desenvolvimento. A literatura econômica tem destacado a participação relevante do setor agropecuário para o crescimento econômico do País⁹ – via oferta de alimentos, geração de divisas e liberação de mão de obra para os demais setores da economia¹⁰, por exemplo. Jorgenson (2011) analisou a contribuição do setor agrícola para o crescimento da produtividade da economia e, avaliando o caso dos Estados Unidos,

⁹ Johnston e Mellor (1961) estabeleceram cinco funções básicas para a agricultura ao longo do processo de desenvolvimento econômico: oferta de alimentos e matéria-prima a preços decrescentes ao longo do tempo; liberação de mão de obra; mercado consumidor de bens industrializados; transferência de capital para a indústria; e geração de divisas.

¹⁰ Silva (2010) expandiu a análise para o complexo do agronegócio e estimou que o PIB do agronegócio cresceu com preços reais decrescentes de 1995 a 2008, de modo que o cenário de preços reais decrescentes e o aumento da produção configuraram transferência de renda, absorvida pela sociedade.

estimou que a agricultura foi responsável por apenas 1% do crescimento daquela economia em 1960–2007. No entanto, o setor contribuiu com 15% do crescimento da produtividade da economia norte-americana naquele período.

Mais recentemente, de 2000 a 2013, quando a economia brasileira experimentou taxas elevadas de crescimento, ou pelo menos até a crise financeira internacional de 2008–2009, o PIB do setor agropecuário cresceu em média 3,71% a.a, enquanto a economia brasileira cresceu 3,36% a.a. no mesmo período. A Figura 6 mostra que em 2000–2013 são raros os anos em que o crescimento do setor agropecuário ficou aquém do observado para a economia brasileira.

Hulten (2009) demonstrou, retomando a análise de Solow (1957), que o crescimento do

produto¹¹ equivale à soma da taxa de crescimento dos fatores de produção (capital e trabalho), ponderadas por suas respectivas elasticidades do produto, mais um resíduo, chamado também crescimento da produtividade total dos fatores (PTF)¹². Gasques et al. (2016) estimaram o crescimento da PTF do setor agropecuário em 1975–2014: 3,53% para o período completo e 4,03% em 2000–2014 (Figura 7).

Gasques et al. (2004) avaliaram os impactos potenciais dos investimentos públicos e da política de crédito rural em pesquisa, desenvolvimento e inovação sobre a PTF do setor agropecuário. Concluíram que tanto a oferta de crédito quanto os investimentos em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias são duas

