



## Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil

Giampaolo Queiroz Pellegrino<sup>1</sup>, Eduardo Delgado Assad<sup>2</sup>, Fábio Ricardo Marin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Pesquisador

Embrapa Informática Agropecuária

<http://www.embrapa.br/>

<sup>1</sup>[giam@cnptia.embrapa.br](mailto:giam@cnptia.embrapa.br)

### Resumo

Neste artigo procurou-se descrever o contexto atual das interações entre as mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. São discutidas contribuições da agricultura para o agravamento do efeito estufa e das mudanças climáticas e os impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura brasileira, focando-se na definição de cenários agrícolas futuros baseados em modelos matemáticos que representem os processos envolvidos nos sistemas produtivos. Também são apresentadas diversas faces do problema e formas de abordá-las em uma rede de pesquisa multidisciplinar. Por fim, exemplifica-se com a proposta de abordagem institucional da Embrapa, que visa analisar os sistemas agro/florestais e propor medidas de mitigação e adaptação, embasadas numa análise de risco e sustentabilidade ambiental, social e econômica e buscando colaborar para a definição de políticas públicas que busquem meios de financiar e implantar de fato tais medidas. Embora não seja uma revisão da literatura científica, procura trazer os pontos mais relevantes das discussões científicas sobre o tema das relações entre a agricultura e as mudanças climáticas.

**Palavras Chaves:** Biomas brasileiros; Desertificação; Soja; Plataforma em mudanças climáticas; Serviços ambientais.

### 1. Mudanças Climáticas e Agricultura: o contexto atual

As evidências de que ocorrerão mudanças climáticas globais (MCG), em função do aumento da concentração de gases de efeito estufa como o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), além do próprio vapor d'água (H<sub>2</sub>O), têm se apresentado cada vez mais consistentemente e sido aceitas pela comunidade científica internacional. Autores como Alley (1) mostram, inclusive, que mudanças climáticas globais bruscas já ocorreram no passado e podem acontecer novamente, adiantando os cenários previstos para um futuro mais distante.

Ichkawa (9) apresenta um capítulo dedicado a responder a pergunta: “O aquecimento global está realmente ocorrendo? - O que o monitoramento global pode nos dizer.” (“Is global warming really occurring? - What global monitoring can tell us.”). Nesse capítulo o autor apresenta, além de dados do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 10), dados de diversas pesquisas japonesas que corroboram para a aceitação dessa hipótese e de que essas mudanças são provocadas por ação antrópica, como também argumenta Hansen (8).

Alguns autores, como Bindschadler & Bentley (5), Sturm et al. (24) e Jauk (11), mostram evidências de que elas já estão provocando impactos nos dias atuais, principalmente na redução da espessura do gelo na região ártica, no desmoronamento de geleiras na Antártica e na redução das geleiras acumuladas no topo de montanhas, como as do Himalaia, por exemplo.

Embora aparentemente distantes, as mudanças climáticas também ocorrerão no Brasil e, talvez, com efeitos mais danosos pela vulnerabilidade histórica que o país apresenta a desastres naturais, como secas, enchentes e deslizamentos de encostas. Os modelos de previsão de mudanças climáticas do Centro de Distribuição de Dados do IPCC apresentam resultados bastante variáveis quanto ao comportamento da América do Sul. Contudo, todos prevêm aumento de temperatura para todo o continente. Para a precipitação as projeções indicam aumento da precipitação em algumas regiões e diminuição em outras, podendo inclusive haver inversão em função da época do ano. Porém, os modelos para 2091-2100 ainda são divergentes em muitos pontos do Brasil, não permitindo estabelecer cenários confiáveis para alterações no ciclo hidrológico. Há também a previsão de maior frequência de fenômenos extremos que podem ser especialmente danosos para a agricultura.

Essas mudanças afetam diretamente a agricultura e as áreas florestais brasileiras. Nobre (17) e Nobre et al. (16 e 18) apresentam resultados sobre o comportamento dos biomas brasileiros por meio da aplicação dos cenários do IPCC para 2091-2100 no Modelo de Vegetação Potencial do CPTEC-INPE, no qual se percebe, em maior ou menor grau, a desertificação do semi-árido nordestino e uma “savanização” da Amazônia, como se refere o autor. Embora a valoração dessas alterações seja impraticável, já se antevê uma perda significativa de biodiversidade pela dificuldade de adaptação desses biomas a mudanças climáticas da ordem de poucas décadas (Medlyn & McMurtrie, 15).

Alguns estudos simulando os impactos sobre a agricultura por meio de modelos matemáticos foram apresentados por Siqueira et al. (23) para o trigo, milho e soja, por Marengo (12), Pinto et al. (22) e Assad et al. (3) para o café, e por Nobre et al. (18) para o milho, feijão, arroz, soja e café. Estes autores apresentam ainda as perdas econômicas anuais provocadas pelo

aumento de 1°C na temperatura, chegando a valores de 375 milhões de dólares para o café, somando os estados de Minas Gerais, Paraná e São Paulo, e 61 milhões de dólares para o milho em São Paulo. Além desses, outros estudos contemplam efeitos sobre pragas, doenças, solos e outros aspectos do sistema produtivo agrícola.

Diante desse quadro, este artigo pretende apresentar e discutir pontos relevantes sobre as mudanças climáticas e suas relações com os agroecossistemas e, a partir dessa discussão, sugerir formas para abordar o problema, exemplificadas pela proposta de atuação institucional em mudanças climáticas e agricultura tropical da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

## **2. O modelo de desenvolvimento agrícola e sua contribuição para as mudanças climáticas globais**

Neste ano de 2007 o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) lançou seu quarto relatório sobre os avanços da ciência referente às mudanças climáticas globais (para maiores detalhes consultar artigo específico neste mesmo número da revista). Além dos resultados científicos em si, que confirmam todos os pontos levantados acima, duas características são marcantes neste novo documento: foram apresentados níveis de incerteza para as principais conclusões e resultados de modelos de simulação de cenários climáticos futuros; e, principalmente, atribuiu grande parte da responsabilidade pela alteração da concentração de gases de efeito estufa às ações humanas.

Embora de escala de abrangência e de divulgação bem menores, em 24 de setembro de 2007 líderes de 11 países representando mais da metade de toda a área de floresta tropical do mundo publicaram uma declaração conjunta ([http://rightsandresources.org/blog/Joint\\_Statement.pdf](http://rightsandresources.org/blog/Joint_Statement.pdf)), cuja parte do conteúdo se reproduz aqui: “Nós, líderes de Estado e de Governo e Altos Representantes do Brasil, Camarões, Colômbia, Congo, Costa Rica, República Democrática do Congo, Gabão, Indonésia, Malásia, Papua Nova Guiné e Peru, nos encontramos em Nova Iorque em 24 de Setembro de 2007 e resolvemos aumentar a cooperação entre os países possuidores de florestas pluviais tropicais<sup>1</sup> (*rainforest*). Resolvemos promover o crescimento econômico sustentado, o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza, ao mesmo tempo em que intensificamos esforços coletivos para o manejo, conservação e desenvolvimento sustentável de todos os tipos de florestas, buscando alcançar os objetivos de desenvolvimento acordados internacionalmente,

<sup>1</sup> A denominação utilizada oficialmente no Brasil para se referir à “Floresta Pluvial Tropical” (como tradução do termo utilizado *rainforest*) é “Floresta Ombrófila Densa”.

