

# Vulnerabilidades, impactos e adaptação à mudança do clima no setor agropecuário e solos agrícolas

---

*Magda Aparecida de Lima*  
*Bruno José Rodrigues Alves*

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o IPCC (2001a), até o ano 2100 a temperatura média global aumentará entre 1,6 °C e 5,8 °C, representando taxas de aquecimento de 0,1 °C a 0,4 °C por década. Para o Brasil, os valores mais elevados da taxa de aquecimento serão observados na floresta amazônica e os menores nos estados do Sudeste, junto à costa da Mata Atlântica (MARENGO, 2006).

De acordo com Marengo (2006), tem sido observada desde o início do século 20, uma tendência de aquecimento no país, sendo essa detectada especialmente no inverno, com a temperatura mínima apresentando uma taxa de aquecimento maior do que a temperatura máxima. Segundo o autor, o indicador desse aquecimento seria a tendência a uma maior frequência de dias mais quentes no inverno, e em menor grau, de um maior número de dias mais quentes no verão e no inverno. Com relação à chuva, a tendência seria mais incerta devido à existência de poucos estudos, porém, um aumento na frequência de extremos de chuva tem sido observado nas Regiões Sul e Sudeste, e na Amazônia.

A agricultura é uma atividade amplamente dependente de fatores climáticos, cujas alterações podem afetar a produtividade e o manejo das culturas, além de fatores sociais, econômicos e políticos, e, portanto, será influenciada pela mudança climática global. Essa influência é específica a cada cultura e região. As condições de adaptação de estabelecimentos agrícolas à mudança do clima podem ser bem variáveis, colocando-os em posições mais ou menos vulneráveis, em função de diferentes cenários climáticos. A ameaça da mudança climática global sobre a agricultura traduz-

se, principalmente, na queda da produtividade e diminuição de áreas adequadas à condução de lavouras.

Segundo as previsões de longo prazo a partir de modelos climáticos globais do IPCC (IPCC, 2001a), as regiões tropicais e subtropicais, ou de baixas latitudes, serão as mais afetadas pela mudança do clima (IPCC, 2001b; FAO, 2003; RAMANKUTTY et al., 2002; JONES & THORNTON, 2003; MENDELSON et al., 2004c). Aponta-se também que países em desenvolvimento poderão ser mais vulneráveis às alterações climáticas devido à predominância da agricultura em suas economias, à escassez de capital para medidas de adaptação e sua elevada exposição a eventos extremos (PARRY et al., 2001; FISCHER et al., 2005), bem como à deficiência de mercados, entre outros fatores. De acordo com IPCC (2001b, 2007), a capacidade adaptativa de sistemas de produção na América Latina, como também na África e Ásia, é baixa e a vulnerabilidade é alta, especialmente para produtores de baixa renda, que dependem de sistemas agrícolas mais tradicionais ou de terras marginais.

O IPCC (2001b, 2007) sinaliza uma grande probabilidade de ocorrer degradação de recursos naturais como solo e água, devido a mudanças na temperatura e pluviosidade, com conseqüências negativas para a agricultura. Projeta também um decréscimo na produtividade de muitas culturas, mesmo quando considerados os efeitos diretos de concentrações dobradas de CO<sub>2</sub> e de implementação de medidas de adaptação moderadas ao nível de fazenda. Apesar da alta variabilidade nas projeções de produtividade, algum comportamento parece ser consistente ao indicar redução nas produções de arroz após o ano de 2010, e o aumento das produções de soja quando os efeitos do aumento de CO<sub>2</sub> são considerados (IPCC, 2007).

O efeito de enriquecimento de CO<sub>2</sub> pode ter um efeito positivo em algumas plantas bem como na melhoria da eficiência de uso da água. Entretanto, sob cenários de aumentos crescentes de temperatura, este efeito pode ser anulado pelos impactos da variabilidade climática.

Incertezas permanecem como desafios para a elaboração de futuros cenários, como a magnitude e a persistência dos efeitos de crescentes concentrações de CO<sub>2</sub> sobre a produção agrícola sob condições realísticas de produção, as mudanças potenciais nas perdas de produção por doenças de plantas e animais, a variabilidade espacial nas respostas à mudança do

clima, os efeitos de mudanças na variabilidade climática e eventos extremos sobre a agropecuária.

Impactos da mudança do clima previstos para a agricultura brasileira, e conseqüentes riscos a esse setor, são apresentados neste artigo, bem como algumas estratégias de adaptação para o enfrentamento do problema.

## **2. EFEITO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES ATMOSFÉRICAS DE CO<sub>2</sub> EM PLANTAS**

Estudos apontam que a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico aumentou de 280 ppm no período pré-industrial para 379 ppm em 2005. Por volta do ano 2100, modelos de acoplamento de clima e ciclo de carbono (C<sup>4</sup>MIP) projetam aumentos na concentração de CO<sub>2</sub> entre 730-1020 ppm (IPCC, 2007). O efeito deste aumento nas plantas tem sido objeto de estudos, especialmente com relação ao impacto na agricultura e na oferta de alimento.

Pesquisas recentes mostram que os efeitos de CO<sub>2</sub> sobre o crescimento vegetal e produtividade dependerão da via fotossintética, das espécies, do estágio de crescimento e regime de manejo de água e aplicações de fertilizantes (JABLONSKI et al. 2002; KIMBALL et al., 2002; e outros citados em IPCC, 2007).

Uma das características de espécies vegetais que determinam seu potencial produtivo é a via fotossintética. As espécies arbóreas e arbustivas, que representam os principais componentes vegetais de importantes biomas do globo terrestre, apresentam a via fotossintética C<sub>3</sub> (ver Quadro 1). Da mesma forma, culturas de importância agrícola incluindo-se alguns representantes da família das gramíneas, como arroz e trigo, também apresentam essa via, enquanto várias gramíneas forrageiras, entre elas as braquiárias, e as usadas em lavouras como milho, sorgo e cana-de-açúcar, apresentam via C<sub>4</sub>. Essa última via caracteriza-se por maior eficiência na fixação do CO<sub>2</sub>, notadamente por modificações morfológicas e fisiológicas do sistema fotossintético, que trazem diferenças quanto ao desempenho das plantas em diferentes condições ambientais (Tabela 1). As plantas C<sub>4</sub> fazem fotossíntese mais eficientemente quanto mais elevada for a intensidade luminosa sem, portanto, apresentar uma saturação na assimilação de CO<sub>2</sub> em condições de iluminação relativamente baixa, como ocorre nas plantas

C3. Se a luz solar não for limitante, a produção de plantas C4 podem ser duas a três vezes maiores do que as de plantas C3.

#### Quadro 1. Plantas C3 e C4

Há três tipos de assimilação fotossintética de  $\text{CO}_2$  pelas plantas clorofiladas, pelos quais estas são classificadas em plantas C3, C4 e CAM. A denominação C3 ou C4 refere-se ao número de átomos de carbono presentes no primeiro produto da fixação do  $\text{CO}_2$ . No caso das plantas C3 o primeiro produto da cadeia bioquímica da fotossíntese é o ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA), uma molécula com 3 carbonos. A via fotossintética C3 envolve um processo de carboxilação, que é a adição de uma molécula de  $\text{CO}_2$  a uma molécula de ribulose 1,5 bisfosfato, através da enzima Rubisco (ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase-oxigenase), uma simplificação do chamado ciclo de Calvin.

Nas plantas C4, o sistema fotossintético produz uma molécula de quatro carbonos, o ácido oxalacético. Essas plantas possuem uma estrutura diferenciada nas folhas, que se caracteriza por uma camada de células que envolvem os vasos condutores de seiva, como uma bainha (anatomia Kranz), nas quais se encontra a enzima Rubisco. A carboxilação é feita nas demais células da folha através da adição da molécula de  $\text{CO}_2$  a uma molécula de fosfoenolpiruvato (PEP), através da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase), formando o ácido oxalacético, que imediatamente é transformado em malato e aspartato. Nos cloroplastos (organelas que contêm a clorofila, substância que transforma energia luminosa em química) das células da bainha, o aspartato e o malato são transformados em  $\text{CO}_2$  e piruvato. O  $\text{CO}_2$  é capturado pela Rubisco, seguindo o ciclo de Calvin.

As plantas C3 são limitadas pelo  $\text{CO}_2$ , ou seja, mesmo sob abundância de luz a taxa de suprimento de  $\text{CO}_2$  ao cloroplasto é muito lenta. As plantas C4 superam esta limitação, uma vez que usam o  $\text{CO}_2$  disponível mais eficientemente, com conseqüentes maiores taxas de produção líquida em altos níveis de luz. Os fatores ambientais limitantes à fotossíntese nas plantas C4 são o nível de luminosidade e temperatura.

Considerando uma média de várias espécies sob condições de não estresse, estudos mostram que haveria um aumento de 10-20% na produtividade de plantas C3 e de 0-10% em plantas C4 sob uma concentração de 500 ppm de CO<sub>2</sub>, em relação às concentrações atmosféricas atuais (AINSWORTH et al., 2004; GIFFORD, 2004; LONG et al., 2004, citados em IPCC, 2007). De modo geral, a resposta fotossintética ótima é obtida em níveis mais elevados de temperatura e de radiação nas plantas C4 do que nas espécies C3 (Tabela 1). O estresse devido a altas temperaturas causa um conjunto de mudanças morfo-anatômicas, fisiológicas e bioquímicas nas plantas C3 (WAHID et al, 2007), que afetam seu desenvolvimento, e podem resultar, em alguns casos, em drásticas reduções de produtividade.