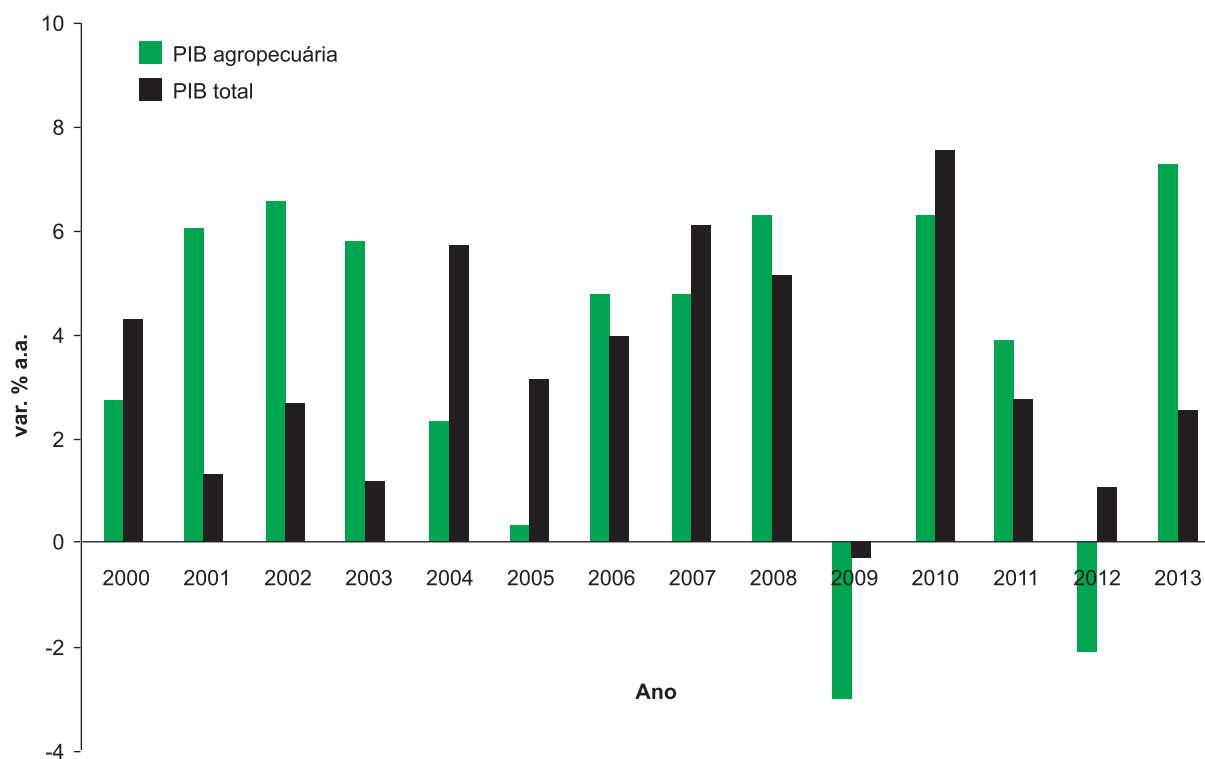


Figura 6. PIB do setor agropecuário e PIB total brasileiros em 2000–2013.

Fonte: Ipeadata (2016).

¹¹ Admitindo-se uma função de produção Cobb-Douglas.

¹² Na definição de Aghion e Howitt (2009), a PTF revela como a economia emprega produtivamente todos os fatores de produção.

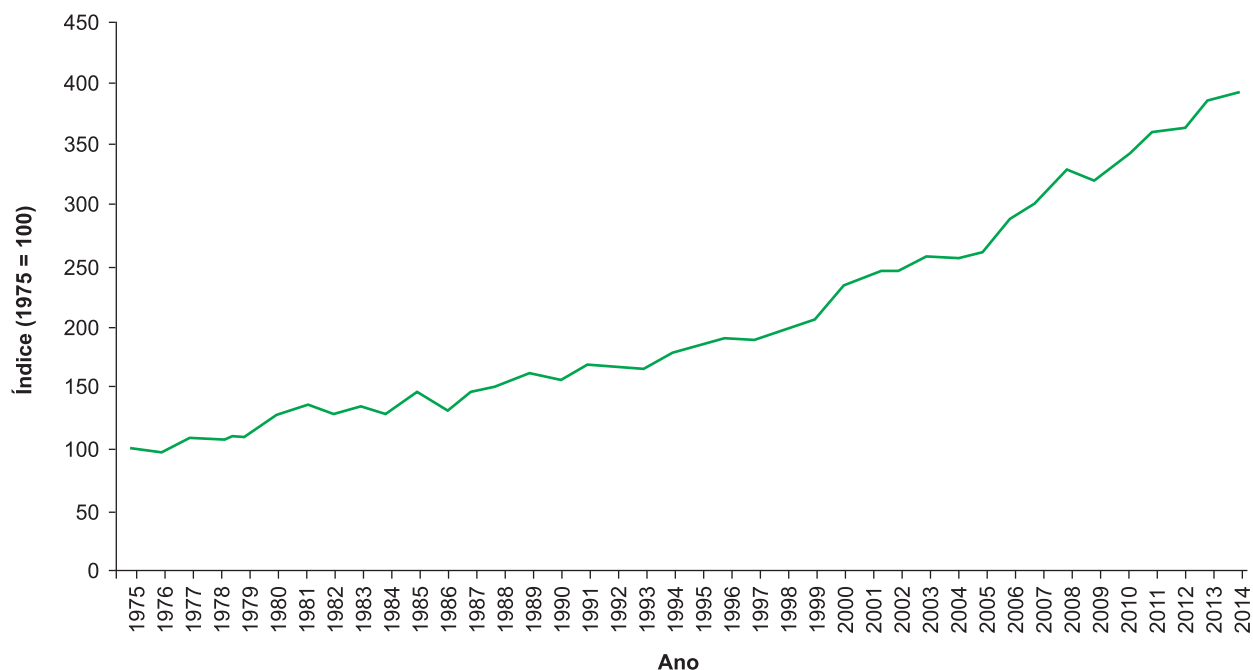


Figura 7. PTF do setor agropecuário em 1975–2014 (1975=100).