incluindo a Declaração sobre Florestas da Conferência do Rio, a Agenda 21 e os Objetivos do Milênio. Embora reafirmando e mantendo o princípio de responsabilidades comuns, porém diferenciadas, e os direitos soberanos dos países sobre seus recursos naturais, reconhecemos a responsabilidade primeira das nações industrializadas sobre as interferências na atmosfera atual levando ao aquecimento global e suas conseqüências, incluindo os desafios resultantes para a mitigação e adaptação. Com respeito às recentes descobertas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), ressaltamos que elas indicam que as florestas podem estar entre as principais vítimas das mudanças climáticas que resultam em impactos danosos sobre o meio ambiente, ecossistemas e meios de subsistência, principalmente sobre as populações diretamente dependentes da floresta. Destacando que todos os tipos de florestas, incluindo as florestas pluviais tropicais, desempenham papel crucial na manutenção do balanço ecológico como sorvedouro, fonte e reservatório de gases de efeito estufa, enfatizamos que as florestas pluviais tropicais contidas em nossos países, o que perfaz em torno de metade das florestas pluviais tropicais do mundo, servem de fonte de meios de subsistência e repositório de herança cultural de um grande número de pessoas, enquanto os ecossistemas dessas florestas servem de hábitat para uma diversidade de espécies e de repositório de recursos genéticos para alimentos, fármacos e uma variedade de benefícios e serviços que podem ajudar a dar sustento às gerações humanas presentes e futuras. ... Reconhecendo que muitos países em desenvolvimento podem contribuir no combate às mudanças climáticas por meio da redução das emissões a partir de desmatamento, degradação da floresta e mudança do uso da terra, entendemos que o desafio de reduzir as emissões provenientes da mudança do uso da terra é complexo e de difícil execução para os países em desenvolvimento, tanto quanto o é para países desenvolvidos reduzir emissões dos setores industriais e elétricos. Nós nos comprometemos a manter a cooperação entre nossas nações para desacelerar, parar ou reverter as perdas de cobertura florestal e a promover a reabilitação de áreas de florestas degradadas e o manejo e conservação de florestas. Nós convidamos a compartilhar de nosso compromisso inclusive os países do anexo I da Convenção das Nações Unidas em Mudanças Climáticas (UNFCCC), apoiando nosso esforço voluntário através da capacitação, pesquisa, desenvolvimento e transferência de tecnologias apropriadas à prospecção ambiental. Além disso, convidamos a disponibilizar novos e adicionais recursos financeiros para efetivar políticas não-restritivas e incentivos positivos, na UNFCCC e em outros fóruns, para permitir nosso esforço voluntário para a redução das emissões de gases de efeito estufa, bem como aumentar o sequestro de C por meio do manejo sustentável e da conservação de florestas e aumentando a retirada de carbono através do florestamento e reflorestamento, incluindo ações de curto prazo de 2008 a 2012, com expansão das

atividades após 2012. Ainda, convidamos a comunidade internacional a dedicar consideração especial às áreas protegidas. ...”

Esses dois documentos levantam diversos pontos que merecem destaque. O primeiro deles é a constatação de que as ações antrópicas são responsáveis por grande parte das mudanças climáticas que se detectam hoje e que se projetam para o futuro e, além disso, reconhece a “responsabilidade primeira” dos países desenvolvidos sobre a sua geração e, conseqüentemente, sobre a sua mitigação. Assim, aceita-se internacionalmente que os países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, dentre os quais se inclui o Brasil, sejam vítimas das situações provocadas pelos países desenvolvidos, tendo, portanto, o direito a alcançar o seu desenvolvimento, como o fazem a China, a Índia e, em menor escala, o Brasil.

Não se pode, porém, buscar o desenvolvimento a qualquer custo, com a deterioração dos recursos naturais e humanos, pontos em que a China, por exemplo, é bastante questionada. Ao reconhecer que as mudanças climáticas são uma ameaça e que em grande parte foram causadas pelos países desenvolvidos, não se pode querer manter ou repetir seu modelo de crescimento. Há que se buscar um desenvolvimento equilibrado e sustentável em que já se vislumbre um ponto de estabilização, pois não se pode mais conceber que os recursos naturais sejam inesgotáveis ou ilimitados para manter a qualidade de vida de uma população humana que cresça indefinidamente.

Nesse sentido, o modelo de desenvolvimento agrícola do país, que também tem provocado grandes impactos ambientais negativos, precisa ser revisto. Enquanto nos países desenvolvidos as emissões de gases de efeito estufa se concentram basicamente no setor industrial e no consumo de combustíveis fósseis, no Brasil a emissão a partir das queimadas, desmatamento e expansão agrícola é muito maior do que a industrial e da queima de combustíveis fósseis e o país tem sido considerado como um dos maiores emissores do mundo (<http://www.greenpeace.org.br/clima/filme/home/>).

É importante que o país seja signatário da declaração dos países detentores de florestas tropicais pluviais e busque formas para resolver o problema da expansão da fronteira agrícola no sistema de derrubada e queima, pois embora se use o argumento de que são necessárias novas áreas para a produção de alimentos, a abertura dessas áreas causa vários impactos ambientais negativos. É preciso avaliar esses impactos e a intensidade de emissões dos sistemas produtivos agropecuários, que mesmo em áreas já tradicionais de agricultura podem ser reduzidos, para se proporem novos modelos mais eficientes e produtivos e medidas de mitigação e adaptação que permitam ao país alcançar um desenvolvimento sustentável, o que inclui assumir sua responsabilidade e a tomada de atitudes sobre a sua contribuição para as mudanças climáticas globais e a conservação do seu

patrimônio ambiental.

O IPCC possui metodologias definidas para o inventário das emissões de gases de efeito estufa realizadas por um país. Uma iniciativa importante para a agricultura brasileira foi a criação da rede Agrogases ([http://www.cnpma.embrapa.br/clima/rede\\_agrogases/](http://www.cnpma.embrapa.br/clima/rede_agrogases/)), cujo objetivo é “quantificar e avaliar o estoque e o balanço de carbono e emissões de gases de efeito estufa provenientes de diferentes sistemas de uso da terra no Brasil, visando o estabelecimento de uma rede de informações integradas que possa subsidiar a geração de tecnologias sustentáveis e mitigadoras de gases de efeito estufa, previsões de cenários e suporte à formulação de políticas públicas.” É com base em informações e conhecimentos fornecidos por esse tipo de levantamento que o país pode buscar alternativas para promover o desenvolvimento do setor agrícola e, ao mesmo tempo, mitigar os impactos ambientais deles decorrentes.

O Brasil possui uma matriz energética relativamente limpa e, resolvida a questão do desmatamento e das queimadas, pode deixar de ser um dos maiores emissores do mundo para ocupar uma posição de destaque no cenário ambiental global. Nesse sentido, diversas organizações não-governamentais atuantes no país propuseram ao governo uma meta ambiciosa de eliminar as queimadas em sete anos, através de contratos de recompensa por serviços ambientais e fiscalização extensiva, com auxílio do monitoramento por satélites. A recompensa por serviços ambientais também é proposta na declaração dos países detentores de florestas tropicais pluviais, como forma de permitir a implantação das ações de redução das emissões resultantes das queimadas e mudanças do uso da terra, já a partir de 2008 a 2012 e após 2012. Essas alternativas precisam ser avaliadas a fundo e é preciso que haja vontade e coragem política para implantá-las. Vale lembrar que após o fim do Protocolo de Quioto em 2012 já se cogita o estabelecimento de metas também para os países em desenvolvimento e o Brasil deve estar preparado para responder a essas demandas.

### **3. Impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura**

Outro ponto de destaque nos documentos discutidos no item anterior é a maior vulnerabilidade ou a baixa capacidade dos países em desenvolvimento de se defender dos impactos das mudanças climáticas. A vulnerabilidade torna-se mais agravante quando se trata dos seus impactos sobre a agricultura desses países que são, de maneira geral, fortemente dependentes da atividade agrícola, seja ela de subsistência ou base da economia nacional.

Para que se possa combater ou se adaptar a esses impactos, um primeiro passo importante é buscar conhecê-los, definindo-se cenários agrícolas futuros a partir de cenários futuros das mudanças climáticas. Nesse sentido pelo menos três projetos de pesquisa coordenados pelo Centro

de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da Unicamp (Cepagri/Unicamp) e pela Embrapa Informática Agropecuária (CNPTIA/Embrapa), e que contam com a colaboração de um grande número de instituições de todo o país, foram essenciais para criar a base de dados e os modelos que permitissem apresentar uma primeira aproximação em direção à definição desses cenários agrícolas futuros no âmbito nacional.

O primeiro deles é o Agritempo ([www.agritempo.gov.br](http://www.agritempo.gov.br)) que, após um longo esforço para juntar diversas instituições nacionais para compor uma rede de informações agrometeorológicas, propôs um sistema de alimentação, gerenciamento, manipulação e divulgação dessas informações e produtos delas derivados. Os outros dois são: o “Zoneamento Agrícola do Brasil - Análise de Riscos Climáticos e Atualização” (Assad, 2) que, simulando seu plantio a cada conjunto de 10 dias ao longo do ano, visa analisar a probabilidade de sucesso de uma cultura com base nas séries históricas de dados agrometeorológicos do Agritempo e outros parâmetros da cultura e do solo; e o “Zoneamento de Riscos Climáticos: abordagem para agricultura familiar, bioenergia e pastagens” (Marin, 13), que propôs uma atualização ao zoneamento anterior, incluindo culturas de acordo com essas três abordagens específicas. Esses três projetos buscaram o desenvolvimento de modelos específicos para cada estado e cultura plantada e permitiram gerar mapas com índices de satisfação das necessidades de água (ISNA), valores diretamente proporcionais à chance de sucesso no desenvolvimento das culturas.