**Tabela 1.** Resposta fotossintética média para quatro grupos de culturas à radiação e à temperatura

Características	Grupo de adaptabilidade da cultura			
	I	II	III	IV
Via fotossintética	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>
Taxa de fotossíntese em condições de saturação de luminosidade e temperatura ótima, em mg CO <sub>2</sub> dm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	20-30	40-50	70-100	70-100
Temperatura ótima para fotossíntese máxima, em °C	15-20	25-30	30-35	20-30
Intensidade de radiação em fotossíntese máxima	0,2-0,6	0,3-0,8	> 1,0	> 1,0
Culturas	Trigo Batata Feijão (cultivares temperadas e tropicais de alta altitude)	Feijão (cultivares tropicais) Soja Arroz Algodão Batata doce Mandioca	Milheto Sorgo (cultivares tropicais) Milho (cultivares tropicais) Cana-de-açúcar	Sorgo (cultivares temperadas e tropicais de alta altitude) Milho (cultivares temperadas e tropicais de alta-altitude)

Nas concentrações atuais de CO<sub>2</sub> na atmosfera, a saturação do sistema fotossintético das plantas C3 ou C4 não é atingida, sendo este o fator mais comum para a limitação das taxas fotossintéticas (LARCHER, 2000). Devido à menor eficiência de utilização de CO<sub>2</sub> por plantas com via fotossintética

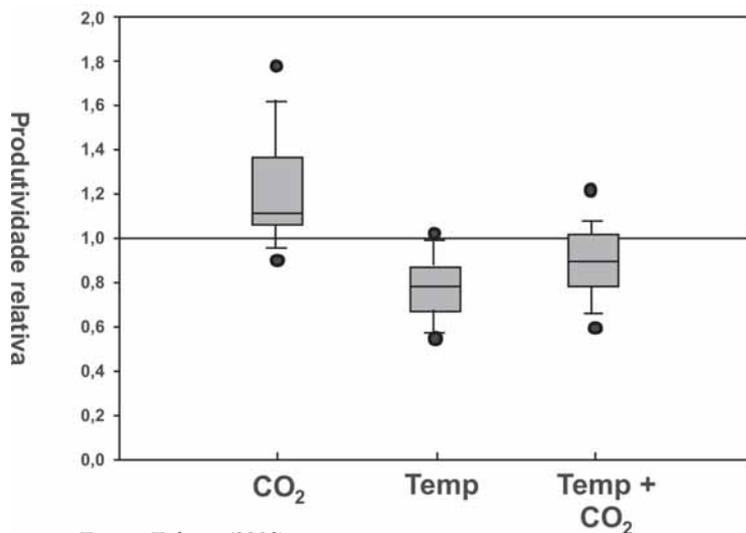
C3, cuja saturação do sistema fotossintético somente ocorreria com concentrações de CO<sub>2</sub> na faixa de 1000 ppmv, esperar-se-ia significativo aumento da produção primária dessas plantas em resposta aos aumentos de CO<sub>2</sub> da atmosfera. Um efeito direto seria o aumento da produção primária das florestas tropicais, desde que outros fatores não se manifestassem de forma negativa sobre as plantas (KARNOSKY, 2003). Estudos sob condições controladas, incluindo-se temperatura e umidade, apontam para incrementos médios de 30% na produtividade de várias culturas C3 submetidas à atmosfera com o dobro da concentração atual de CO<sub>2</sub>. Sob condições menos controladas, em campo, os ganhos de produtividade foram menores (10 a 28%). As plantas com via fotossintética C4 praticamente não se beneficiam com a maior concentração de CO<sub>2</sub> (FUHRER, 2003).

O maior acúmulo de biomassa pelas plantas beneficiadas por concentrações mais elevadas de CO<sub>2</sub> na atmosfera também é acompanhada por maior eficiência de uso de nitrogênio, sem necessariamente proporcionar grãos mais ricos em proteína (FUHRER, 2003). No longo prazo, espera-se que a produtividade decresça devido à diminuição das reservas de N do solo, o que poderia ser compensado com a fertilização do solo. Isso pode ser um fator negativo para a agricultura de países em desenvolvimento devido à utilização de doses de fertilizante nitrogenado abaixo da requerida pelas culturas. Nesse sentido, rotações de culturas com o uso de leguminosas fixadoras de N<sub>2</sub> atmosférico podem contribuir para uma maior oferta de N do solo. A cultura da soja, que ocupa uma extensa área no Brasil nas safras de verão, além de sua importância como fonte de óleo e proteínas, pode amenizar um cenário futuro de deficiência de N do solo como componente da rotação de culturas, capaz de fixar nitrogênio do ar suficiente para alta produtividade e deixar um excedente para a próxima cultura na forma de resíduos de colheita.

Apesar de ser evidente que uma elevação dos níveis de CO<sub>2</sub> possa resultar em maiores taxas fotossintéticas de espécies com via C3, com reflexos diretos na produtividade, em cenários de maior aumento de temperaturas globais, este efeito benéfico do enriquecimento de CO<sub>2</sub> seria compensado pelos efeitos negativos decorrentes de altas temperaturas. A Figura 1, que reúne dados compilados por Fuhrer (2003), exemplifica bem o efeito das alterações de temperatura sobre a produtividade da cultura do trigo, anulando os efeitos positivos de uma atmosfera mais rica em CO<sub>2</sub>.

Existem marcadas diferenças na adaptabilidade à temperatura e ao comprimento do dia entre culturas com via de assimilação de carbono (via fotossintética) C4 e aquelas com a via C3. De modo geral, a resposta fotossintética ótima é obtida em níveis mais elevados de temperatura e de radiação nas plantas C4 do que nas espécies C3 (Tabela 1). O estresse devido a altas temperaturas causa um conjunto de mudanças morfo-anatômicas, fisiológicas e bioquímicas nas plantas C3 (WAHID *et al*, 2007), que afetam seu desenvolvimento, e podem resultar, em alguns casos, em drásticas reduções de produtividade.

**Figura 1.** Efeitos da alta concentração de CO<sub>2</sub> e de temperatura elevada, e da combinação de ambas sobre a produtividade relativa de trigo; produtividades nas condições alteradas em relação às condições normais do ambiente dos estudos



Fonte: Fuhrer (2003).

Segundo dados de cenários de clima gerados por modelos gerais de circulação, em 2050 a cultura da soja no Brasil seria beneficiada pela maior concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, com aumentos de produtividade da ordem de 20%. As produtividades de trigo e milho seriam reduzidas por efeitos de temperatura sobre os ciclos das culturas (SIQUEIRA *et al*, 2001). Destaca-se, entretanto, que não foram considerados efeitos de pragas e doenças e de riscos climáticos, que poderiam modificar drasticamente as previsões de produtividade para as culturas.

Nowak et al. (2004) e Ainsworth e Long (2005), observaram um aumento de 10% na produção de biomassa aérea em pastagens de plantas C3. Em áreas de pastagens tropicais, há uma predominância de plantas C4, as quais, segundo estudos revisados por Poorter (1993) (citado in HOWDEN et al., 1999), apresentam um menor aumento na produção de matéria seca (28%) comparada a plantas C3 (71%), sob concentrações atmosféricas dobradas de CO<sub>2</sub>. Os ganhos seriam atribuídos mais ao aumento da eficiência de uso da água que propriamente a maiores taxas de assimilação de CO<sub>2</sub>. O aumento na eficiência de uso da água decorre de uma menor condutividade estomatal que reduz a perda de umidade enquanto os níveis aumentados de CO<sub>2</sub> atmosférico mantêm as concentrações internas de CO<sub>2</sub> e, assim, a fotossíntese. Ainda, há que se considerar o efeito combinado de concentrações crescentes de CO<sub>2</sub> e variações da temperatura, as quais em regiões tropicais podem ter um efeito mais adverso se comparadas às regiões temperadas, em função de uma maior evaporação e evapotranspiração, além de outros efeitos diretos (temperatura, precipitação) e indiretos (ex., pragas e doenças) sobre a planta.

Reconhece-se atualmente que os efeitos de elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> observados em sítios experimentais podem estar superestimando as respostas reais ao nível de fazenda, devido a que fatores limitantes tais como ocorrência de pragas e doenças, ervas daninhas, competição por água e nutrientes, entre outros fatores, não são ainda bem conhecidos em grandes escalas, e nem suficientemente implementados nos mais sofisticados modelos disponíveis (IPCC, 2007).

### **3. VULNERABILIDADE DE ÁREAS DE PASTAGEM E SISTEMAS DE PRODUÇÃO ANIMAL**

Há ainda uma grande incerteza sobre os efeitos da mudança global sobre sistemas de produção animal. Há previsão de que a produção animal na América Latina, predominantemente caracterizada pelo sistema de pastagem, será negativamente afetada pela maior variabilidade da precipitação. O padrão sazonal de disponibilidade de água e a baixa disponibilidade de nutrientes dos solos constituem fatores limitantes nas áreas de pastagem de boa parte da região, e o já baixo valor nutricional das pastagens tropicais pode diminuir ainda mais como consequência do aumento da relação C:N (carbono:nitrogênio) (ZHAO et al., 2005).

Entre os fatores de maior importância para os sistemas de produção animal estão o aumento da temperatura e o efeito de fertilização do CO<sub>2</sub>. Segundo estudo da FAO (2003), a atividade pecuária nas regiões temperadas, especialmente em países desenvolvidos, será mais favorecida, enquanto em países em desenvolvimento será prejudicada por perdas devido ao estresse de calor nas criações.

Em relação a um efeito direto sobre os animais, a temperatura é o fator mais importante. A variação no regime de chuvas pode afetar os animais por efeito da secagem de reservatórios e impossibilidade de fornecimento de água para consumo. O estresse ao calor influi negativamente na produção de leite e reprodução de vacas leiteiras, bem como na fertilidade de suínos (BERMAN, 1991; HAHN & MADER, 1997; HAHN, 1999, citados em ZHAO et al. 2005).

O Brasil, maior exportador de carne do mundo, possui um rebanho bovino predominantemente de raças zebuínas, que é um aspecto favorável para termotolerância, frente a um cenário futuro de temperaturas mais elevadas. O gado zebu ou indiano (*Bos indicus*) apresenta vantagens sobre o europeu (*Bos taurus*) quanto a termotolerância, pois os animais zebuínos têm maior capacidade de regular a temperatura do corpo em condições de estresse térmico, e as altas temperaturas têm menor efeito sobre as células de seu corpo, em comparação ao gado europeu. Além disso, os pêlos do gado zebu têm propriedades que aumentam a perda de calor e reduzem a absorção da radiação solar (HANSEN, 2004). Quanto às criações de frangos, que dão ao Brasil o segundo lugar em produção, também poderão ser afetadas pelas mudanças no clima. Os animais adultos têm desenvolvimento ótimo em temperaturas entre 18 e 20°C, e são sensíveis a altas temperaturas, com elevada mortalidade quando a temperatura ambiente excede 38°C. O estresse por calor é responsável por grandes perdas no rendimento de frangos, ocorrendo diminuição do peso corporal e aumento de mortalidade (FABRÍCIO, 1994). A termotolerância tem sido pesquisada, porém os avanços são pequenos. Aclimação com exposição dos pintos recém-nascidos (até cinco dias de idade) ao estresse por calor não letal (ARJONA et al., 1988), ou aves com o genes que conferem redução no empenamento, com maior perda de calor (CAHANER et al., 1993), são tentativas para se conseguir melhor comportamento dessas aves em condições de estresse pelo calor. Uma possível solução pode estar no investimento em instalações que amenizem os efeitos de altas temperaturas.