Fonte: Gasques et al. (2016).

variáveis importantes para explicar o crescimento da PTF do setor nas últimas décadas¹³.

Mendes et al. (2009) fizeram uma análise da PTF da agricultura de 1985 a 2004 e observaram que seu crescimento ocorreu numa conjuntura de redução de dispêndios públicos, especialmente os voltados para a infraestrutura. Concluíram também que o resultado foi consequência da eficácia de modernos instrumentos de política agrícola. De acordo com as estimativas dos autores, os investimentos que mais impactaram a PTF agropecuária foram, em ordem decrescente de magnitude, em rodovias, pesquisa, telecomunicações, irrigação e energia elétrica. Os resultados estão de acordo com a avaliação de Agénor e Montiel (2008), de que o investimento desempenha duas funções relevantes no longo prazo: determina a taxa de acumulação do capital físico e determina o crescimento da capacidade produtiva, embora nos países em

desenvolvimento seja um componente volátil da demanda agregada; nesse sentido, os autores ressaltaram que o setor público desempenha papel central na acumulação de capital, especialmente no setor de infraestrutura.

Em termos de expansão da área plantada, Freitas et al. (2014) elaboraram estudo que analisou 46 mesorregiões brasileiras em 1994–2010 e observaram concentração da expansão da área agrícola no sentido centro–noroeste. Os autores identificaram também os seguintes fatos: aumento de área plantada nas mesorregiões do nordeste mato-grossense, norte mato-grossense, sul amazonense e vale do Juruá; oriental do Tocantins, sul maranhense e extremo oeste baiano foram as mesorregiões que estiveram no centro do aumento de área plantada no Nordeste e Norte; no norte do Paraná, oeste paulista, cercanias do Distrito Federal e centro sul de Mato Grosso do Sul, o ritmo de expansão foi considerado

¹³ Nicolella et al. (2015) fizeram um estudo sobre a importância da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) para o desenvolvimento da agricultura do estado. Os investimentos da Fapesp em projetos da área de agricultura totalizaram R\$ 3,4 bilhões em 1981–2013. Esalq e FCAV/Unesp, juntas, receberam aproximadamente 26% do total.

intermediário; nas mesorregiões do litoral, com exceção do leste sergipano e nordeste baiano, houve estabilidade de áreas agrícolas.

Freitas e Maciente (2016) identificaram as culturas agrícolas de maior destaque nas mesorregiões avaliadas como as mais dinâmicas. Das 42 mesorregiões, as três principais culturas temporárias responderam por 72% da área plantada de 2011 a 2014, com destaques para soja e milho – o milho tem ocupado as mesorregiões com maiores taxas de crescimento de área plantada. Os autores destacaram também a importância da cana-de-açúcar, cuja produção tem predominado nas mesorregiões de Presidente Prudente, noroeste paranaense, Araçatuba, sudoeste mato-grossense, Bauru, Marília e São José do Rio Preto.

Para as culturas permanentes, Freitas e Maciente (2016) constataram que as três principais responderam por 48% da área plantada de 2011 a 2014: café, laranja e borracha, esta concentrada em São Paulo e Mato Grosso, mas com presença significativa em 12 mesorregiões. Norte do Amapá, sul do Amapá, norte mato-grossense, sul maranhense, nordeste mato-grossense e sul amazonense destacaram-se na produção de banana, maracujá, coco-da-baía, castanha de caju e laranja; o extremo oeste baiano, na produção de manga e mamão; e o vale do Juruá, na de mamão.

Contini et al. (2010) destacaram que o dinamismo da agricultura foi viabilizado por três instrumentos de política agrícola: crédito, ciência e tecnologia e extensão rural, especialmente a pública. Os autores avaliaram que a partir do potencial de crescimento da produção e das exportações, projetando um cenário até 2020, os produtos mais dinâmicos da agricultura brasileira serão a soja, carne de frango, açúcar, etanol, algodão, óleo de soja e celulose. Estudos recentes sugerem, por causa do elevado nível do uso

do capital e pela produtividade da terra¹⁴, que a agricultura manterá a importante participação no crescimento da economia brasileira.