Com base nesses mesmos modelos desenvolvidos nos zoneamentos e diante dos cenários de mudanças climáticas globais apresentados pelo IPCC (10), simularam-se cenários agrícolas futuros para aumentos de temperatura de 1°C, 3°C e 5,8°C e aumentos de precipitação de 5%, 10% e 15%. Esses aumentos foram simulados de maneira homogênea para todo o país e desconsideraram qualquer evolução tecnológica, tanto no manejo das culturas quanto no seu melhoramento genético, e qualquer adaptação fisiológica das plantas às novas condições. Os resultados dessas simulações para as culturas da soja, milho, arroz e feijão podem ser visualizados no sítio da Internet [www.agritempo.gov.br/mapas\\_mudancasclimaticas.php](http://www.agritempo.gov.br/mapas_mudancasclimaticas.php). As figuras abaixo exemplificam três cenários para o plantio da soja de 1º a 10 de outubro, em solo de textura média e com aumento de 15% na precipitação, para os três aumentos de temperatura.

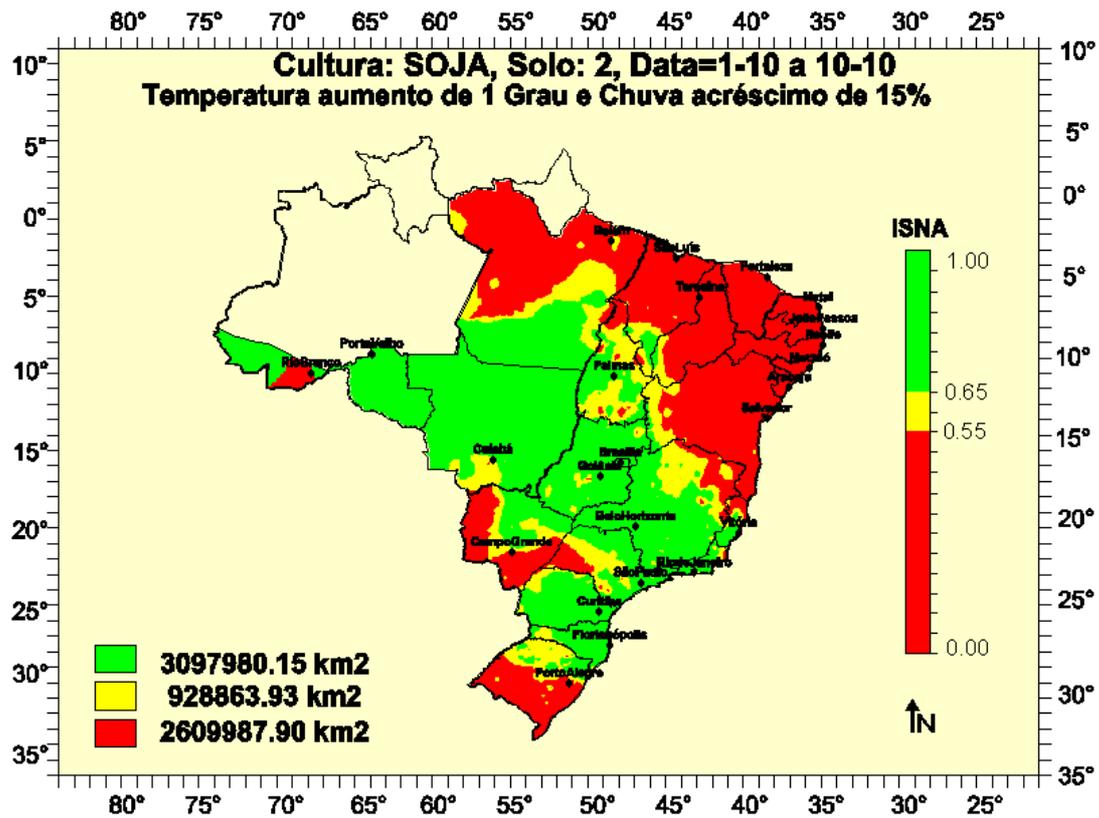


Figura 1 - Exemplo de cenário de zoneamento de risco climático futuro para plantio da soja de 1° a 10 de outubro, em solo de textura média, aumento de 15% na precipitação e de 1°C na temperatura. São apresentadas três classes de índice de satisfação das necessidades de água, de 0 a 0,55, de 0,56 a 0,65 e de 0,66 a 1, definidas como inapta (em vermelho), apta com restrições (em amarelo) e apta (em verde), respectivamente.

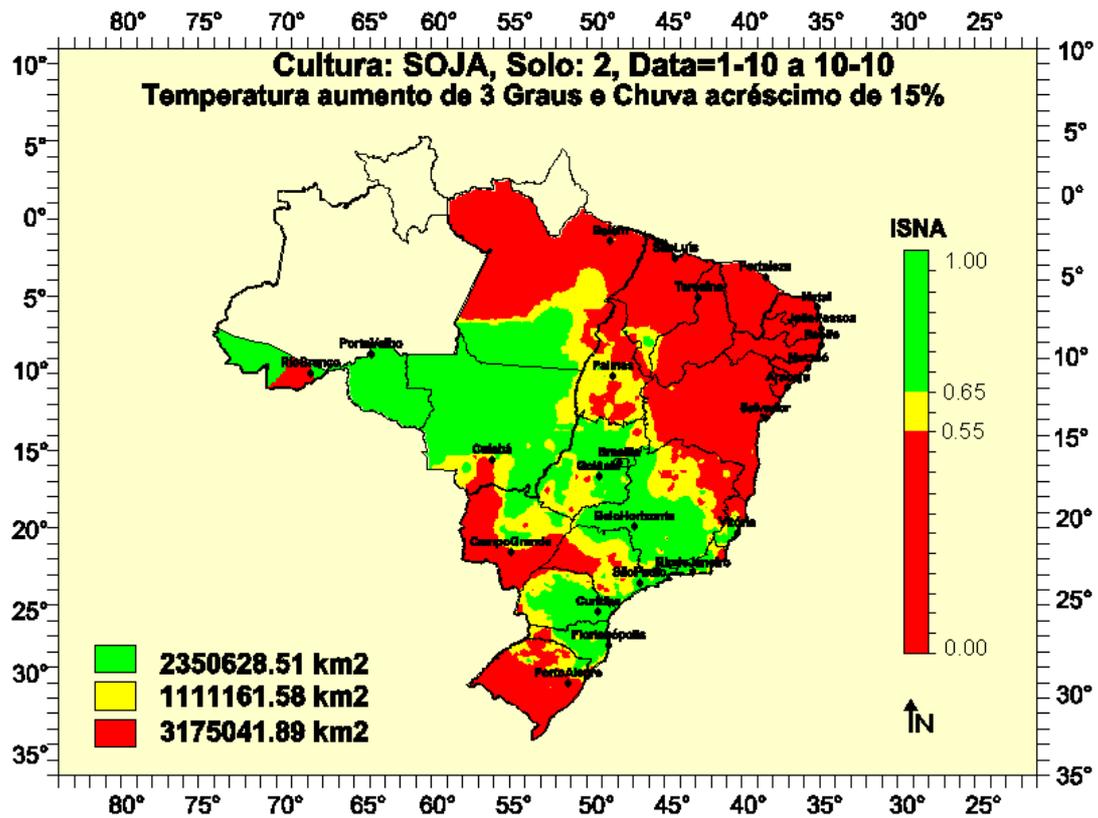


Figura 2 - Exemplo de cenário de zoneamento de risco climático futuro para plantio da soja de 1º a 10 de outubro, em solo de textura média, aumento de 15% na precipitação e de 3°C na temperatura. São apresentadas três classes de índice de satisfação das necessidades de água, de 0 a 0,55, de 0,56 a 0,65 e de 0,66 a 1, definidas como inapta (em vermelho), apta com restrições (em amarelo) e apta (em verde), respectivamente.