Além dos fatores climáticos diretos, outros fatores que afetam a pecuária são o impacto de mudanças na disponibilidade de alimento e preço de grãos, impactos nas áreas de pastagem e culturas forrageiras, e incidência de doenças de plantas e animais (ZHAO et al., 2005).

#### **4. VULNERABILIDADE DE SOLOS AGRÍCOLAS**

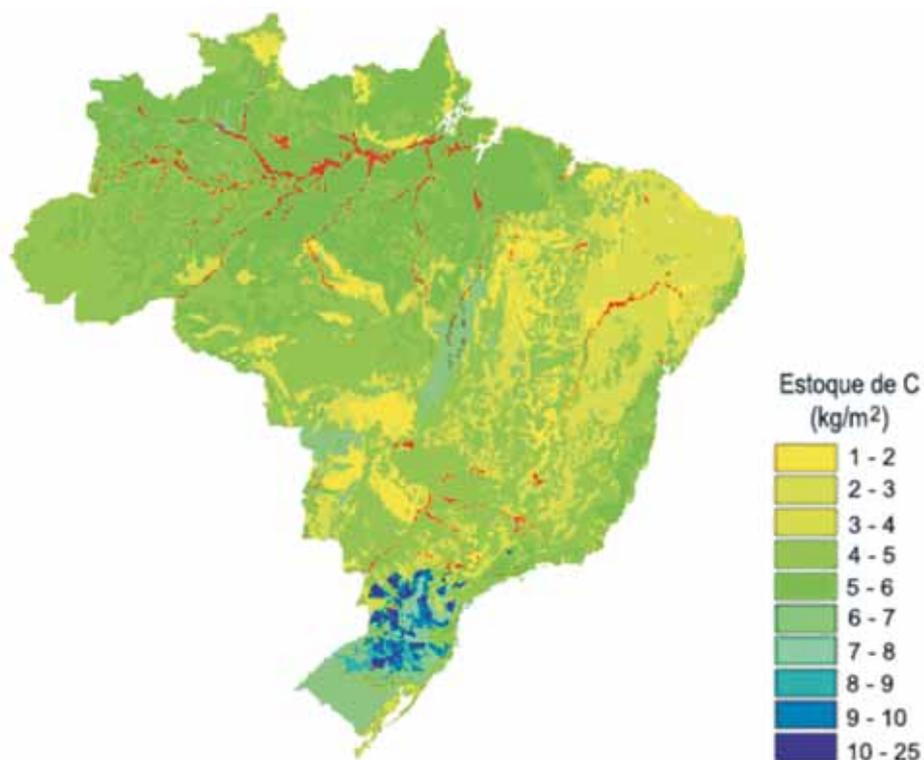
Efeitos potenciais das mudanças climáticas sobre a matéria orgânica do solo ainda são muito incertos. É, porém, um consenso que uma alteração significativa nas reservas de carbono desse compartimento terá importante efeito na composição de gases da atmosfera e, conseqüentemente, impactos no clima do planeta. Uma mudança climática pode induzir a perdas de matéria orgânica do solo, perturbando o balanço de entrada e saída de nutrientes, de modo a influenciar a produtividade dos sistemas agrícolas.

A quantidade de carbono existente no solo é o resultado líquido dos processos de deposição e decomposição de resíduos orgânicos, estando o primeiro em função da produção primária da vegetação existente. Estima-se que os estoques originais em áreas sob vegetação nativa, nos primeiros 30 cm de profundidade, eram aproximadamente de 37 Pg de C, sendo os maiores estoques observados na região Sul do País (Figura 2).

A inevitável remoção de parte da vegetação nativa para uso do solo na agricultura significou uma redução dos estoques de carbono dos solos, cujo grau dependeu da intensificação do uso, tal como mostrado na Tabela 2 que exemplifica o efeito sobre o uso do solo em importantes biomas do país. A perda de carbono do solo explica-se em parte pela menor produção de resíduos em áreas cultivadas em comparação com as de vegetação nativa, e em parte devido ao manejo do solo, que por muito tempo foi praticamente realizado em bases convencionais, com arados e grades.

A crescente adoção de sistemas de produção baseados no plantio direto, e cultivo mínimo, com rotações de culturas em que se consideram espécies vegetais que promovam a cobertura do solo e alta produção de resíduos, destacando-se aqui os sistemas de integração lavoura-pecuária, vem permitindo não somente a redução nas perdas, mas uma acumulação de carbono do solo, contribuindo para mitigar o efeito-estufa do planeta (BODDEY et al, 2006; CERRI et al, 2007).

**Figura 2.** Estoques de carbono ( $\text{kg m}^{-2}$ ) no território brasileiro (www.mct.gov.br)



**Tabela 2.** Efeito do uso do solo sobre o estoque de carbono até 1 metro de profundidade, em regiões de floresta subtropical e Cerrados

Uso do solo	Estoque de C ( $\text{kg m}^{-2}$ ) para diferentes camadas de solo (cm)	
	0-30	0-100
Florestas (subtropical)	13,04	28,99
Cultivado (ex. Floresta)	6,56	13,58
Cerrados	9,35	19,46
Pastagens (ex. Cerrados)	7,52	13,61
Cultivado (ex. Cerrados)	6,33	16,11

Adaptado de Lal & Kimble (2000)

Mudanças no regime de chuvas e na temperatura afetarão diretamente a produção vegetal, com conseqüente alteração do equilíbrio entre deposição e decomposição de resíduos (GREENLAND et al., 1992). O aumento da temperatura média do solo, em função do aumento de temperatura do ar, terá efeito direto no metabolismo dos organismos que atuam na decomposição da matéria orgânica do solo. Conforme discutido por Davidson e Janssens (2006), a decomposição da matéria orgânica é acelerada com o aumento da temperatura, mas esse efeito varia em função do componente da matéria orgânica, de modo que a fração que está protegida pelos agregados do solo não se alteraria muito somente pelo efeito da temperatura. Porém, se ocorre desagregação do solo por impacto direto das gotas de chuva ou pela mecanização do solo, a matéria orgânica se torna desprotegida e fica suscetível à mineralização, que será mais intensa em um cenário de altas temperaturas. Neste caso, o sistema de plantio direto, que pressupõe proteção contínua do solo pela manutenção da palha, seria um componente importante na atenuação dos efeitos da mudança do clima sobre as perdas de carbono do solo.

A consideração de uma mudança no regime de chuvas, junto à elevação da temperatura, traz incertezas sobre as conseqüências da mudança do clima no estoque de carbono do solo. Chuvas mais intensas podem quebrar agregados e expor a matéria orgânica do solo, sendo que o solo úmido favorece a atividade de microrganismos e o acesso destes à matéria orgânica. Por outro lado, em condições mais secas, a decomposição é reduzida. Além disso, o umedecimento do solo após longos períodos de estiagem é dificultado por um efeito que repele a água. Esse efeito também ocorre em áreas sujeitas a queimadas freqüentes (DAVIDSON e JANSSENS, 2006), o que pode ocorrer em um cenário de temperatura mais altas, principalmente em regiões florestais.

Essas possibilidades alimentam as incertezas sobre o impacto da mudança do clima sobre as reservas de carbono dos solos.

Com relação às crescentes concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera, recentes pesquisas indicam que o estoque de carbono na matéria orgânica do solo pode aumentar, e inclusive pode haver uma saturação deste estoque sob elevadas concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007).

Há ainda incertezas sobre o efeito de eventos extremos (ex. altas temperaturas, inundações, etc.) e de outros poluentes atmosféricos (ex. ozônio

troposférico) no carbono dos solos, especialmente em relação a solos tropicais, o que reforça a necessidade de mais pesquisa neste tema no país.

Na tentativa de encontrar possíveis formas de reduzir a vulnerabilidade de solos agrícolas aos riscos da mudança do clima, o IPCC (2007) destaca a importância de se identificar sinergias entre as estratégias de adaptação e de mitigação nos sistemas agrícolas, vinculando as questões sobre seqüestro de carbono, emissões de gases de efeito estufa, mudança de uso da terra e sustentabilidade de sistemas de produção dentro de redes coerentes de política de clima .

## 5. EFEITOS DA MUDANÇA DE CLIMA SOBRE AS FLORESTAS

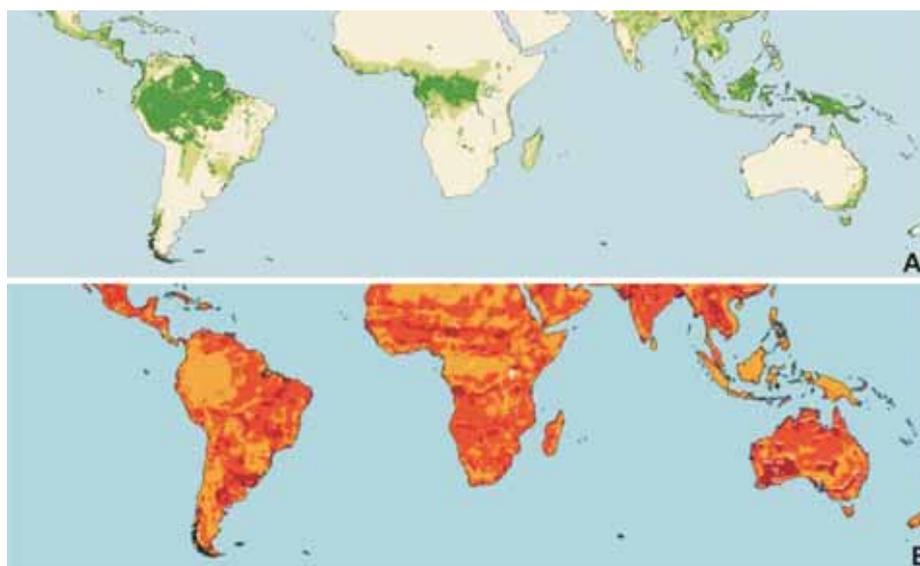
A queimada de áreas florestais e a utilização dos solos para agricultura de forma intensiva contribuem grandemente para a elevação dos gases de efeito estufa na atmosfera, no caso do Brasil representando mais de 80% de suas emissões totais por efeito antrópico (TEIXEIRA et al, 2006).

Ecossistemas florestais podem ser profundamente afetados pelas alterações nas concentrações de CO<sub>2</sub> da atmosfera e pelas alterações de variáveis climáticas. Os modelos de circulação global apontam para aumentos de temperatura significativos em áreas sob vegetação natural, incluindo-se a Amazônia (Figura 3). Nesse caso, a produção de biomassa e a diversidade podem ser influenciadas de modo negativo ou positivo.