Portanto, os investimentos em tecnologia têm sido relevantes para o crescimento da competitividade da agricultura brasileira no cenário internacional e para que o setor contribua para o crescimento do País.

Considerações finais

Este trabalho discutiu a conjuntura atual e traçou cenários para quatro aspectos do setor agropecuário brasileiro: clima, fertilizantes, pecuária e economia. Ainda que outras áreas sejam importantes, considera-se o conjunto selecionado como um primeiro passo para ampliar o debate e a compreensão sobre a evolução do setor agropecuário brasileiro nas próximas três décadas.

Estimativas apontam que a população mundial será de 9,4 bilhões de pessoas em 2050 e será necessário incrementar em 60% a produção agrícola para suprir a demanda por alimentos, fibras e energia, e o Brasil tem papel de destaque nesse cenário. Além do aumento populacional, mais forte nas cidades de países em desenvolvimento, ocorrerá aumento da renda per capita. O crescimento da renda aumentará a demanda por proteína de origem animal. Mas enquanto a área de pastagens diminuiu nas últimas décadas, cresceram o rebanho bovino e a produtividade da pecuária, esta expressivamente. E ainda há margem de crescimento da produtividade da pecuária brasileira, e isso reforça a oportunidade que se abre ao Brasil nas próximas décadas.

A área cultivada com grãos no País cresceu, e a expansão ocorreu em regiões de fronteira agrícola com limitações de solo e instabilidade climática. Mais preocupante, porém, é a falta

¹⁴ Spolador e Roe (2013, p. 354): “The results of this research suggest that no structural changes on the order observed for other emerging market economies is likely in long run. That is, the relative balance between the share of manufacturing, services and agriculture in GDP is unlikely to change in any major way, in contrast to other emerging market economies where the share of agriculture in GDP falls markedly, the share of services rises, and labor migrates from low-labor-productivity agriculture to manufacturing and service sectors, typically located in cities. Brazil does not appear to fit this pattern due to two key factors: the high level of relative capital intensity of agriculture compared to other emerging market economies; and agriculture’s factor productivity associated with land”.

de infraestrutura logística para escoamento da produção nessas regiões. Outro exemplo da falta de investimento em infraestrutura é a dependência do Brasil da importação de fertilizantes, o que causa instabilidade de preços e dificulta o planejamento de longo prazo. O aumento expressivo da demanda por fertilizantes no mercado doméstico nas últimas décadas e a falta de investimentos em novas fábricas tornaram o País grande importador de fertilizantes – atualmente, o Brasil importa cerca de 70% do total consumido, sem perspectivas de mudanças significativas de imediato.

O dilema entre a necessidade de escala espacial para produção de commodities e a dificuldade de gerenciamento e controle em ambiente agrícola ainda gera grandes oportunidades para o desenvolvimento de ferramentas e tecnologias de apoio ao planejamento, gestão e operação das atividades agrícolas. Como resultado do aumento do uso de conhecimento e tecnologia pelo setor, pode-se minimizar possíveis impactos negativos das mudanças climáticas e potencializar os possíveis benéficos do clima futuro sobre a agricultura brasileira, como a elevação da concentração de CO₂ na atmosfera.

O investimento coordenado em pesquisa de setores-chave da economia brasileira tem sido vantajoso para o País, e mais esforços precisam ser feitos para a manutenção dos ganhos de produtividade. Esses investimentos não se restringem a uma instituição ou setor de pesquisa. A experiência recente sugere que o dinamismo exibido pela agricultura brasileira é fruto de investimentos públicos que abrangem institutos de pesquisa, universidades e a Embrapa, somados ao desenvolvimento de tecnologias pelo setor privado, além de importantes instrumentos de política pública, como o crédito e a extensão rural. A conjunção desses fatores, para enfrentar desafios e explorar as oportunidades do setor, permitirão que a agropecuária brasileira mantenha sua relevante contribuição na oferta de alimentos e energia em escala global e para o crescimento econômico do País.