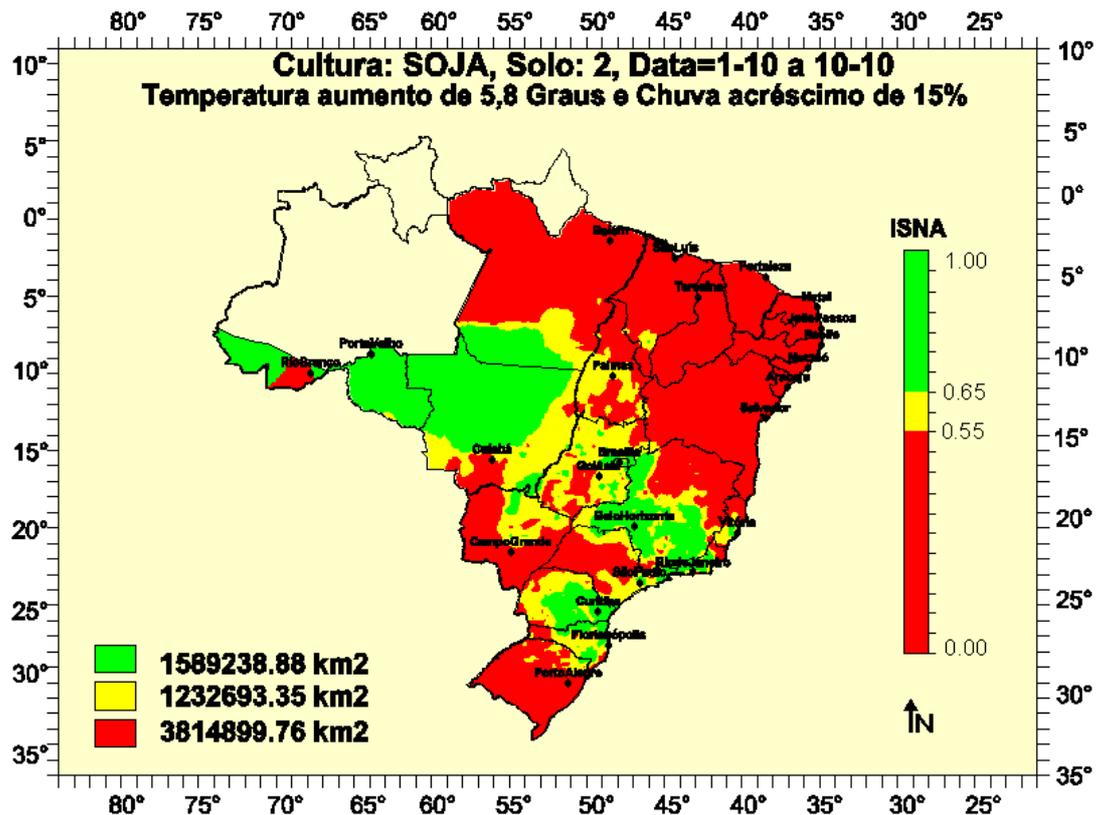


Figura 3 - Exemplo de cenário de zoneamento de risco climático futuro para plantio da soja de 1º a 10 de outubro, em solo de textura média, aumento de 15% na precipitação e de 5,8°C na temperatura. São apresentadas três classes de índice de satisfação das necessidades de água, de 0 a 0,55, de 0,56 a 0,65 e de 0,66 a 1, definidas como inapta (em vermelho), apta com restrições (em amarelo) e apta (em verde), respectivamente.

Pelas Figuras 1 a 3 percebe-se o efeito negativo das mudanças climáticas sobre a área considerada apta para o plantio, de acordo com os modelos do zoneamento de risco climático, havendo, para o caso da soja exemplificado, um decréscimo de 1.204.911,86 km<sup>2</sup> no cenário mais pessimista, exclusivamente para esse período de plantio. O cenário de aumento de 1°C a partir de 1990 já está próximo de acontecer e o cenário de 3°C é praticamente certo. As estimativas para este último cenário mostram perdas de área em torno de 18% para o arroz, 11% para o feijão, 39% para a soja, 58% para o café e apenas 7% para o milho.

Embora as condições iniciais dessas simulações desconsiderem questões importantes, esses cenários já nos dão indicações essenciais ao planejamento das pesquisas, principalmente quanto à adaptação dos sistemas de cultivos e de novos cultivares mais tolerantes às altas temperaturas e mais resistentes à seca. Ao se considerar que a condição climática será de fato alterada, com base nesses cenários é possível formular algumas hipóteses sobre a dinâmica da agricultura no Brasil e no mundo. Quanto às culturas anuais, uma hipótese aceitável é que a migração deva seguir o

caminho das zonas temperadas, com boa possibilidade de ganho de produtividade nas espécies de ciclo fotossintético C4, denominação dada a um grupo de plantas – gramíneas em sua maioria – que formam o ácido oxalacético como primeiro produto da fotossíntese, que tem quatro carbonos. Quanto ao ciclo fotossintético, outro grupo de plantas é conhecido C3, pelo fato da primeira molécula formada no ciclo ter apenas três carbonos.

Além do número de moléculas de carbono, outra diferença importante entre esses dois grupos de espécies é a sua habilidade em suportar condições de alta temperatura e intensa radiação solar. As plantas C4 contam com uma estrutura conhecida como “anatomia Kranz”, camada de células clorofiladas e fotossintetizantes envolvendo os feixes condutores da folha, e com a presença de um composto bioquímico com grande afinidade com o dióxido de carbono. Além das peculiaridades bioquímicas, tais características anatômicas e fisiológicas implicam em maior habilidade das plantas C4 em conviver em ambientes mais quentes e com elevada irradiância solar, tornando-as supostamente mais aptas a suportar as condições que devem imperar nos verões das regiões temperadas. As plantas C3, em contrapartida, não contam com essa estrutura e apresentam maior sensibilidade às condições de oferta ambiental abundante em relação à temperatura e à radiação solar. Neste tipo de ambiente ocorre o fenômeno conhecido como fotorrespiração nas espécies C3, que é tido como um processo de autodefesa do aparelho fotossintético, principalmente em plantas expostas às altas intensidades luminosas, com o objetivo de dissipar o acúmulo de moléculas que, em condições ideais de temperatura e radiação, são úteis à célula, mas que, quando produzidos intensamente, podem se acumular e danificar as estruturas fotossintéticas.

É claro que o uso da maquinaria celular para evitar danos exige gasto de energia e, dentre outros fatores, isso explica o fato das plantas C3 terem menor produtividade em comparação com as espécies C4. Dessa breve comparação, parece razoável inferir que as espécies C4 estão mais preparadas para a elevação da temperatura do que as espécies C3. As porcentagens de perdas de área, calculadas acima, indicam níveis diferentes de impactos sobre as diferentes culturas, sendo que o milho, gramínea de ciclo C4, sofrerá menos com as altas temperaturas, pois apresenta aumento da taxa de fotossíntese para temperaturas de até aproximadamente 30°C. Estimativas preliminares para a cana-de-açúcar, feitas por Zullo Jr. (2007, comunicação pessoal) para os estados de São Paulo e Mato Grosso e por Barbarisi et al. (4) para o estado de Goiás, também apontam nessa direção.

Voltando a comparar grandes grupos de espécies, vale analisar qual seria o impacto sobre as culturas perenes, já que a estratégia ecológica desse grupo segue outro caminho em relação às anuais.

Nas condições atuais, por causa do fotoperíodo elevado associado às condições favoráveis de chuva e temperatura nas regiões temperadas, as culturas anuais têm grande habilidade em produzir num curto período de tempo e alcançam altos índices de produtividade durante o período de primavera e verão. As espécies perenes, porém, mostram melhor desempenho em ambientes tropicais com menor sazonalidade, onde as condições de temperatura e disponibilidade de água ocorrem de maneira adequada à manutenção do seu ciclo fenológico ao longo do ano.

Ao se considerarem os novos cenários projetados pelos modelos climáticos, nos quais a temperatura deve se elevar ao longo de todo o ano e com mais intensidade no inverno e a chuva deve se concentrar durante os meses de verão, acentuando e prolongando o período de seca no inverno, é razoável formular a hipótese de que a deficiência hídrica neste período aumentará em comparação ao que se observa atualmente e, conseqüentemente, que as espécies perenes teriam maior dificuldade em suportar o estresse por falta d'água durante o período mais seco do ano, sendo mais prejudicadas que as culturas anuais.