A grande elevação das concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera prevista para as próximas décadas deverá ter um efeito positivo no crescimento das árvores, cuja magnitude será influenciada pelas espécies vegetais, fertilidade do solo e efeito de outros poluentes no ar (KARNOSKY et al, 2003). Oren et al (2001) comprovou o efeito fertilizante de atmosferas mais ricas em CO<sub>2</sub> sobre espécies de *Pinus taeda*, mas os experimentos mostraram que em solos de baixa fertilidade o efeito fertilizante não foi observado. Como a maioria das florestas encontra-se em solos de baixa fertilidade, sendo o nitrogênio um importante fator limitante do crescimento das árvores (VITOUSEK & HOWARTH, 1991), não se pode esperar um efeito compensatório muito expressivo do excesso de CO<sub>2</sub> na atmosfera pelo seqüestro de C na biomassa das florestas. Aumentos na biomassa aérea em concentrações de 500 ppm de CO<sub>2</sub> para árvores foram observados na faixa de 0-30%, com valores mais elevados em árvores jovens e pouco ou sem

resposta em florestas naturais maduras (NOWAK et al., 2004; AINSWORTH e LONG, 2005, citados em IPCC, 2007).

**Figura 3.** (A) Áreas sob florestas tropicais no globo, em verde;  
(B) vulnerabilidade em função das mudanças climáticas



VINHO – ALTO  
VERMELHO – MEDIA  
LARANJA – BAIXA

Fonte: WWF - [www.panda.gov.br](http://www.panda.gov.br)

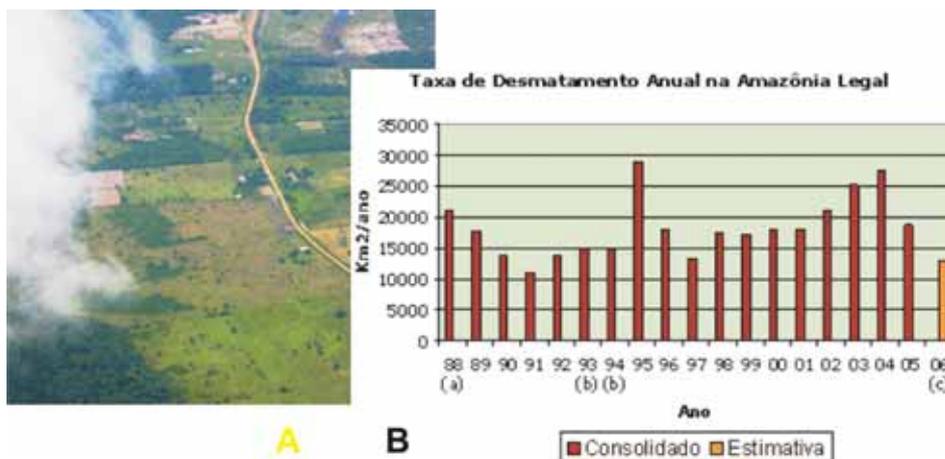
A elevação da temperatura tem efeito direto no mecanismo fotossintético, e em condições extremas pode levar ao colapso do sistema (LARCHER, 2000). A disponibilidade de água é fator-chave nesse processo, e algumas regiões, como a Amazônia, poderão sofrer de estresse hídrico, tornando-se muito vulneráveis, embora as incertezas ainda sejam grandes (NOBRE, 2001).

A disponibilidade de N e outros nutrientes no solo poderão aumentar devido à uma aceleração na decomposição da matéria orgânica do solo pelo aumento de temperatura (MELILLO et al, 2002), ficando mais disponíveis para o desenvolvimento das plantas, o que permitiria aumentar os estoques de C do sistema na forma de biomassa. A presença de poluentes na troposfera, como o O<sub>3</sub>, em efeito combinado com maiores concentrações de

CO<sub>2</sub>, pode diminuir as defesas da planta e aumentar a ocorrência de pragas, cujo efeito seria a redução na produção vegetal (PERCY et al 2002). No entanto, algumas pragas e doenças podem ser negativamente afetadas, possibilitando melhor desenvolvimento da floresta (ZHAO et al, 2005).

A Floresta Amazônica tem sido foco de especial atenção quanto aos possíveis efeitos da mudança do clima. A região Amazônica guarda a maior parcela remanescente de floresta tropical do mundo, cuja importância reside em seu papel na regulação hidrológica e do clima de vasta área da América do Sul, além de possuir um grande estoque de carbono e de biodiversidade (FEARNSIDE, 1999). Devido à sua importância, existe grande receio quanto aos potenciais impactos globais que ocorreriam com o gradual desaparecimento da Floresta Amazônica. Essa preocupação advém das elevadas taxas de desmatamento que têm sido registradas ao longo dos anos, fruto de aberturas de estradas que facilitam o acesso, a exploração dos recursos florestais, e o estabelecimento de pastagens, normalmente acompanhados por queimadas (Figura 4).

**Figura 4.** Desmatamento próximo das estradas abertas em meio a Floresta Amazônica (A). A exploração dos recursos da floresta e uso do solo para atividade agrícola respondem por elevadas taxas de desmatamento (B).



Fonte: [www.inpe.br](http://www.inpe.br), Inpe divulga estimativa do desmatamento na Amazônia Legal para o período Agosto 2005 – Agosto 2006, em 26/10/2006).

O desmatamento traz impactos desastrosos para o meio ambiente, e os fragmentos remanescentes ficam cada vez mais vulneráveis aos eventos climáticos. Laurance e Williamson (2001) mostraram que os fragmentos de floresta são mais vulneráveis do que as florestas intactas aos danos periódicos causados pelas secas geradas do fenômeno El-Niño, que leva a danos fisiológicos e até morte de árvores situadas nas bordas da floresta. Essas áreas ficam mais secas e as chances de incêndio aumentam, e provavelmente será mais determinante da permanência de cobertura vegetal do que a própria mudança climática (ZHAO et al, 2005). A substituição de áreas de floresta por pastagens tem efeito imediato sobre a temperatura, evapotranspiração e precipitação. Estudo realizado com modelos de circulação global confirma esses efeitos, com aumento dos períodos de seca, o que seria limitante para o desenvolvimento das florestas tropicais úmidas adaptadas a condições de ausência ou curto período de seca (NOBRE et al, 1991).

O predomínio de um ambiente mais seco tem efeito negativo direto sobre as grandes árvores da floresta, que acabam dando lugar a outras espécies mais tolerantes à seca, o que pode culminar com a savanização da Amazônia.

Os resultados disponíveis na literatura ainda trazem muita incerteza sobre o impacto da mudança do clima sobre a produtividade e a sobrevivência das florestas, especialmente as tropicais. No entanto, parece consistente que a região Amazônica deverá sofrer com temperaturas mais elevadas, e por eventos periódicos de El-Niño cada vez mais intensos, aumentando os riscos das queimadas. Sem dúvida, as áreas de florestas no país tornam-se mais vulneráveis devido ao desmatamento e às queimadas.

Finalmente, as florestas exercem um grande efeito sobre a umidade e temperatura do ar, dentro de escalas locais, regionais e globais. A evapotranspiração na Floresta Amazônica, por exemplo, alimenta as chuvas que passam pelos Andes e chegam ao centro-sul do Brasil (FEARNSIDE, 2006), região que responde pela grande maioria da produção agrícola nacional. Assim, alterações nas áreas sob florestas podem resultar em grande impacto para a agricultura do país.

## **6. EVENTOS EXTREMOS SIGNIFICANTES PARA A AGRICULTURA**

A frequência e a magnitude de muitos eventos climáticos extremos aumentam mesmo com uma pequena elevação da temperatura, e se tornará

maior sob temperaturas mais elevadas. Eventos extremos incluem inundações, déficits de umidade do solo, ciclones tropicais, tormentas, altas temperaturas, e incêndios. Os impactos dos eventos extremos são freqüentemente grandes localmente e podem afetar significativamente setores específicos e regiões. A agricultura tende a ser mais vulnerável aos extremos hidrológicos e de temperatura, já que este setor depende fortemente dos recursos naturais. O crescimento de culturas e a qualidade da produção podem ser relativamente mais sensíveis a eventos climáticos extremos de curta duração, tais como temperaturas muito elevadas, geadas severas, chuvas de granizo, e seca persistente, situações essas verdadeiramente temidas pelos agricultores.

A dimensão do dano que uma cultura sofre depende do estágio de desenvolvimento da cultura no momento em que se dá o evento extremo. Um exemplo pode ser dado pela cultura de cereais, em que sob altas temperaturas imediatamente antes do período de florescimento, ocorre uma redução no número de grãos formados, resultando em produções reduzidas de grãos.

Para quantificar o risco de eventos extremos e suas conseqüências para as culturas, estudos devem considerar atividades de modelagem de culturas. Modelos de ampla escala mascaram, freqüentemente, eventos extremos locais. Daí a importância de se desenvolver modelos de eventos extremos específicos para cada cultura.

Segundo Marengo (2006), os modelos climáticos globais não têm apresentado uma simulação satisfatória de eventos extremos de chuva no presente, e as afirmações de que extremos poderão ser mais intensos e freqüentes baseiam-se mais nas observações feitas nos últimos 50 anos e não necessariamente nas projeções dos modelos.

Registros para o Rio Grande do sul, por exemplo, mostram que os eventos de enchentes e de secas prolongadas neste Estado estão relacionados, respectivamente, aos fenômenos de El-Niño (aquecimento das águas do Oceano Pacífico) e de La-Niña (esfriamento das águas Oceano Pacífico). Perdas de safra são observadas durante esses eventos. Pela estatística disponível para as últimas duas décadas, a cada dez safras, quatro foram afetadas por eventos de seca. Mesmo com um sistema de previsão em funcionamento, baseado em monitoramento das águas do Pacífico, grandes prejuízos ainda são observados nas áreas de produção. A precipitação pluvial

ocorrida nos três meses de verão de 2004/2005 foi menor que 200mm em grande parte do Estado, a menor dos últimos 53 anos (BERLATO e CORDEIRO, 2005). Segundo esses autores, a forte estiagem ocasionou uma quebra na safra de grãos, que no Brasil foi da ordem de 20 milhões de toneladas.

Somente no Rio Grande do Sul, os prejuízos foram superiores a 3,5 bilhões de reais. As quebras de safra afetam mais drasticamente as populações rurais mais pobres, que perdem escassos recursos investidos para seu sustento, e que em situações mais extremas são atingidas pela fome, tal como se observa durante os eventos de seca na Região Nordeste.