Referências

- ABRAM, A.; FORSTER, D. L. **A primer on ammonia, nitrogen fertilizers, and natural gas markets**. Columbus: The Ohio State University, 2005. (AEDE-RP-0053-05).
- ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T.; FREITAS, R. M.; AGUIAR, D. A.; MELLO, M. P. Remote sensing time series to evaluate direct land use change of recent expanded sugarcane crop in Brazil. **Sustainability**, v. 4, p. 574-585, 2012.
- AGÉNOR, P. R.; MONTIEL, P. J. **Development macroeconomics**. New Jersey: Princeton University Press, 2008.
- AGHION, P.; HOWITT, P. W. **The economics of growth**. Cambridge: The MIT Press, 2009.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. Rome: FAO, 2012. (ESA working paper nº 12-03).
- ANUALPEC: anuário da pecuária brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2008.
- ANUALPEC: anuário da pecuária brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2013.
- ANUÁRIO mineral brasileiro. Brasília, DF: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2010. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assuntos/ao-publico/anuario-mineral/arquivos/ANUARIO_MINERAL_2010.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2015.
- ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B.; CAMPOS, P. R. S. S. Melhoramento genético de plantas forrageiras tropicais no Brasil. **Archivos de Zootecnia**, v. 57, p. 61-76, 2008. Número especial.
- BARCELLOS, A. de O.; RAMOS, A. K. B.; VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 51-67, jul. 2008. Número especial.
- BRUINSMA, J. **World agriculture: towards 2015/2030: an FAO perspective**. Rome: FAO; London: Earthscan, 2003. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-y4252e.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2016.
- CARVALHO, J. R. P. de; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, S. R. M.; PINTO, H. da S. Estimation of dry spells in three Brazilian regions – analysis of extremes. **Atmospheric Research**, v. 132-133, p. 12-21, 2013. DOI: 10.1016/j.atmosres.2013.04.003.
- CARVALHO, T. B. de; DE ZEN, S.; TAVARES, É. C. N. Comparação de custo de produção na atividade de pecuária de engorda nos principais países produtores de carne bovina. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sober, 2009.

Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/13/356.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2016.

CEPEA. **PIB do agronegócio brasileiro**: dados de 1994 a 2011. Piracicaba: Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – ESALQ/USP, 2011. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/pib/>>. Acesso em: 13 jan. 2016.

CLIMATE Change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: Intergovernmental Panel On Climate Change, 2014.

CONTINI, E.; GASQUES, J. G.; ALVES, E.; BASTOS, E. T. Dinamismo da agricultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**, ano 19, p. 42-64, jul. 2010. Edição especial.

COOPER, J.; LOMBARDI, R.; BOARDMAN, D.; CARLIELL-MARQUET, C. The future distribution and production of global phosphate rock reserves. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 57, p. 78-86, Dec. 2011. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.09.009.

DEBLITZ, C. **Beef and Sheep Report**: understanding agriculture worldwide. 2012. Disponível em: <<http://www.agribenchmark.org/beef-and-sheep/publications-and-projects/beef-and-sheep-report.html>>. Acesso em: 8 mar. 2015.

DIAS-FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 243-252, 2011. Suplemento especial.

DIAS-FILHO, M. B. **Recuperação de pastagens e segurança alimentar**: uma abordagem histórica da pecuária da Amazônia. Bebedouro: Scot Consultoria, 2013.

DIAS-FILHO, M. B. Uso de pastagens para a produção animal no Brasil: estado da arte e a necessidade de intensificação de forma sustentável e ambientalmente adequada. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 27., 2015, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fealq, 2015. p. 7-32.

ETHERIDGE, D. M.; STEELE, L. P.; LANGENFELDS, R. L.; FRANCEY, R. J.; BARNOLA, J. -M.; MORGAN, V. I. Historical CO₂ records from the Law Dome DE08, DE08-2, and DSS ice cores. In: TRENDS: a compendium of data on global change. Oak Ridge: Carbon Dioxide Information Analysis Center, 1998. Disponível em: <<http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/lawdome>>. Acesso em: 13 jan. 2016.

EVOLUÇÃO do consumo aparente de N, P, K e total de NPK no Brasil. 2014. Disponível em: <<http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132#evolucao>>. Acesso em: 11 jan. 2015.

FAO. **Agricultural land**. 2012. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.ZS>>. Acesso em: 7 mar. 2015.