Porém, as respostas fisiológicas às diferentes condições ambientais não são lineares e, mesmo sem alterações genéticas, plantas crescendo sob nova condição ambiental mostram capacidade de se adaptar a ela. Um exemplo é o comportamento de plantas crescendo em estufas com aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, ocorrendo um fenômeno conhecido como “fertilização por CO<sub>2</sub>”. Em condições de campo esse comportamento não é tão claro.

É preciso avançar nas simulações de cenários agrícolas que sejam mais próximos do futuro real e processos fisiológicos como esses, o desenvolvimento de pragas e doenças com base na alteração climática, as mudanças de métodos nos sistemas produtivos e as projeções de avanços tecnológicos devem ser passíveis de modelagem matemática e incorporáveis aos modelos hoje utilizados. Não devem, porém, torná-los tão complexos a ponto de inviabilizar a sua aplicação em estudos mais generalizados para todo o país pelo excesso de dados de entrada ou de parâmetros a serem estimados. Não é simples encontrar esse ponto de equilíbrio, mas deve-se avançar nesse sentido, sendo essas metas importantes para o desenvolvimento de pesquisas sobre os impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura. Outro desafio a se considerar é a adaptação e redução da vulnerabilidade frente à projeção de aumento da frequência de ocorrência de eventos extremos, como ondas de calor, ondas de frio, geadas, tempestades, granizo, estiagens e outros fenômenos que, de forma espasmódica e rápida, podem provocar fortes prejuízos e perdas de safra.

#### 4. **Diversidade de temas e abordagens**

Ao se deparar com o desafio de traçar cenários que descrevam, da maneira mais fiel possível, os impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura, a primeira ação no sentido de dar uma solução efetiva é a caracterização e entendimento do problema. A proposição de uma rede multiinstitucional de pesquisa que ampare o conhecimento e a descrição dos processos envolvidos em diferentes escalas do agroecossistema por meio de modelos matemáticos parece ser a maneira mais eficiente de atingir esse objetivo. Esses modelos devem representar os processos e permitir simular cenários agrícolas futuros, que servirão de base para a proposição de ações de mitigação e adaptação. Assim, discute-se abaixo uma diversidade de temas e abordagens importantes que devem fazer parte de um sistema de pesquisa, desenvolvimento e inovação, que possa colaborar para a definição de políticas públicas e ações positivas de combate aos impactos negativos das mudanças climáticas sobre a agricultura.

##### ***Fronteira de Atuação***

Diante da complexidade do problema, mesmo trabalhando em uma rede composta por um grande número de pesquisadores, seria impossível abordar todos os aspectos das mudanças climáticas sobre o país, desde a simulação com modelos de circulação global até a efetiva tomada de ação, nos diversos setores da sociedade. Portanto, uma proposta de abordagem da questão deve, como primeiro passo, definir a sua fronteira de ação. No nosso caso, as análises poderiam ser limitadas aos impactos nas principais atividades agro/florestais brasileiras (leia-se pecuárias, agrícolas, agroflorestais, florestais implantadas, florestais naturais) e foquem na proposição de ações de mitigação e adaptação, para a definição de políticas públicas que favoreçam a estabilização das emissões e a obtenção de créditos de carbono, passando por duas fases: uma para pesquisa e desenvolvimento dos modelos e processos nos diversos biomas do país e outra de maneira mais generalizada pelo Brasil para testes de validação dos modelos e simulação de cenários.

##### ***Análise de Tendências***

A despeito das previsões de mais longo prazo, alguns autores como Bindschadler & Bentley (5), Sturm et al. (24) e Jauk (11) mostram evidências de que elas já estão provocando impactos nos dias atuais, principalmente na redução da espessura do gelo na região ártica, no desmoronamento de geleiras na Antártica e na redução das geleiras acumuladas no topo de montanhas como as do Himalai, por exemplo.

Mesmo para os dados de estações meteorológicas locais, algumas tendências de mudanças climáticas já têm sido detectadas. Pinto et al. (21), por exemplo, apresentam análises de tendências

de séries longas de dados de precipitação e temperaturas mínima, média e máxima para Campinas (SP) e já foi possível detectar tendências de aumento da temperatura mínima. Pellegrino (20) ao analisar dados de precipitação e vazão para a bacia do rio Piracicaba, no estado de São Paulo, detectou tendências significativas de aumento da precipitação anual e a do trimestre mais seco do ano, concluindo que para a região os anos estavam ficando mais chuvosos devido ao aumento da precipitação nos meses secos.

Na concepção do sistema, considera-se que as interações solo-planta-atmosfera e aquelas entre plantas (ou animais) e suas pragas e doenças são afetadas pelas alterações na atmosfera. Por isso, essas tendências devem ser conhecidas e levadas em conta na parametrização dos modelos de simulação que se pretende obter, pois podem influenciar os cenários definidos a partir dele.

Análises de tendências permitem uma melhor compreensão das alterações climáticas que já sejam detectáveis nas diversas regiões do Brasil. Dessa forma, como primeiras etapas do sistema, propõem-se análises de tendência na temperatura, precipitação e eventos extremos e o monitoramento de sua evolução ao longo dos próximos anos. Embora essas análises dependam de séries longas de dados, com auxílio do Agritempo e de outros sistemas de dados meteorológicos seria possível selecionar um bom número de estações meteorológicas com um número de anos suficiente para ser representativo das principais regiões produtoras do país.

### ***Monitoramento das Condições Ambientais***

O monitoramento das condições atmosféricas foi apresentado juntamente com a análise de tendências como as primeiras etapas a serem executadas. Porém, diante das previsões de aumento de temperatura, diminuição da precipitação em algumas regiões do país e maior frequência de ocorrência de eventos extremos do IPCC, podendo gerar a “savanização” da Amazônia, ou mesmo uma maior “aridização” do semi-árido e queda na produção de alimentos (Nobre et al., 18), o monitoramento de algumas características ambientais como o balanço hidrológico, a severidade de secas e de excessos de precipitação e a evolução de processos de desertificação é importante e deve ser realizado. Por isso, propõe-se que o sistema seja capaz de monitorar essas e outras questões já apresentadas, como a mudança no uso da terra, queimadas e desmatamentos, e que as mudanças detectadas possam servir de entrada para os modelos de simulação. O monitoramento dos efeitos sobre a biodiversidade é de crucial importância, visando garantir desde a manutenção de populações que dependem dos produtos da floresta e dos diversos biomas brasileiros para a sua sobrevivência até a manutenção de recursos genéticos, princípios ativos para fármacos e diversos serviços que podem ajudar a garantir o sucesso de nossa adaptação às novas condições ambientais, em boa medida antropogênicas.

### **i. Surgimento de tendências**

Como os métodos de análise de tendências normalmente exigem longas séries de dados, com o passar dos anos novas estações meteorológicas poderão ter suas tendências analisadas. Mesmo para as estações que já foram analisadas, tendências que não se apresentaram significativas podem se tornar significativas e detectáveis. Ainda, com a adoção de medidas de mitigação, por exemplo, tendências poderiam até mesmo ser revertidas. Por isso o sistema deve prever o contínuo monitoramento da evolução das tendências.

### **ii. Mudanças do uso da terra, queimadas e desmatamentos**

Alguns centros de pesquisa, como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), já dispõem de sistemas operacionais de monitoramento de queimadas e desmatamentos via satélite e essas informações são importantes entradas para as análises de emissões e alterações no balanço hidrológico e do carbono. O mesmo se pode dizer de outras mudanças no uso da terra, mas que são mais difíceis ou impossíveis de se monitorar via satélite. Uma colaboração para o aprimoramento ou desenvolvimento desses sistemas de monitoramento via satélite pode trazer melhorias significativas para a precisão dos resultados dos modelos e no seu uso para simulação.

### **iii. Balanço hidrológico**

A escassez de água é um problema mundial que tende a se agravar no futuro, independentemente das mudanças globais. Vários países já sofrem “estresse hídrico” e as mudanças climáticas podem agravar esses problemas. Os modelos para o monitoramento do balanço hidrológico em bacias hidrográficas utilizam as informações de alterações no uso da terra para equacionar questões como o armazenamento de água no solo, as perdas por evapotranspiração, a precipitação e a vazão na rede de drenagem. Esses cálculos são essenciais para a análise e a simulação da disponibilidade hídrica para uso em irrigação, geração de energia hidrelétrica e abastecimento humano.