## **7. PROJEÇÕES DE IMPACTOS E RISCOS À AGRICULTURA NO PAÍS**

Não se tem ainda uma razoável dimensão das conseqüências da mudança climática na agricultura brasileira de modo geral, embora sejam de grande interesse em vista da contribuição econômica desse setor ao país, com um PIB de aproximadamente 6,4 % (média dos PIBs de 2000 a 2005, considerando o Valor Adicionado da Agropecuária a Preços Básicos, segundo o IBGE (comunicação pessoal). O Brasil é um importante exportador de produtos agrícolas, como açúcar, suco de laranja, carne de frango, carne bovina, carne suína, café, tabaco, farelo de soja, soja, óleo de soja, algodão, além de celulose e frutas, condição esta que poderá ser mudada em função das condições climáticas das áreas atualmente recomendadas para a produção dessas culturas.

Com base em evidências observacionais e tendências já observadas no Brasil, assim como em estudos feitos considerando projeções climáticas derivadas de modelos climáticos do IPCC, entre outras fontes, Marengo (2006) aponta, que as culturas perenes, como a laranja, tendem a procurar regiões com temperaturas máximas mais amenas com a produção se deslocando para o sul do país. Elevadas temperaturas no verão irão condicionar o deslocamento das culturas para áreas com clima mais favorável, podendo implicar em redução de área plantada, como é o caso do arroz, feijão e soja.

No Brasil, destacam-se os estudos realizados por Siqueira et al. (1994, 2001), Alves e Evenson (1996), Assad et al (2007), Pinto et al. (2004), Zullu Jr. et al. (2006), cujas principais conclusões serão apresentadas a seguir.

## 7.1. SIMULAÇÃO BASEADA EM MODELOS DE CIRCULAÇÃO GLOBAL E DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO PAÍS

A projeção de futuras produções agrícolas sob diferentes cenários de mudança do clima, por meio de modelos de simulação que integrem componentes do sistema solo-planta-clima, tem-se mostrado importante instrumento para a avaliação de estratégias tecnológicas e de impactos ambientais.

Usando modelos de circulação geral (General Circulation Models-GCMs), como GISS, GFDL e UKMO, e modelos de produção agrícola, Siqueira et al. (1994, 2001) apresentaram projeções sobre os efeitos potenciais da mudança climática global na agricultura brasileira, tomando como referência 13 diferentes locais do país e as culturas de trigo, milho e soja. O impacto na produção de grãos seria relativamente grande, de forma a serem previstas reduções na produção de trigo e de milho. De outro lado, a produção nacional da cultura da soja apresentaria aumento.

Segundo Siqueira et al. (1994, 2001), para o cultivo de trigo os modelos projetaram uma redução na produtividade em cerca de 30%, com encurtamentos do ciclo de crescimento da planta entre 14% e 15%, onde os maiores efeitos previstos ocorreriam na região centro-sul (zona climática de transição entre clima tropical e temperado). As projeções para o cultivo de milho no país não se mostraram favoráveis de acordo com as projeções dos autores, com reduções na produtividade estimadas em 14% e 33% (16% em média), afetando mais as regiões centro-sul e norte, com encurtamentos de ciclo entre 33% e 21%, respectivamente.

As projeções para a cultura da soja foram positivas, com previsão de aumento na produtividade entre 5% a 34% (21% em média), sendo que os efeitos no comprimento do ciclo são variáveis entre as regiões, com maiores impactos nas regiões centro-sul e sul, e inexpressivos nacionalmente (SIQUEIRA et al., 2001).

A Região Nordeste seria especialmente vulnerável aos decréscimos de produções de milho e as regiões central e centro-sul às reduções na produção de trigo. A Região Sul seria vulnerável às reduções de trigo e de milho e a Região Norte às reduções de milho.

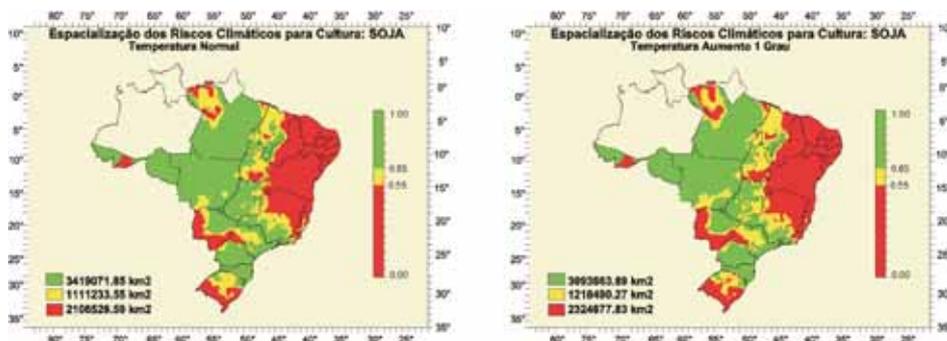
Usando o modelo de equilíbrio atmosférico GISS *transient*, Siqueira et al. (1994, 2001) simularam cenários com modificações graduais de CO<sub>2</sub> nas plantas, para a avaliação de possíveis impactos na produção agrícola. As projeções apontaram para um declínio da produção de trigo e de milho no período de 1990-2060, com maior expressão na região centro-sul, enquanto as projeções apresentaram-se lineares para a produção de soja, e menos intensas para a Região Nordeste.

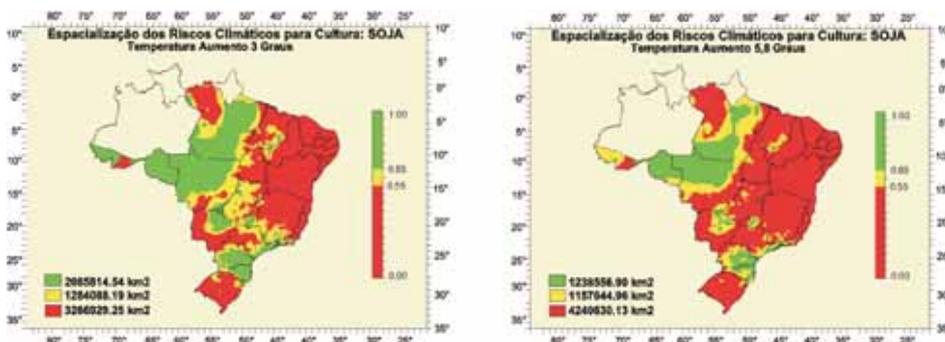
Segundo esses autores, as principais limitações do estudo residiram no fato de que os simuladores utilizados não foram validados para todas as regiões analisadas e que a tecnologia e o uso das terras foram assumidos constantes, mesmo cientes de que os mesmos provavelmente seriam modificados no futuro. Também apontaram a necessidade de estudos para avaliar as reais implicações dos efeitos fisiológicos diretos do CO<sub>2</sub> no desenvolvimento e na produtividade das culturas.

## 7.2. RISCOS AO ZONEAMENTO CLIMÁTICO DE CULTURAS

Recentes estudos indicam que, em função de cenários de aumento de temperatura, poderão ser aumentados os riscos de perda de produção de várias culturas, assumindo-se que permaneceriam nas mesmas áreas, atualmente consideradas apropriadas para agricultura. Para o país, cenários de riscos ao zoneamento climático mostram uma redução de área favorável ao cultivo de importantes culturas do país, sendo a cultura do café a mais prejudicada, seguida pela soja (Figura 5 e Tabela 3). Existem incertezas

**Figura 5.** Impacto da variação da temperatura média do ar sobre a disponibilidade de áreas potencialmente favoráveis ao cultivo da soja no Brasil. Do verde para vermelho, passando pelo amarelo, significa variação de área mais favorável para menos favorável ao cultivo da soja





nessas estimativas, principalmente pela carência de informações para as muitas variáveis envolvidas, mas servem para nortear o desenvolvimento de estratégias de adaptação para a agricultura, e certamente subsidiar o planejamento de políticas públicas para o setor.

**Tabela 3.** Redução futura de área de plantio de algumas culturas esperada para um cenário otimista de aumento de +1 °C na temperatura média global, e para um cenário pessimista, com aumento de + 5,8 °C, tendo como referência a área atual potencialmente utilizável

Cultura	Área atual Potencial (km <sup>2</sup> )	Redução de área (%)	
		Cenário otimista (+1 °C)	Cenário pessimista (+5,8 °C)
Arroz	4.755.204	4	41
Feijão	5.141.047	3	23
Soja	3.419.072	10	64
Milho	5.169.034	2	14
Café	904.971	23	92

Modificado de Assad et al (2007)

Potenciais impactos do aumento da temperatura média do ar de 1°C, 3°C e 5,8°C e de um incremento de 15% na precipitação pluvial no zoneamento agroclimático do café (*Coffea arábica* L.) foram simulados e avaliados por Assad et al. (2004) para os Estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná. Os riscos climáticos para a cafeicultura nesses Estados foram definidos a partir dos valores de deficiência hídrica anual, temperatura média anual, e probabilidade de geadas, gerando um mapa de zoneamento dos riscos. Na simulação, com base nos mapas de temperatura (1°C, 3°C, 5,8°C), as evapotranspirações e valores de balanço hídrico foram recalculados. Os autores apontaram uma potencial redução de 95% da área apta ao cultivo

do café em Goiás, Minas Gerais e São Paulo, e de 75% no Paraná, sob um cenário de aumento de 5,8°C na temperatura. Com base nessa metodologia, impactos sobre a produção de milho foram também avaliados por Zullu Jr. et al. (2006). Segundo suas projeções, a produção de grãos diminuiria mais rapidamente em regiões com solos de textura arenosa do que nos de textura argilosa à medida que a temperatura aumentar. Com um aumento de 5,8 °C na temperatura, haveria uma redução drástica da aptidão para a produção de milho, independentemente da textura do solo. Ainda segundo os autores, aumentos na pluviosidade não seriam suficientes para amenizar os impactos associados aos aumentos nas temperaturas médias.

### 7.3. MODELO RICARDIANO

Sob outra abordagem metodológica, Alves e Evenson (1996) e Sanghi et al. (1997) estimaram o impacto da mudança climática global na agricultura brasileira usando o modelo *Ricardiano* (MENDELSON, NORDHAUS e SHAW, 1994). O modelo consiste em avaliar a influência de variáveis como produção, trabalho, fertilizantes, construções, estradas, pesquisa científica, adoção de tecnologia, extensão rural, e de variáveis climáticas (temperatura, pluviosidade, radiação solar, etc.) e edáficas (tipo de solo, declividade, textura, etc.), sobre a produtividade da terra, e por conseguinte, sobre o preço desta. O modelo *Ricardiano* analisa os valores da terra por meio de diferentes nas climáticas, associando estes valores com variáveis climáticas (temperaturas e precipitações) e outros fatores. Trata-se de uma aproximação de corte transversal (*cross-section*), que se baseia na hipótese formulada por David Ricardo, de que o valor da terra reflete o valor presente da produtividade esperada da terra no futuro. Os resultados são apresentados em termos da diferença entre o valor estimado da terra em um cenário climático futuro e o valor da terra no cenário atual. A partir dessa análise, seria possível estimar os impactos de adaptações dos produtores às alterações climáticas sobre a produção e a produtividade de estabelecimentos agrícolas. Segundo os autores, o impacto líquido da mudança do clima seria negativo para a agricultura brasileira, sobretudo para a Região Centro-Oeste, onde predominam os cerrados, enquanto a Região Sul seria moderadamente beneficiada pelo aquecimento.