FAO. **World fertilizer trends and outlook to 2018**. Rome, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4324e.pdf>>. Acesso em: 1 nov. 2016.

FAOSTAT. 2013. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/E>>. Acesso em: 13 jan. 2016.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. de. Production systems: an example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, p. 238-243, 2010. DOI: 10.1016/j.meatsci.2009.06.006.

FISCHER, R. A.; BYERLEE, D.; EDMEADES, G. O. Can technology deliver on the yield challenge to 2050? In: EXPERT MEETING ON HOW TO FEED THE WORLD IN 2050, 2009, Rome. **Proceedings...** Rome: FAO, Economic and Social Development Department, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-ak977e.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2016.

FIXEN, P. E. Can we define a global framework within which fertilizer BMPs can be adapted to local conditions? In: FERTILIZER best management practices. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2007. p. 77-86. Papers presented at the IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices, 7-9 March 2007, Brussels, Belgium.

FREITAS, R. E.; MACIENTE, A. N. Culturas agrícolas líderes nas mesorregiões mais dinâmicas. **Radar**, n. 43, p.63-74, fev. 2016.

FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. A. de; LOPES, G. de O. **Expansão de área agrícola**: perfil e desigualdade entre as mesorregiões brasileiras. Brasília, DF: Ipea, 2014. (Ipea. Texto para discussão, 1926).

GASQUES, J. G.; BACCHI, M. R. P.; RODRIGUES, L.; BASTOS, E. T.; VALDES, C. Produtividade da agricultura brasileira: a hipótese da desaceleração. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Org.). **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília, DF: Ipea, 2016. p. 143-163.

GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T.; BACCHI, M. R. P.; CONCEIÇÃO, J. C. P. R. **Condicionantes da produtividade da agropecuária brasileira**. Brasília, DF: Ipea, 2004. (Ipea. Texto para discussão, 1017).

GISTEMP TEAM. **GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP)**. 2016. Disponível em: <<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>>. Acesso em: 17 maio 2016.

GLOBAL development challenges for science. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 2007. (Options: winter 2007). Disponível em: <<http://www.iiasa.ac.at/web/home/resources/publications/IIASAMagazineOptions/opt-07wint.pdf>>. Acesso em: 8 mar. 2015.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people.