### **iv. Secas e excessos de água**

Complementarmente ao balanço hidrológico, índices de severidade de seca baseados em métodos estatísticos, como o “Standard Precipitation Index” - SPI (McKee et al., 14), têm se mostrado uma ferramenta eficaz no monitoramento da escassez ou excesso de água. Esses índices podem ser aplicados para a região do semi-árido nordestino, por exemplo, para onde alguns modelos prevêm uma diminuição da precipitação (Nobre et al., 18). Na realidade, podem ser aplicados em todas as regiões do país, pois permitem analisar a ocorrência de eventos extremos de precipitação, como os previstos pelo IPCC.

## v. Desertificação

Fenômenos de desertificação já têm sido detectados há algumas décadas no Brasil, principalmente nas regiões Nordeste e Sul (alguns preferem o termo aridização e arenização para definir, respectivamente, os processos que ocorrem nas duas regiões). Mesmo em condições de estabilidade da precipitação, o aumento da temperatura provoca um aumento na evapotranspiração, levando a uma condição de menor disponibilidade de água para as plantas. Em regiões que já enfrentam problemas de escassez de água, esse fenômeno pode corroborar para a formação ou ampliação de áreas em processo de desertificação.

O monitoramento da desertificação baseado no uso de imagens de satélite foi proposto já na década de 1980. O método apresentado por Otterman e Tucker (19), por exemplo, baseia-se na relação entre o albedo e a temperatura de superfície para a detecção de regiões desérticas e semidesérticas e poderia ser implementado num sistema proposto para uma verificação de alterações ao longo do tempo. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) já fornece dados de albedo e temperatura de superfície, aplicáveis a esse método.

### *Modelagem dos Sistemas Produtivos e Definição de Cenários Agrícolas*

Um segundo processo em que deve se basear o sistema proposto é a modelagem de diversos componentes do sistema agro/florestal e a definição de prováveis cenários futuros. Na verdade, embora o foco principal do sistema seja a proposição de medidas de mitigação e adaptação, este seria o “coração” do sistema, o que permitiria atingi-lo.

O que se pretende aqui é que se colecionem e adaptem modelos matemáticos já existentes e que se desenvolvam novas modelagens para expressar o desenvolvimento das culturas ou animais e de suas pragas e doenças nas condições climáticas atuais, utilizando-se, dentre as variáveis de entrada, a temperatura, a precipitação, a radiação solar e a concentração de gás carbônico, ou variáveis delas dependente, como graus-dia ou umidade relativa, por exemplo. Além da parte aérea, o mesmo deve ser focado para os insetos e microorganismos do solo e suas interações com as plantas e os processos de decomposição e balanço de nutrientes e, principalmente, o carbono acumulado.

Com base nos modelos e análises obtidos, o sistema realizaria testes e simulações dos efeitos das alterações climáticas sobre o seu comportamento fisiológico e sobre as interações planta/animal-praga/doença. Ghini (7) apresenta uma ampla revisão de diversos exemplos de estudos envolvendo mudanças climáticas e doenças de plantas e analisa seus efeitos, principalmente o da concentração de gás carbônico sobre o ciclo da doença e os fungos fitopatogênicos, fitopatógenos do solo e vírus, além de microorganismos simbiotes e alguns insetos benéficos às

plantas. A autora apresenta ainda uma discussão sobre a modelagem matemática das doenças em plantas. Ehleringer et al. (6) apresentam uma coletânea de artigos sobre os efeitos do gás carbônico atmosférico sobre plantas e animais e ecossistemas, em diferentes escalas temporais e espaciais. Esses autores apresentam o maior acúmulo de massa vegetal como uma consequência importante do aumento da concentração de gás carbônico, estando associado, geralmente, a uma diminuição da concentração de nitrogênio no tecido vegetal. Essa diminuição de nitrogênio pode se expressar na diminuição do conteúdo protéico e, conseqüentemente, um menor valor nutritivo do alimento e forragem produzidos.

Esses modelos e análises das interações planta/animal-praga/doença devem colaborar para a compreensão dos efeitos numa escala mais ampla, ou seja, na escala do sistema produtivo ou natural como um todo. Os trabalhos de Nobre et al. (18) e de Assad et al. (3) são exemplos de análises dos impactos das mudanças climáticas globais sobre ecossistemas naturais e agroecossistemas que podem ser adaptadas e incorporadas ao sistema proposto.

Diante do quadro de mudanças globais como resultado das emissões de gases de efeito estufa, é de suma importância a contabilização do balanço de carbono nos sistemas agrícolas, pecuários e florestais. A partir desse conhecimento pode-se avaliar a eficiência de cada sistema produtivo, compará-los e analisar os efeitos das substituições no acúmulo de carbono local. Por exemplo, poder-se-ia avaliar o que ocorre com o estoque de carbono a partir da substituição da floresta por pastagem ou por soja. A rede Agrogases é uma iniciativa nesse sentido e seus métodos e resultados devem ser aproveitados pelo sistema proposto. Mesmo os seus objetivos e métodos que não puderam ser alcançados, mas que se mantêm ainda hoje como viáveis e relevantes, poderiam ser revistos e recuperados.

Além do balanço de carbono no sistema agrícola, o processamento de produtos e resíduos gerados deve ser avaliado quanto às suas emissões e possibilidades de manutenção de carbono como estoque no solo. O plantio direto ou o aproveitamento de dejetos de suínos em biodigestores são exemplos de medidas que podem auxiliar nessa manutenção, mesmo que não sejam elegíveis para a obtenção de créditos de carbono. Já para os sistemas agrícolas e suas cadeias produtivas pode-se compartilhar da experiência adquirida por grupos especializados em agroenergia.

Por fim, com base nesses modelos e análises para a melhor compreensão do funcionamento do sistema produtivo agrícola e de suas respostas às alterações climáticas, pode-se realizar simulações e previsões de diferentes cenários agrícolas correspondentes aos cenários climáticos previstos pelo IPCC. É apoiado nessa compreensão e diante desses cenários agrícolas previstos que se espera poder atingir o objetivo final deste sistema que é proposição de medidas de mitigação e

adaptação e a definição de políticas públicas que favoreçam a estabilização das emissões e a obtenção de créditos de carbono.

### ***Mitigação e Adaptação***

Mais do que simular cenários, é preciso que se dêem respostas aos impactos negativos deles advindos e se potencializem os impactos positivos. Este é o objetivo do terceiro processo básico na linha estratégica adotada pelo sistema proposto e é seu foco principal. Ou seja, o principal produto que se busca obter com a implantação deste sistema é a proposição de medidas de mitigação e adaptação e a análise de seus impactos positivos e negativos nos agroecossistemas e nos ecossistemas naturais.

As medidas de mitigação das mudanças climáticas devem se pautar pela análise de mudanças nos sistemas produtivos e substituição, consorciamento e rotação de culturas que levem a processos que promovam a redução da emissão de gases de efeito estufa, adotando ou definindo melhores práticas de manejo. Também se deve buscar aqui métodos que aumentem o acúmulo e manutenção do carbono no sistema produtivo, como manutenção de cobertura vegetal do solo ao longo ano, aumento substancial da incorporação de matéria orgânica, implantação de culturas mais eficientes na fixação do carbono e, a mais efetiva delas, a adoção de medidas eficazes para a redução das queimadas e desmatamentos de ecossistemas naturais.

Outra medida associada à redução de emissões que não é, porém, uma alteração no sistema produtivo, mas para a qual ele é fonte de matéria-prima é a área de biocombustíveis e alternativas energéticas em substituição à queima de combustíveis fósseis. O país é líder nessas tecnologias e a plataforma de agroenergia da Embrapa abrange a cadeia produtiva de suas principais fontes agrícolas.

Quanto às medidas de adaptação aos impactos das mudanças climáticas, podem ser propostos novos sistemas produtivos incluindo a introdução de novas culturas em regiões onde se tornem aptas, desenvolvimento de estratégias de conservação da água, mudanças microclimáticas e nas datas de plantio, adoção de métodos alternativos e novas tecnologias e de sua combinação. Uma linha de pesquisa bastante importante nesse tema é o uso da biotecnologia e genômica, da bioinformática, do nanoseqüenciamento e da prospecção de genes, dispondo da biodiversidade natural para acelerar o desenvolvimento de novas variedades resistentes a temperaturas mais altas, a estresse hídrico e mesmo a excesso de água e alagamento. Políticas públicas devem estimular e apoiar essas mudanças adaptativas e favorecer a transferência de tecnologias limpas e a obtenção de créditos de carbono.