Em continuação a esse trabalhos, recentemente, foi realizado um estudo em sete países da América do Sul (Argentina, Brasil, Chile, Colômbia,

Equador, Uruguai e Venezuela), com o objetivo de avaliar o impacto da mudança climática sobre a agricultura, bem como as vulnerabilidades e possíveis rumos de adaptação em cada país. Este estudo (*Climate and Rural Poverty: Incorporating Climate into Rural Development Strategies*) é parte de um projeto maior da *Yale School of Forestry and Environmental Studies* financiado pelo Banco Mundial e aplicado aos países do Cone Sul e Andinos da América do Sul. Nesse trabalho foram identificados impactos da variabilidade do clima e da mudança do clima sobre os recursos naturais e sobre a pobreza rural em regiões do Brasil. Também foram exploradas as adaptações que os fazendeiros já estão usando para adaptar-se ao clima e novas adaptações possíveis de serem adotadas tendo em vista cenários futuros. Os resultados indicaram que as mudanças na temperatura e na precipitação afetarão negativamente os valores de terra para produtores de pequena escala em 9-31%, e de produtores comerciais em 47-80% (MENDELSON et al., 2007).

#### 7.4. EFEITO DA MUDANÇA DO CLIMA SOBRE PATÓGENOS

Mudanças do clima estão associadas à sensibilidade das plantas à umidade e respostas a patógenos. A mudança do clima pode levar a doenças emergentes por meio de alterações graduais do clima (por meio de alteração de vetores invertebrados ou aumentando estresses de temperatura e água nas plantas) e uma maior frequência de eventos de clima incomuns (tendência a tempo seco favorece insetos vetores e viroses, enquanto tempo úmido favorece patógenos fúngicos e bacterianos) (ANDERSON et al., 2004).

Em estudo sobre a sigatoka-negra da bananeira, usando mapas de distribuição da doença e cenários do IPCC, Ghini et al (2007) sinalizaram para uma redução da área favorável à doença no país, especialmente nos cenários A2 e B2<sup>1</sup>. O estudo considerou a premissa de que o desenvolvimento da doença é favorecido por temperaturas entre 20°C e 30°C, e umidade relativa acima de 70%, de modo que regiões com temperaturas médias

---

<sup>1</sup> O cenário A2 é um cenário de elevadas emissões de gases de efeito estufa, isto é, assume a manutenção dos padrões atuais de emissões. Descreve um mundo futuro muito heterogêneo, alto crescimento da população humana, O desenvolvimento econômico é principalmente orientado regionalmente. O cenário B2 é um cenário de menores emissões, com características mais otimistas em relação ao cenário A2. Descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. Apresenta moderado crescimento populacional, níveis intermediários de desenvolvimento econômico. É orientado para a proteção do meio ambiente e a equidade social, mas com foco nos níveis local e regional (IPCC, 2001c)

inferiores a 20 °C ou superiores a 30 °C ou umidade relativa média inferior a 70% foram consideradas desfavoráveis à doença.

Segundo Fernandes et al. (2004), o risco de incidência de *Fusarium* nas culturas de trigo é muito provável de aumentar sob mudança do clima no sul do Brasil e no Uruguai.

Poucos experimentos de mensuração em campo têm sido conduzidos no país com vistas à avaliação dos efeitos de mudança do clima sobre a agricultura, sendo os mesmos de grande importância para a validação de modelos de simulação utilizados para estimativa dos impactos nos solos agrícolas, culturas e atividades agropastoris.

## 8. ADAPTAÇÃO DA AGROPECUÁRIA À MUDANÇA DO CLIMA

A faixa de adaptabilidade fisiológica de espécies vegetais é ampla, o que fornece considerável capacidade de efeito tampão contra a variabilidade associada à mudança do clima. Por outro lado, é necessário ampliar o conhecimento sobre as potencialidades e as limitações dos sistemas de produção à mudança climática, considerando fatores determinantes da sustentabilidade agroclimática e grau de flexibilidade para tolerar as mudanças climáticas. Os fatores principais relacionados às plantas seriam as vias de assimilação de carbono, tolerância a estresses por altas temperaturas e períodos de seca, além do fotoperíodo, que poderia ser importante no caso da necessidade de migração das lavouras para diferentes latitudes. O tipo de solo, considerando-se suas características de estocagem de umidade, drenagem e risco à erosão, assim como manejo, também deve ser considerado.

A FAO (2003) identificou algumas ações destinadas à adaptação do setor agrícola à mudança do clima, como exemplo:

- formulação de mecanismos de apoio aos produtores de modo a auxiliá-los à adaptar-se à mudança do clima;
- manutenção de uma ampla base genética para culturas e desenvolvimento de variedades de culturas e raças de animais mais tolerantes à seca;

- melhoramento da resiliência de ecossistemas agrícolas pela promoção de práticas agroflorestais que utilizem e mantenham a diversidade biológica;
- melhorar a eficiência de uso da água e recarga de água subterrânea pela agricultura conservacionista;
- apoiar sistemas de pastagem e outros sistemas de produção animal, com atividades voltadas à produção de suplementos alimentares, serviços veterinários, e de suprimento de água, entre outras medidas.

A seguir, apresentam-se algumas estratégias de adaptação para sistemas agrícolas no Brasil, considerando o atual estágio de conhecimento.

### 8.1. ZONEAMENTO AGROCLIMATOLÓGICO

O zoneamento agroclimatológico é feito por meio da compilação de dados sobre clima, possíveis de serem obtidos de levantamentos em escala regional, com informações de temperatura e água requeridas para ótimo desenvolvimento de uma cultura. As informações geradas permitem estimar os riscos de produção de cada cultura servindo como orientação ao melhor uso do solo.

O uso dessa ferramenta tem sido importante para identificar as melhores áreas para cada tipo de cultura, permitindo maiores produtividades, como por exemplo ocorreu com o cultivo de arroz de terras altas no Estado do Mato Grosso, atualmente o segundo maior produtor de arroz do Brasil, trabalho que vem sendo conduzido em várias regiões dos Cerrados pela Embrapa Arroz e Feijão ([www.cnpaf.embrapa.br](http://www.cnpaf.embrapa.br)). O zoneamento agroclimatológico permitirá, dessa forma, identificar áreas com maior vulnerabilidade à mudança do clima, assim como áreas que serão mais apropriadas para cada cultura em função do regime de chuvas e temperatura.

### 8.2. MELHORAMENTO VEGETAL

A temperatura e o regime de chuvas são as principais variáveis do clima que terão impacto na agricultura global devido às mudanças climáticas. Nesse sentido, o melhoramento vegetal é chave na adaptação das culturas às condições de estresse, que poderão ocorrer em maior intensidade em cenários futuros.

O estresse provocado pelas altas temperaturas, seja ele transitório ou contínuo, já afeta algumas regiões onde se pratica agricultura, inclusive no Brasil. Por meio da transferência entre indivíduos de características que garantem termotolerância, acredita-se ser possível superar o estresse térmico. O estresse por altas temperaturas pode ocorrer em diferentes fases de desenvolvimento das plantas, desde a germinação ao enchimento de grãos, o que alimenta o desafio para a pesquisa de controlar esta característica. Além disso, algumas espécies como a soja e feijão desenvolvem associações com bactérias do solo que nutrem a planta naturalmente. Essas associações também são afetadas pelas altas temperaturas. Diversos estudos vêm sendo conduzidos para seleção de variedades com potencial para tolerar os efeitos da temperatura, mas os avanços são lentos.

Algumas variedades que mostram tolerância à seca prolongada podem conter genes que garantem termotolerância, como deve ser o caso de algumas variedades de feijoeiro, especialmente plantados no nordeste brasileiro. O mapeamento dos genes e o desenvolvimento de técnicas que permitem sua transferência são objetivos prioritários para futuras pesquisas (WAHID et al 2007).

Quanto aos microrganismos, estudos envolvendo seleção de rizóbio capaz de nodular e fixar nitrogênio em condição de alta temperatura já permitiram o isolamento de estirpes eficientes para o feijoeiro (HUNGRIA et al 2000).

Além do impacto negativo das altas temperaturas, a seca é um dos estresses ambientais que mais afeta a produtividade das culturas no mundo. No entanto, o simples melhoramento das culturas para alta produtividade em condições livres do estresse hídrico já permite que as produtividades sejam mais elevadas quando as culturas passam por situações leves a moderadas de estresse (CATTIVELLI et al, 2008). Existem várias características nas plantas relacionadas ao estresse por déficit hídrico, e o melhoramento tradicional por cruzamentos entre indivíduos compatíveis é um caminho para se obter cultivares tolerantes a esse estresse. O cafeeiro da espécie robusta, por exemplo, possui características genéticas que lhe confere maior tolerância aos períodos de estiagem, e faz parte de pesquisas da Embrapa Recursos Genéticos para transferência dessas características ao cafeeiro da espécie arábica através de melhoramento convencional (Cenargen, Boletim Pecuário de 14/04/2007) Por outro lado, com os avanços

das técnicas moleculares, que permitiram o seqüenciamento genético de muitas espécies vegetais, foram identificados conjuntos de genes relacionados a características de tolerância a períodos de seca. O feijão-de-corda nordestino produz grande quantidade de um aminoácido chamado prolina, que dá à planta maior tolerância à seca e ao excesso de calor, cujos genes responsáveis foram isolados e agora fazem parte de estudos para transformação genética de culturas sujeitas ao estresse hídrico, tais como soja, milho, cana-de-açúcar etc. (ACT, 2007), com provável efeito positivo na termotolerância dessas espécies.

A Embrapa, em cooperação com o governo japonês, está testando uma nova variedade de soja que recebeu, através da biotecnologia, um gene que lhe dá maior capacidade de tolerar períodos mais secos (Figura 6) extraído da primeira espécie de planta a ter o genoma seqüenciado, denominada *Arabidopsis thaliana*. É uma planta herbácea da família das Brassicaceae, a que também pertence a mostarda. É um dos organismos modelo para o estudo de genética, em botânica, tendo um papel semelhante ao da drosófila, noutros tipos de pesquisa genética. As pesquisas ainda estão em andamento para avaliar o desempenho em condições de campo e possíveis impactos no ambiente, antes de ser liberada para uso comercial.