- Science**, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010. DOI: 10.1126/science.1185383.
- HANSEN, J.; RUEDY, R.; SATO, M.; LO, K. Global surface temperature change. **Reviews of Geophysics**, v. 48, n. 4, dez. 2010. DOI: 10.1029/2010RG000345.
- HULTEN, C. R. **Growth accounting**. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 2009. (BER working paper, 15341). Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w15341.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2015.
- IBGE. **Censo agropecuário 1920/2006**: estatística do Século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <<http://serieestatisticas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 8 mar. 2015.
- IBGE. **Pesquisa Pecuária Municipal (1974–2010)**. 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=24&i=P&c=73>>. Acesso em: 11 jan. 2015.
- INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION. **Ifadata**. 2016. Disponível em: <<http://ifadata.fertilizer.org/ucResult.aspx?temp=20160502093015>>. Acesso em: 11 jan. 2015.
- IPEADATA. 2016. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 11 jan. 2015.
- JANK, L.; BARRIOS, S. C.; VALLE, C. B. do; SIMEÃO, R. M.; ALVES, G. F. The value of improved pastures to Brazilian beef production. **Crop and Pasture Science**, v. 65, n. 11, p. 1132-1137, 2014. DOI: 10.1071/CP13319.
- JANK, L.; VALLE, C. B.; RESENDE, R. M. S. Breeding tropical forages. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, p. 27-34, June 2011. Número especial. DOI: 10.1590/S1984-70332011000500005.
- JOHNSTON, B. F.; MELLOR, J. W. The role of agriculture in economic development. **The American Economic Review**, v. 51, n. 4, p. 566-593, Sept. 1961.
- JORGENSON, D. W. Innovation and productivity growth. **The American Journal of Agricultural Economics**, v. 93, n. 2, p. 276-296, 2011.
- KARIA, C. T.; DUARTE, J. B.; ARAÚJO, A. C. G. de. **Desenvolvimento de cultivares do gênero *Brachiaria* (trin.) Griseb. no Brasil**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 57 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 163).
- LICKER, R.; JOHNSTON, M.; FOLEY, J. A.; BARFORD, C.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; RAMANKUTTY, N. Mind the gap: how do climate and agricultural management explain the “yield gap” of croplands around the world? **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, p. 769-782, 2010. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2010.00563.x.
- LIMA, T. M.; NEVES, C. A. R. (Coord.). **Sumário mineral**. Brasília, DF: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2014.
- LOBELL, D. B.; CASSMAN, K. G.; FIELD, C. B. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 34, p. 179-204, 2009. DOI: 10.1146/annurev.environ.041008.093740.
- MARIN, F. R.; JONES, J. W.; SINGELS, A.; ROYCE, F.; ASSAD, E. D.; PELLEGRINO, G. Q.; JUSTINO, F. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in Southern Brazil. **Climatic Change**, v. 117, n. 1, p. 227-239, Mar. 2013. DOI: 10.1007/s10584-012-0561-y.
- MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 232-239, fev. 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013000200015.
- MARTHA JUNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 110, p. 173-177, jul. 2012. DOI: 10.1016/j.agsy.2012.03.001.
- MENDES, S. M.; TEIXEIRA, E. C.; SALVATO, M. A. Investimento em infra-estrutura e produtividade total dos fatores na agricultura brasileira: 1985-2004. **Revista Brasileira de Economia**, v. 63, n. 2, p. 91-102, abr./jun. 2009. DOI: 10.1590/S0034-71402009000200002.
- MEYER, P. M.; RODRIGUES, P. H. M. Progress in the Brazilian cattle industry: an analysis of the Agricultural Censuses database. **Animal Production Science**, v. 54, n. 9, p. 1338-1344, 2014. DOI: 10.1071/AN14280.
- MINERAL commodity summaries 2009: Potash. Washington, DC: U.S. Geological Survey, 2009. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2009/mcs2009.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2015.
- MINERAL commodity summaries 2015. Reston: U.S. Geological Survey, 2015. DOI: 10.3133/70140094.
- MINERAL commodity summaries: Phosphate Rock. Reston: U.S. Geological Survey, 2011. Disponível em: <minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/mcs>. Acesso em: 11 jan. 2015.
- NAHASS, S.; SEVERINO J. **Calcário agrícola no Brasil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2003. (Série estudos e documentos, 55).
- NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C. M.; ALMEIDA, O. T. Globalization of the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation. **Conservation Biology**, v. 20, n. 6, p. 1595-1603, dez. 2006. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2006.00510.x.
- NICOLELLA, A.; LIMA, M. S.; ARAUJO, P. F. C. **Contribuição da FAPESP ao desenvolvimento da agricultura paulista**. [São Paulo: Fapesp], 2015. Projeto FAPESP 2012/51209-4, relatório parcial, capítulo VIII.
- OECD-FAO agricultural outlook 2015-2024. Paris: OECD Publishing, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-en>. Acesso em: 28 out. 2016.
- OLIVETTE, M. P. de A.; NACHILUK, K.; FRANCISCO, V. L. F. dos S. Análise comparativa da área plantada com cana-de-açúcar frente aos principais grupos de culturas nos municípios paulistas, 1996-2008. **Informações Econômicas**, v. 40, p. 42-59, fev. 2010.

ORAM, R. N. **Register of Australian herbage plant cultivars**. 3rd ed. East Melbourne: CSIRO, Division of Plant Industry, 1990.

ORRIS, G. J.; COCKER, M. D.; DUNLAP, P.; WYNN, J.; SPANSKI, G. T.; BRIGGS, D. A.; GASS, L.; BLISS, J. D.; BOLM, K. S.; YANG, C.; LIPIN, B. R.; LUDINGTONELADAS, S.; MILLER, R. J.; SLOWAKIEWICZ, M. **Potash – a global overview of evaporite-related potash resources, including spatial databases of deposits, occurrences, and permissive tracts**. Reston: U.S. Geological Survey, 2014. 76 p. (Scientific investigations report 2010–5090–S). DOI: 10.3133/sir20105090S.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, J.; EVANGELISTA, S. R. M.; OTAVIAN, A. F.; ÁVILA, A. M. H. de; EVANGELISTA, B. A.; MARIN, F. R.; MACEDO JUNIOR, C.; PELLEGRINO, G. Q.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. In: DECONTO, J. G. (Coord.). **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Brasília, DF: Embaixada Britânica, 2008.