### ***Análise de Risco, Sustentabilidade e Eficiência***

Ao longo do desenvolvimento dos processos descritos, o sistema deve prever seu acompanhamento por uma linha de pesquisa em socioeconômica e avaliação de impacto ambiental que analise os sistemas produtivos com uma visão complementar à da modelagem matemática. Os aspectos focados por esse componente são a segurança, a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas produtivos atuais, dos cenários previstos e das propostas de adaptação e mitigação, com uma visão integrada dos seus impactos sociais, econômicos e ambientais.

O exemplo sobre a possível diminuição do poder nutritivo dos alimentos e forragens e a própria justificativa de desmatamento para a produção de alimentos dizem respeito à segurança alimentar e precisam ser considerados com essa visão. Questões como a substituição de culturas, aumento de produtividade, expansão da fronteira agrícola, melhoria na distribuição de alimentos, biodiversidade e os próprios cenários e adaptações propostos precisam ter sua eficiência e sustentabilidade econômica, impactos sociais e sustentabilidade ambiental analisados. Os biocombustíveis e as alternativas energéticas precisam ser analisados além dos aspectos econômicos e da balança comercial, avaliando-se sua real contribuição para a redução das emissões, sua sustentabilidade e capacidade produtiva. Qual nossa capacidade atual de produção sustentável de biodiesel? Vamos deixar de produzir alimentos para produzir combustíveis? Abordagens desse tipo devem ser equacionadas e baseadas em dados e análises objetivas.

### ***Crédito de Carbono e Serviços Ambientais***

De maneira geral, créditos por seqüestro de carbono no setor agrícola só podem ser obtidos para sistemas florestais, mas ainda são pouco aceitos e valorizados para o atendimento de metas do protocolo de Quioto. Estuda-se a possibilidade de seqüestro de carbono no solo, mas ainda não se aceita essa forma de seqüestro, nem tampouco na fitomassa agrícola. Na agricultura, ao longo do ciclo produtivo, créditos só podem ser concedidos mediante a redução de emissões pela adaptação de método produtivo, desde que haja algum tipo de barreira que o impeça de ser implantado voluntariamente. Na cadeia produtiva de algumas culturas, créditos têm sido concedidos na pós-colheita, no processamento do produto ou no aproveitamento de seus resíduos, como é o caso da queima de bagaço da cana-de-açúcar para a geração de energia elétrica e o aproveitamento dos dejetos da suinocultura em biodigestores, com a queima do metano produzido ou sua utilização para a geração de energia.

Além dos créditos de carbono, outra estratégia que pode estimular a implantação de medidas de mitigação e adaptação, principalmente no que tange à conservação da diversidade e redução das queimadas e desmatamentos, é a obtenção de créditos ou alguma forma de recompensa por serviços

ambientais prestados. Essa é uma das propostas da declaração dos países detentores de florestas tropicais úmidas, porém, para esse item também existe pouca regulamentação.

A proposição de medidas de mitigação e adaptação independe da obtenção de créditos de carbono ou alguma forma de recompensa por serviços ambientais, porém essa possibilidade existe e sua avaliação é conveniente, pois pode servir de estímulo financeiro e acelerar e ampliar a implantação das alternativas propostas. Nesse contexto é essencial a interação com os órgãos do Governo Federal para a definição de políticas públicas e para a defesa dos interesses da agricultura brasileira na obtenção de créditos de carbono com a redução das emissões, como a principal possibilidade de financiamento para a adoção das medidas mitigatórias e adaptativas propostas.

### ***Produtos, Transferência de Tecnologia e Políticas Públicas***

O sistema proposto em si já seria um produto tangível, pois se basearia na composição de uma rede multidisciplinar e multiinstitucional de pesquisa e numa estrutura computacional que permitiria a interação entre os pesquisadores e gerenciamento de projetos, além de concentrar e organizar as informações e modelos matemáticos obtidos e estruturar os processos de monitoramento e simulação de cenários.

Além disso, seriam gerados vários produtos intermediários como os métodos e modelos parametrizados, os próprios cenários simulados, os novos processos produtivos, as novas variedades que pudessem ser obtidas, as metodologias de cálculo de redução de emissões e obtenção de créditos de carbono, todos eles vinculados ao processo de geração de medidas de mitigação e adaptação. Para cada produto obtido, o sistema proposto também deveria prever a avaliação da conveniência e da melhor forma de divulgação e transferência de tecnologia à sociedade. Nesse sentido, a declaração dos 11 países cobra uma colaboração e aporte financeiro dos países desenvolvidos na capacitação, pesquisa e desenvolvimento e transferência de tecnologia aos países em desenvolvimento, para que as ações de mitigação e adaptação possam ser efetivadas.

Ainda, a partir das medidas propostas obter-se-iam produtos intangíveis como: a participação e contribuição para a mitigação do problema por meio da adoção de políticas públicas; os benefícios sociais, econômicos e ambientais que possam advir dessas ações propostas; e a colaboração para a criação de uma capacidade de análise integrada dos sistemas agrícolas brasileiros e de suas respostas às mudanças climáticas globais, por meio da rede de pesquisa que dê suporte técnico aos tomadores de decisão e aos agricultores.

## 5. A proposta da Embrapa

Fica clara a necessidade de integração entre diversas unidades de pesquisa do país e do exterior para a realização de um esforço na concentração e geração de conhecimento sobre a previsão dos efeitos das mudanças climáticas sobre as principais culturas brasileiras, incluindo suas pragas e doenças e os solos sobre os quais são produzidas, gerando cenários prováveis e analisando medidas de mitigação ou adaptação a eles, dando suporte ao Estado na tomada de decisões. Com esse enfoque, a Embrapa propôs a criação de uma rede de pesquisa visando analisar de maneira integrada os impactos das mudanças climáticas globais na agricultura brasileira, por meio de modelagem matemática e elaboração de propostas de mitigação e adaptação, como ferramenta de suporte à decisão, nos moldes apresentados a seguir.

### *Plataforma em Mudanças Climáticas*

Propôs-se a criação de uma rede de pesquisas na forma de Plataforma Institucional, que desse apoio à decisão na proposição de ações de mitigação e adaptação e definição de políticas públicas, e de um sistema informatizado, que pretende servir de ferramenta de interação da equipe e gerenciamento de suas atividades e produtos. Diferentemente de um “megaprojeto”, o foco é a integração de instituições de pesquisa, diversidade de visões, interação e integração entre projetos de diversas escalas, definição de lacunas de pesquisa e programação de investimento, seguindo um fluxo de análise da informação e geração do conhecimento que está baseado em quatro processos básicos:

análise das tendências climáticas atuais e monitoramento de mudanças globais;

modelagem matemática em escala fisiológica e de sistemas produtivos, incluindo a caracterização da produção de gases e do balanço e dinâmica de carbono em diferentes sistemas de produção e a simulação de cenários futuros;

proposição e análise de medidas de mitigação à luz das boas práticas agrícolas e florestais que incorporem mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL) e outros mecanismos de mitigação alternativos, como o manejo sustentável da matéria orgânica para estabilização e seqüestro de carbono no solo; e

proposição e análise de medidas de adaptação que incluam o desenvolvimento de sistemas produtivos e de cultivares adaptadas aos cenários previstos.

No desenvolver desses processos, serão realizadas análises de risco e sustentabilidade social, econômica e ambiental que permitam avaliar o cenário atual dos sistemas produtivos tropicais e as ações de mitigação e adaptação a serem propostas a partir deles. Essas análises auxiliarão na eleição

de sistemas agro/florestais mais vulneráveis e na proposição de medidas alternativas. Finalmente, também como importante foco da rede de pesquisa, deve ser avaliada a possibilidade de obtenção de créditos de carbono e de remuneração por serviços ambientais a partir das ações de mitigação e de adaptação propostas e devem ser buscadas formas de transferência de tecnologia e aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo do desenvolvimento de todos os componentes do sistema, vinculando-os à definição de políticas públicas.

A Figura 4 abaixo representa esquematicamente o sistema e seus componentes e cada um deles é descrito nos itens seguintes.