**Figura 6.** Soja com genes de tolerância a seca. Os quatro vasos à esquerda contêm o gene de tolerância, e os outros quatro vasos correspondem à soja comum.

Fotografia gentilmente cedida pelo Dr. Alexandre Nepomuceno, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR



### 8.3. MANEJO DE CULTURAS E SOLOS

Enquanto esforços são feitos para o melhoramento de plantas capazes de tolerar períodos anormais de altas temperaturas e estiagem, o manejo dos sistemas de produção pode contribuir de forma mais imediata para aliviar o problema. A cultura do café, por exemplo, é muito sensível a mudanças na temperatura, e segundo Assad et al. (2004), mais de 90% das áreas hoje utilizadas pela lavoura de café estariam comprometidas com uma elevação de cerca de 6 °C na temperatura média do ar. Uma possibilidade para atenuar este processo é a utilização de sistemas sombreados, tal como é feito na Costa Rica. Sob a copa das árvores as temperaturas seriam mais amenas, colaborando para a redução de riscos de perda de produtividade pelas altas temperaturas. Essa possibilidade já é tema de discussões para o futuro da cultura no País (artigo “Debate sobre arborização e mudanças climáticas traz alerta a cafeicultores” publicado em 21/11/2006 no Portal do Agronegócio – [www.portaldoagronegocio.com.br](http://www.portaldoagronegocio.com.br)), e já é implementada em fase experimental pela Embrapa em sistemas de produção de café orgânico (Figura 7), que conta com maior diversificação de espécies.

**Figura 7.** Cafeeiro sombreado em sistema orgânico, cultivado em consórcio com leguminosas arbóreas e bananeiras. Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ



A arborização é uma estratégia que pode ter benefícios para sistemas de produção de grãos e pastagens. Recentemente, a Embrapa vem investindo no desenvolvimento de sistemas silvipastoris e de produção integrada lavoura-pecuária-floresta. A presença das árvores no sistema de produção cria microclimas favoráveis não somente para as forrageiras, mas também para os animais, que também poderão ser afetados por ondas de calor causadas pela mudança do clima.

Outro sistema de grande impacto na economia de água do solo é o plantio direto (Figura 8). É um sistema que é utilizado em quase metade da área de produção de grãos no país, e é caracterizado pela ausência de movimentação do solo para o plantio, e por isso fica coberto por resíduos de colheita. O plantio direto passou a substituir o sistema convencional de preparo do solo como forma de conter o escoamento superficial da água (*run-off*) que arrastava grande quantidade de solo provocando a erosão. Segundo dados compilados por De Maria (1999), o plantio direto pode diminuir em 20% a perda de água por escoamento, devido à menor velocidade de escoamento pela presença dos resíduos sobre o solo. Além

**Figura 8.** Plantio direto na palha: redução das perdas de água por escoamento superficial e maior preservação de água no solo pela menor evaporação promovida pela cobertura de resíduos



disso, a presença de resíduos sobre a superfície do solo diminui a evaporação e relativamente mais água fica disponível para as plantas (SILVA et al, 2005), aumentando as chances da lavoura superar períodos de estiagem. No Brasil, estima-se que esta prática seja atualmente adotada em mais de 20 milhões de hectares, principalmente nas Regiões Sul e Centro-Oeste (CERRI et al., 2007).

## **9. RECOMENDAÇÕES PRELIMINARES DE POLÍTICAS E ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO PARA O SETOR AGROPECUÁRIO À MUDANÇA DO CLIMA**

Devido à necessidade de tomada de decisão frente a possíveis mudanças do clima, através de formulação de políticas públicas, é fundamental que os modelos de previsão regionais sejam aperfeiçoados, não somente em relação a ocorrências climáticas futuras, mas que sejam acompanhadas das incertezas, ou das probabilidades de perdas associadas. Opções de inação, mitigação e adaptação são decorrentes das expectativas e magnitude dos efeitos anormais do clima.

1) Estabelecimento e implantação de sólidos programas de P&D sobre avaliação de impactos da mudança do clima na agricultura e possíveis medidas de adaptação, considerando as principais culturas agrícolas e forrageiras, e incluindo eventos extremos significantes para a agricultura. Para isso será fundamental promover e fomentar a capacitação técnica sobre avaliação de riscos em função da mudança do clima, tendo em vista diferentes abordagens metodológicas aplicáveis às estimativas de vulnerabilidade.

Efeitos de crescentes concentrações de CO<sub>2</sub> no sistema solo-planta de ecossistemas agrícolas existentes no país, aliadas a aumentos previstos de temperatura, balanço de água e nutrientes, carecem de estudo no país. Pesquisas de campo e de laboratório devem ser fomentadas, de modo a gerar conhecimento sobre as respostas reais dos sistemas à mudança do clima, dando suporte a modelos de previsão.

Outras ações de P&D incluem iniciativas para implementar e melhorar bases de dados e informações socioeconômicas, meteorológicas, ambientais, agrícolas e demográficas, de modo a propiciar avaliações mais consistentes de impactos da mudança do clima na segurança alimentar e nas propriedades rurais do país, visando oportunidades para a redução da vulnerabilidade da pobreza rural que levem a ações ao nível local sobre medidas de mitigação

e de adaptação da mudança climática. Estudos que trabalhem a sinergia de práticas de mitigação e de adaptação deveriam ser apoiados.

2) Extensão rural com vistas à conscientização de produtores rurais sobre potenciais impactos de mudança do clima, e à orientação sobre medidas de adaptação.

3) Desenvolvimento de serviços de alerta quanto à ocorrência de eventos extremos e de variação climática.

4) Adoção de incentivos para a manutenção e ampliação de áreas florestadas, corredores florestais, sistemas integrados de lavoura-floresta, além do aumento da fiscalização sobre o uso do solo sob termos legais.

5) Desenvolvimento e adoção de tecnologias de gerenciamento de uso das terras e de melhoramento vegetal.

6) Adoção de incentivos para a manutenção e ampliação de áreas florestadas, corredores florestais, sistemas integrados de lavoura-floresta, além do aumento da fiscalização sobre o uso do solo sob termos legais.

7) Incentivo a sistemas de produção mistos (ex. sistema integrado de lavoura-pecuária-floresta).

8) Estímulo a projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) com vistas ao desenvolvimento sustentável e impacto positivo nas comunidades locais. Em face do perfil de emissões atuais do Brasil, é recomendável a discussão e adoção de um novo modelo de relação entre os principais interessados no processo de MDL: agentes de governo, agricultores e proprietários de terras e empresas privadas. O governo federal deveria incentivar projetos contendo atividades de uso da terra para MDL, definindo políticas claras que minimizem riscos e promovam o envolvimento de todos os atores no processo. A implementação mais abrangente de uma estratégia de cunho econômico, como os créditos de carbono ou pagamento de serviços ambientais, pode ser um caminho interessante.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - ACT. Revolução em marcha nos laboratórios. *Clipping Online: transgênicos*, 22 out. 2007. Disponível em: <[www.agenciact.mct.gov.br](http://www.agenciact.mct.gov.br)>. Acesso em: 2007.

AINSWORTH, E. A.; LONG, S. P. What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? a meta-analysis of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production of rising CO<sub>2</sub>. *New Phytology*, n. 165, p. 351-372, 2005.

ALVES, D. C. O.; EVENSON, R. E. Global warming impacts on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model. In: CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL METRICS IN BRAZIL, 1996, São Paulo, SP. *Abstracts...* São Paulo: USP, 1996. p. B30-B31.

ANDERSON, P. K. et al. Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 19, n. 10, p. 535-544, 2004.

ARJONA, A. A.; DENBOW, D. M.; WEAVER JR., W. O. Effect of heat stress early in life on mortality of broilers exposed to high environmental temperatures just prior to marketing. *Poultry Science*, v. 67, n. 2, p. 226-231. 1988.

ASSAD, E. D. et al. Mudanças climáticas e agricultura: uma abordagem agroclimatológica. *Ciência e Ambiente*, v. 34, p. 169-182. 2007.

\_\_\_\_\_. Impacto das mudanças climáticas no zonamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.

BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Variabilidade climática e agricultura do Rio Grande do Sul. In: FEDERAÇÃO DOS CLUBES DE INTEGRAÇÃO E TROCA DE EXPERIÊNCIA-FEDERACITEA. (Org.). *As estiagens e as perdas na agricultura: fenômeno natural ou imprevidência?*. 1. ed. Porto Alegre: Ideograf Editora Gráfica, 2005. p. 43-59.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2007. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: nov. 2007.

CAHANER, A.; DEEB, N.; GUTMAN, M. Effects of the plumage-reducing naked neck (Na) gene on the performance of fast-growing broilers at normal and high ambient temperatures. *Poultry Science*, v. 72, n. 5, p. 767-775, 1993.

CATTIVELLI, L. et al. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, v. 105, p. 1-14. 2008.

CERRI, C. E. P. et al. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.

CGIAR. *CGLAR Mid-Term Meeting 1998*: preliminar end-of-meeting report. [S.l.], 1998.

DAVIDSON, E. A; JANSSENS, I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, v. 440, p. 165-173, 2006.

DE MARIA, I. C. Erosão e terraços em plantio direto. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, p 17-21, 1999.

FABRICIO, J. R. Influência do estresse calórico no rendimento da criação de frangos de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1994, Santos. *Anais...* Campinas: FACTA, 1994. p.129-136.

FEARNSIDE, P. M. Biodiversity as an environmental service in Brazil's Amazonian forest: risks, value and conservation. *Environmental Conservation*, v. 26, p. 305-321, 1999.

\_\_\_\_\_. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, v. 36, p. 395-400. 2006.

FERNANDES, J. M. et al. Modelling fusarium head blight in wheat under climate change using linked process-based models. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FUSARIUM HEAD BLIGHT, 2., Michigan. *Proceedings...* Michigan: Michigan State University, [s.d.]. p. 441-444.

FISCHER, G. et al. Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990-2080. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, v. 360, p. 2067-2083, 2005.

FUHRER, J. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO<sub>2</sub>, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 97, p.1-20, 2003.

GHINI, Raquel et al. Análise de risco das mudanças climáticas globais sobre a sigatoka-negra da bananeira no Brasil. *Fitopatologia Brasileira*, v. 32, n. 3, p.197-204, jun. 2007.

GREENLAND, D. J.; WILD, A.; ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics: from myths to complex reality. In: LAL, R.; SANCHEZ, P. A. (Org.). *Myths and science of soils of the tropics*. [S.l.: s.n.], 1992. p. 17-33. (SSSA Special Publication, n. 29).