POSTO METEOROLÓGICO DA ESALQ. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/posto/>>. Acesso em: 11 jan. 2016.

ROSENZWEIG, C.; ELLIOTT, J.; DERYNG, D.; RUANE, A. C.; MÜLLER, C.; ARNETH, A.; BOOTE, K. J.; FOLBERTH, C.; GLOTTER, M.; KHABAROV, N.; NEUMANN, K.; PIONTEK, F.; PUGH, T. A. M.; SCHMID, E.; STEHFEST, E.; YANG, H.; JONES, J. W. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 9, p. 3268-3273 Mar. 2014. DOI: 10.1073/pnas.1222463110.

SILVA, A. F. **Transferências interna e externa de renda do agronegócio brasileiro**. 2010. 139 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SMIT, A. L.; BINDRABAN, P. S.; SCHRÖDER, J. J.; CONIJN, J. G.; VAN DER MEER, H. G. **Phosphorus in agriculture: global resources trends and developments**. Wageningen: Plant Research International, 2009.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520-523, Mar. 2006. DOI: 10.1038/nature04389.

SOLOW, R. M. Technical change and the aggregated production function. **Review of Economics and Statistics**, v. 39, n. 3, p. 312-320, Aug. 1957.

SPOLADOR, H. F. S.; ROE, T. L. The role of agriculture on the recent Brazilian economic growth: how agriculture

competes for resources. **The Developing Economies**, v. 51, n. 4, p. 333-359, 2013. DOI: 10.1111/deve.12025.

STRASSBURG, B. B. N.; LATAWIEC, A. E.; BARIONNI, L. G.; NOBRE, C. A.; SILVA, V. P. da; VALENTIM, J. F.; VIANNA, M.; ASSAD, E. D. When enough should be enough: improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 84-97, Sept. 2014. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.06.001.

TANS, P. **Trends in atmospheric carbon dioxide**. Disponível em: <www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>. Acesso em: 17 maio 2016.

TORRES JUNIOR, A. de M.; AGUIAR, G. A. M. Pecuária de corte no Brasil: potencial e resultados econômicos. In: ENCONTRO DE ADUBAÇÃO DE PASTAGENS DA SCOT CONSULTORIA-TEC-FÉRTIL, 1., 2013, Ribeirão Preto. **Anais...** Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 9-14.

UNITED NATIONS. **Probabilistic population projections based on the world population prospects: the 2012 revision**. 2014. ST/ESA/SER.A/353. Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2012_HIGHLIGHTS.pdf>. Acesso em: 17 maio 2016.

VAN ITTERSUM, M. K.; CASSMAN, K. G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITTONELL, P.; HOCHMAN, Z. Yield gap analysis with local to global relevance: a review. **Field Crops Research**, v. 143, p. 4-17, Mar. 2013. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.09.009.

VAN KAUWENBERGH, S. J. **World phosphate rock reserves and resources**. Alabama: International Fertilizer Development Center, 2010.

VAN REES, H.; MCCLELLAND, T.; HOCHMAN, Z.; CARBERRY, P.; HUNT, J.; HUTH, N.; HOLZWORTH, D. Leading farmers in South East Australia have closed the exploitable wheat yield gap: prospects for further improvement. **Field Crops Research**, v. 164, p. 1-11, Aug. 2014. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.04.018.

VAN VUUREN, D. P.; BOUWMAN, A. F.; BEUSEN, A. H. W. Phosphorus demand for the 1970–2100 period: a scenario analysis of resource depletion. **Global Environmental Change**, v. 20, n. 3, p. 428-439, Aug. 2010. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2010.04.004.

WORLD population to 2300. New York: United Nations, 2004. Disponível em: <<http://www.un.org/esa/population/publications/longrange2/WorldPop2300final.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2016.

ZAFALON, M. Com terra mais disputada, futuro reserva carne mais cara ao Brasil. **Folha de S. Paulo**, 5 jul. 2013. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2013/07/1306550-com-terra-mais-disputada-futuro-reserva-carne-mais-cara-ao-brasil.shtml>>. Acesso em: 17 maio 2016.