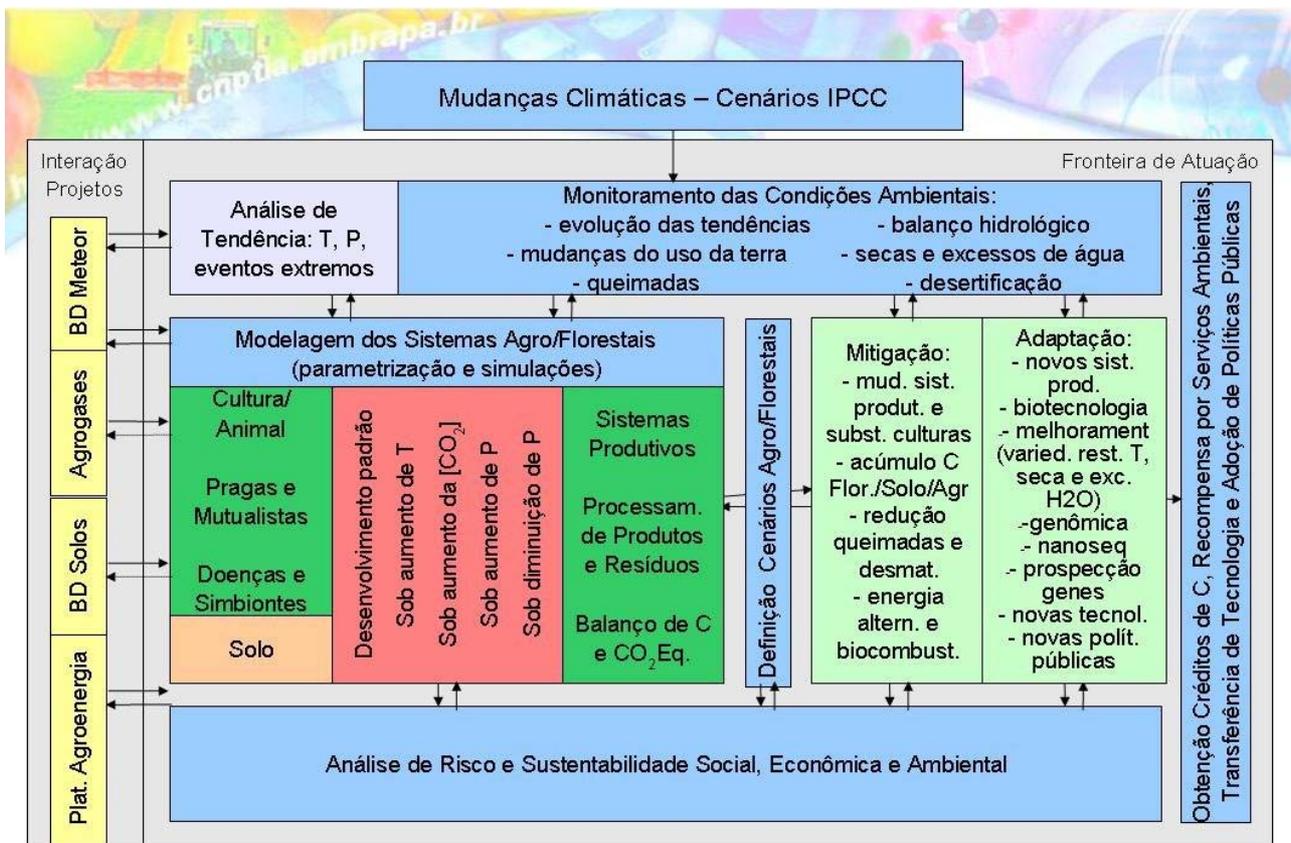


Figura 4 - Representação esquemática do sistema proposto e seus componentes.

## 6. Referências Bibliográficas

1. Alley, R. B. - Mudança Climática Brusca. *In: Scientific American Brasil*. Nº 12. Set-2005. pp. 8-15.
2. Assad, E.D. – *Coord. Zoneamento Agrícola do Brasil - Análise de Riscos Climáticos e Atualização*. Projeto Macroprograma 1. Embrapa, 2002.
3. Assad, E. D., Pinto H. S., Zullo Jr., J., Ávila, A. M. H. de, 2004. Impacto das Mudanças Climáticas no Zoneamento Agroclimático do Café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 39, n. 11, 2004.
4. Barbarisi, B.; Marin, F. R.; Pilau, F. G.; Assad, E. D.; Pacheco, L.R.F.. Efeito das mudanças climáticas sobre a aptidão climática para cana-de-açúcar no estado de Goiás. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Anais do XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Aracaju: Embrapa, 2007.
5. Bindschadler, R. A. & Bentley, C. R. - Fantasmas do Degelo. *In: Scientific American Brasil*. Nº 12. Set-2005. pp. 26-33.
6. Ehleringer, J. R., Cerling, T. E. e Dearing, D. M. (ed.) – *A History of Atmospheric CO<sub>2</sub> and Its Effects on Plants, Animals, and Ecosystems*. Springer. New York. USA. 2005. 530 pp.
7. Ghini, R. - *Mudanças Climáticas Globais e Doenças de Plantas*. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna. 2005. 104 pp.
8. Hansen, J. - Desarmando a Bomba-Relógio do Aquecimento Global. *In: Scientific American Brasil*. Nº 12. Set-2005. pp. 16-25.
9. Ichikawa, A. (ed.) - *Global Warming – The Challenges. A Report of Japan's Global Warming Initiative*. Springer. USA. 2004.
10. IPCC 2001 - Houghton, J.T.; Ding, Y.; Griggs, D.J.; Noguer, M.; Van der Linden, P.J.; Xiaosu, D.(Eds.), 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom, 944 pp.
11. Jauk, G. - Caos no Topo do Mundo. *In: Scientific American Brasil*. Nº 12. Set-2005. pp. 42-49.
12. Marengo, J. A. Impactos das Condições Climáticas e da Variabilidade e Mudanças do Clima sobre a Produção e os Preços Agrícolas: Ondas de Frio e seu Impacto sobre a Cafeicultura nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. *In: Lima, M. A. de, Cabral, O. M. R., Miguez, J. D. G. (Eds.). Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, pp. 97-123. 2001
13. Marin, F.R. – *Coord. Zoneamento de Riscos Climáticos: abordagem para agricultura familiar, bioenergia e pastagens*. Projeto Macroprograma 1, Embrapa, 2006.
14. McKee, T.B., Doesken, N.J. e Kleist, J. – The Relationship of Drought Frequency and

- Duration to Time Scales. Preprints, *Eighth Conf. On Applied Climatology*, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179-184. 1993.
15. Medlyn, B. E. e McMurtrie, R. E. – Effects of CO<sub>2</sub> on Plants at Different Timescales. In: *Ehleringer, J. R., Cerling, T. E. e Dearing, D. M. (ed.) – A History of Atmospheric CO<sub>2</sub> and Its Effects on Plants, Animals, and Ecosystems*. Springer. New York. USA. 2005. 530 pp.
  16. Nobre C.A., Oyama, M.D., Oliveira, G. S., Marengo, J.A., Salati, E., 2004. Impact of climate change scenarios for 2100 on the biomes of South America. *First International CLIVAR Conference*, Baltimore, USA, 21-25 June 2004.
  17. Nobre, C. A. – Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima. In: *Cadernos Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Nº 3. Mudança do Clima. Vol I*. Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação do Governo e Gestão Estratégica. 2005. 250 pp.
  18. Nobre, C. A., Assad, E. D. e Oyama, M. D. – Mudança Ambiental no Brasil – O impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. In: *Scientific American Brasil*. Nº 12. Set-2005.
  19. Otterman, J. & Tucker, C. J. - Satellite Measurements of Surface Albedo and Temperatures in Semi-Desert. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. v.24. March, 1985. pp. 228-235.
  20. Pellegrino, G. Q. - *Análise Espaço-Temporal de Dados Hidrológicos da Bacia do Rio Piracicaba*. Piracicaba. 1995. (mestrado USP/ESALQ).
  21. Pinto, H. S. - Comunicação pessoal. 1995.
  22. Pinto, H. S., Assad, E. D., Zullo Jr., Brunini, O., O Aquecimento Global e a Agricultura. *Revista Eletrônica do Jornalismo Científico, Comciência – SBPC*, v. 35, p. 1-6, 2002.
  23. Siqueira, O. J., 2001. Efeitos Potenciais das Mudanças Climáticas na Agricultura Brasileira e Estratégias Adaptativas para Algumas Culturas. In: *Lima, M. A. de, Cabral, O. M. R., Miguez, J. D. G. (Eds.). Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, pp. 65-96.
  24. Strum, M., Perovich, K. e Serreza, M. C. - O Acelerado Derretimento do Norte. In: *Scientific American Brasil*. Nº 12. Set-2005. pp. 34-41.

---

Data de Recebimento: 05/01/2007

Data de Aprovação: 12/03/2007