HANSEN, P. J. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Animal Production Science*, v. 82-83, p. 349-360, 2004.

HOWDEN, S. M.; HALL, W. B.; BRUGET, D. Heat stress and beef cattle in australian rangelands: recent trends and climate change: people and rangeland: building the future. In: INTERNATIONAL RANGELAND CONGRESS, 6., 1999, Austrália. *Proceedings...* Australia: [s.n.], 1999. p. 43-45.

HUNGRIA, M. et al. Isolation and characterization of new efficient and competitive bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobia from Brazil. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 32, n. 11-12, p. 1515-1528, 2000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. *Climate change 2001: the scientific basis*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2001a. 944 p. Contributions of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

\_\_\_\_\_. *Technical summary: climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability*. [S.l.: s.n.], 2001b. 56 p. A report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

JOBBAGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecologic Applications*, v. 10, p. 423-436, 2000.

JONES, P. G.; THORNTON, P. K. The potential impacts of climate change on maize production in África and Latin América in 2055. *Global Environmental Change*, v. 13, p. 51-59, 2003.

KARNOSKY, D. F. Impacts of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on forest trees and forest ecosystems: knowledge gaps. *Environment International*, v. 29, p. 161-169, 2003.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima Editora, 2000. 531 p.

LAURANCE, W. F.; WILLIAMSON, G. B. Positive feedbacks among forest fragmentation, drought and climate change in Amazon. *Conservation Biology*, v. 15, p. 1529-1535, 2001.

MARENGO, J. A. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Brasília: MMA, 2006. 212 p. (Biodiversidade, 26).

MELILLO, J. M. et al. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system. *Science*, v. 298, p. 2173-2176, [s.d.].

MENDELSON, R.; DINAR, A.; WILLIAMS, L. Impacts of climate change on poor countries. In: AEA MEETING, 2004, San Diego, CA. *Proceedings...* [S.l.: s.n.], 2004c.

\_\_\_\_\_; ÁVILA, A. F. D.; SEO, S. N. *Proyecto: incorporación del cambio climático a las estrategias de desarrollo social: síntesis de los resultados em América Latina*. Montevideo: Procisur, 2007. 48 p.

\_\_\_\_\_; NORDHAUS, W.; SHAW, D. Measuring the impact of global warming on agriculture. *American Economic Review*, n. 84, p. 753-771, 1994.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. *Parcerias Estratégicas*, n. 12, p. 239-258, 2001.

\_\_\_\_\_; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, v. 4, p. 957-988, 1991.

NOWAK, R. S. et al. Tansley review: functional responses of plant to elevated atmospheric CO<sub>2</sub>: do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions?. *New Phytology*, v. 162, p. 253-280, 2004.

OREN, R. et al. Soil fertility limits carbon sequestration by forest ecosystems in a CO<sub>2</sub>-enriched atmosphere. *Nature*, v. 411, p. 469-472, 2001.

PARRY, M. L. et al (Ed.). *IPCC 2007: climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2007. 976 p. Contributions of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

\_\_\_\_\_. Effects of climate change on global production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, v. 14, p. 53-67, 2004.

PERCY, K. E. et al. Altered performance of forest pests under atmospheres enriched by CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>. *Nature*, v. 420, p. 403-407, 2002.

RAMANKUTTY, N. et al. The global distribution of cultivable lands: current patterns and sensitivity to possible climate change. *Global Ecology & Biogeography*, v. 11, p. 377-392, 2002.

SANGHI, A. et al. Global warming impacts on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model. *Economia Aplicada*, v. 1, n. 1, p. 7-33, 1997.

SILVA, M. A. S. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. *Ciência Rural*, v. 35, n. 3. p. 544-552, 2005.

SIQUEIRA, O. J. W.; SALLES, L. A. B.; FERNANDES, J. M. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. V. R.; MIGUEZ, J. D. G. (Ed.). *Mudanças climáticas globais e a agricultura brasileira*. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 33-63.

SIQUEIRA, O. J. F. de; FARIAS, J. R. B; SANS, L. M. A. Potential effects of global climate change for brazilian agriculture: applied simulation studies for wheat, maize and soybeans. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 2, p. 115-129, 1994.

TEIXEIRA, M. A.; MURRAY, M. L.; CARVALHO, M. G. Assessment of land use and land use change and forestry (LULUCF) as CDM projects in Brazil. *Ecological Economics*, v. 60, p. 260-270, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09218009>>. Acesso em: 2008.

VIUTOUSEK, P.M.; HOWARTH, R.W. Nitrogen limitations on land and in the sea: how can it occur?. *Biogeochemistry*, v. 13, p. 87-115, 1991.

WAHID, A. et al. Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany*, v. 61, p. 199-223, 2007.

YADAV, V.; MALANSON, G. Progress in soil organic matter research: litter decomposition, modeling, monitoring and sequestration. *Progress in Physical Geography*, v. 31, p. 131-154. 2007.

ZHAO, Y. et al. Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the humid and sub-humid tropics. *Climate Change*, v. 70, p. 73-116, 2005.

ZULLU JR., J.; Pinto, H. S.; Assad, E. D. Impact assessment study of climate change on agricultural zoning. *Meteorology Applied*, p. 69-80, 2006.

## Resumo

A agricultura é uma atividade amplamente dependente de fatores climáticos, cujas alterações podem afetar a produtividade e o manejo das culturas, com conseqüências sociais, econômicas e políticas.

Segundo as previsões de longo prazo a partir de modelos climáticos globais do IPCC, as regiões tropicais e subtropicais seriam as mais afetadas pela mudança do clima. Aponta-se também que países em desenvolvimento poderão ser mais vulneráveis às alterações climáticas, devido à deficiência de mercados, à predominância de atividades agrícolas, entre outros fatores. Países desenvolvidos apresentariam mais opções efetivas para a adaptação.

Em termos nacionais, os impactos na agricultura vêm sendo estimados com base em modelos que utilizam cenários futuros de clima, mas com manejos e cultivares atuais. Estima-se que a produção de grãos deverá ser reduzida, principalmente em relação às culturas de café, arroz, feijão, trigo e milho. A Região Nordeste seria mais vulnerável aos efeitos da mudança do clima, especialmente pelas reduções na produção de milho, e as regiões Centro e Centro-Sul seriam mais vulneráveis às reduções na produção de trigo. Para a pecuária são raras as informações, porém é muito provável que os efeitos diretos das altas temperaturas sobre os animais e disponibilidade de água para os mesmos e para a produção da pastagem causem importantes perdas para o país. No entanto, o melhoramento genético de animais e plantas para maior resistência aos estresses climáticos, associados a um manejo diferenciado, poderão aliviar os efeitos das mudanças climáticas sobre a produção agrícola no país.

Incertezas permanecem como desafios para a elaboração de futuros cenários, como a magnitude e a persistência de efeitos de crescentes concentrações de CO<sub>2</sub> sobre a produção agrícola sob condições realísticas de produção, as mudanças potenciais nas perdas por doenças de plantas e animais, a variabilidade espacial nas respostas à mudança do clima, e os efeitos de mudanças na variabilidade climática e os eventos extremos sobre a atividade agropecuária.

As condições de adaptação de estabelecimentos agrícolas à mudança do clima podem ser bem variáveis, colocando-os em posições mais ou menos vulneráveis, em função de diferentes cenários climáticos. A ameaça da mudança climática global sobre a agricultura traduz-se, principalmente, na redução da produtividade das culturas e na disponibilidade de áreas apropriadas para cultivos.

Sem uma avaliação bem fundamentada sobre os possíveis impactos da mudança do clima na agricultura, será difícil avaliar precisamente quais medidas de adaptação poderiam ser adotadas pelo setor agropecuário, muito embora este setor esteja historicamente habituado a enfrentar alterações climáticas e a conviver com riscos de produção.

Finalmente, algumas recomendações foram feitas relativas à elaboração e adoção de políticas e estratégias de adaptação a essas mudanças na área de solos e agropecuária.

### Palavras-chave

Mudança do clima. Agricultura. Produção. Agropecuária. Impactos.

### Abstract

*Agriculture is an activity highly dependent on climatic factors, whose alteration may affect crop yield and management, incurring social, economic and political consequences.*

*According to the long term predictions by global climatic models of the IPCC, tropical and sub-tropical areas would be the most affected by climate change. It is also pointed out that developing countries can be more vulnerable to the climatic alterations due to market restrictions and to the predominance of agricultural activities, among other factors. Developed countries would have more effective adaptation options.*

*In national terms, the impacts in the agriculture are based on models that use future sceneries of climate, but with actual crop varieties and management. Grain production is estimated to decrease, principally for the crops of coffee, rice, beans, wheat and maize. The Northeast region will be the most vulnerable to climate change, especially due to the impacts on the maize crop, whilst the South and Central regions of Brazil would suffer from wheat yield decrease.*

*For livestock there is scarce information, but it is probable that the direct effects of high temperatures on animals and the diminution in water availability for the animals and pasture will cause important losses to the Country. However, in the future, the genetic improvement of animals and plants for increasing resistance to the climatic stresses, associated to a better management, may relieve the effects of climatic changes.*

*The adaptation capability of agricultural establishments to the climate change can be well variable, putting them more or less vulnerable in function of different climatic sceneries. The threat of a global climate change on agriculture means, principally, the reduction of crop yield and availability of suitable areas for cultivation.*

*Uncertainties still remain as challenges for the elaboration of futures sceneries. They can be related to the magnitude and persistence of effects due to increasing concentrations of CO<sub>2</sub> on realistic crop development, the potential changes in losses due to diseases of plants and animals, the spatial variability of impacts due to climate change, and the variable effects of climate changes and extreme events on agricultural activity.*

*Without an evaluation well sustained about the possible impacts of climate change on the agriculture, it will be difficult to evaluate precisely adaptation strategies that could be adopted by the agricultural sector, even though it is a sector historically habituated to face climatic alterations and to experience yield risks year after year.*

*Finally, some preliminary recommendations were made in terms of policies and strategies of adaptation for the agricultural sector to climate change.*

### **Keywords**

*Climate change. Agriculture. Production. Life stock. Impacts.*

### **Os autores**

MAGDA APARECIDA DE LIMA é ecóloga, doutora em Geociências, e pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente. Coordena a rede de pesquisas Agrogases na Embrapa, onde lidera o Projeto “Dinâmica de Carbono e Gases de Efeito Estufa em Sistemas de Produção Agropecuária, Florestal e Agroflorestal do Brasil”.

BRUNO JOSÉ RODRIGUES ALVES é doutor em Matéria Orgânica do Solo e pesquisador da Embrapa Agrobiologia.

