

SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS AGRÍCOLAS FUTUROS: EM BUSCA DO IMPREVISÍVEL CENÁRIO FUTURO REAL

Giampaolo Queiroz Pellegrino¹, Eduardo Delgado Assad², Fábio Ricardo Marin³, Hilton Silveira Pinto⁴ e Jurandir Zullo Jr⁵.

¹ Eng. Florestal, Pesquisador A, Embrapa Informática Agropecuária, Campus Unicamp, Campinas-SP. Fone 19 3211-5805. giam@cnptia.embrapa.br; ² Eng. Agrícola, Pesquisador A, Embrapa Informática Agropecuária; ³ Eng. Agrônomo, Pesquisador A, Embrapa Informática Agropecuária; ⁴ Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Cepagri/Unicamp; ⁵ Matemático e Eng. Agrícola, Pesquisador, Cepagri/Unicamp.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - 22 a 25 de setembro de 2009 – GranDarrell Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte - MG

RESUMO: Neste trabalho são apresentadas e analisadas as principais linhas de aprimoramentos na simulação de cenários agrícolas futuros baseadas em discussões sobre as primeiras aproximações elaboradas pelos autores. Com a intenção de gerar cenários agrícolas futuros mais próximos do imprevisível cenário futuro real, são propostos o aumento da resolução espacial e temporal dos cenários climáticos de entrada; a inclusão nos modelos das tendências de aumento da frequência de eventos extremos, de processos fisiológicos e do possível efeito da fertilização pelo CO₂ no crescimento das culturas; a consideração do avanço tecnológico como amenizador do impacto das mudanças climáticas; a análise da nova geografia de produção e seus impactos econômicos sobre a matriz produtiva; o desenvolvimento de simulador; e formas eficazes de divulgação.

PALAVRAS-CHAVE: mudanças climáticas globais, vulnerabilidade agrícola, modelagem do crescimento de plantas

TITLE: SIMULATION OF FUTURE AGRICULTURAL SCENARIOS: ON THE SEARCH OF THE UNPREDICTIBLE REAL FUTURE SCENARIO

ABSTRACT: This work presents and analyzes the main possible improvements in the simulation of future agricultural scenarios based on discussions on the first approaches developed by the authors. Intended to generate future agricultural scenarios closer to the unpredictable real future scenario, it is proposed to increase the spatial and temporal resolution of input climate scenarios; to include in the models the trends of increasing frequency of extreme events, the physiological processes and the possible effect of CO₂ fertilization on crop growth; to use of technological advances as a reducer of the impact of climate change; to analyze the new production geography and its economic impact on the production matrix; to develop a Simulator; and effective forms of information dissemination .

KEYWORDS: global climate change, agriculture vulnerability, plant growth modeling, digital mapping, spacial analysis

INTRODUÇÃO: É inegável a importância do setor agropecuário e florestal brasileiro, tanto na economia e abastecimento internos, como nas transações internacionais que o país realiza. Em 2007, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on*

Climate Change – IPCC) atribuiu grande parte da responsabilidade pela alteração da concentração de gases de efeito estufa às ações humanas e destacou a vulnerabilidade dos países em desenvolvimento, incluindo o setor agrícola. Essas constatações destacam a necessidade de avaliação da vulnerabilidade por meio do dimensionamento dos impactos dos cenários futuros de Mudanças Climáticas Globais (MCG) sobre a agricultura, definindo-se assim cenários agrícolas futuros sujeitos a condições de riscos climáticos diferentes das atuais. Pinto et al. (2002) e Assad et al. (2004) apresentam uma primeira aproximação nesse sentido, aplicando os modelos desenvolvidos para o zoneamento de risco climático na simulação de zoneamentos de riscos futuros com base nos cenários do terceiro relatório do IPCC (2001). Essa primeira aproximação foi de extrema importância para se direcionar a discussão sobre os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre as culturas agrícolas. Dessa discussão, importantes sugestões de melhoria ocorreram e iniciou-se a busca por formas de incorporá-las, visando avanços na projeção de cenários agrícolas futuros mais próximos do imprevisível cenário futuro real. Dessa forma, o objetivo deste artigo é apresentar os possíveis avanços na simulação de cenários agrícolas futuros (SCAF), sintetizados a partir das contribuições dos parceiros nos projetos de zoneamento de risco climático e, de forma mais ampla, de toda a comunidade agrometeorológica e de outras áreas correlatas da ciência, em âmbito nacional e internacional.

MATERIAL E MÉTODOS: Os projetos de Zoneamento de Risco Climático vêm sendo desenvolvidos há cerca de quinze anos com a participação de pesquisadores nas áreas de agrometeorologia, meteorologia, fisiologia, modelagem do crescimento e tecnologia da informação, sediados nos centros meteorológicos regionais, universidades e demais instituições de pesquisa e assistência técnica da maioria dos estados brasileiros, sendo coordenados pela Embrapa Informática Agropecuária e pelo Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da Unicamp. Usou-se, como objeto de análise dos possíveis avanços, a SCAF desses projetos para as principais culturas agrícolas brasileiras (Pinto et al., 2002; Assad et al., 2004; www.agritempo.gov.br/mapas_mudancasclimaticas.php), que foi realizada por meio da utilização do mesmo modelo de análise do zoneamento de risco climático, bastante bem validado e baseado no Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), e da alteração do conjunto de dados de entrada provenientes do Agritempo (www.agritempo.gov.br), homogênea para todo o país e de acordo com a projeção para 2100 de três cenários do terceiro relatório do IPCC (2001): B1 – cenário otimista e que previa aumento da temperatura no mínimo em torno de 1,0°C; A1B – intermediário com aumento médio em torno de 3,0°C; e A1F1 pessimista e que previa o maior aumento da temperatura, de até 5,8°C. Essa primeira aproximação de SCAF foi discutida internamente aos projetos e em diversos fóruns de comunidades científicas relacionadas ao tema, marcadamente nos Congressos das Sociedades Brasileiras de Agrometeorologia e de Meteorologia, além de diversos eventos científicos, governamentais ou de agricultores no Brasil e no exterior. Além da alteração de algumas das próprias premissas adotadas no desenvolvimento da SCAF, diversas sugestões de melhoria foram apresentadas nesses fóruns e são sintetizadas e analisadas a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Partindo das primeiras aproximações propostas e baseados nas discussões delas derivadas, puderam-se sintetizar as principais diretrizes e novos fatores condicionantes para aprimoramentos na SCAF, sejam eles: - **Resolução espacial e temporal dos cenários climáticos de entrada:** A cada novo relatório do IPCC é claro o avanço em termos de aumento da resolução dos modelos de circulação global (sigla em inglês GCM) e, no último relatório publicado (IPCC, 2007), os seus resultados já são apresentados com resolução em torno de 110 km. O esforço de desenvolvimento de modelos de circulação atmosférica regional (sigla em inglês RCM) já vem sendo realizado no Brasil nos trabalhos de Marengo (2007) que incluem ajustes de três modelos, que chegam à resolução espacial de 50

km e cujos resultados já vêm sendo testados pelos autores na SCAF: HadCM3, PRECIS e ETA. De acordo com os testes já realizados até o momento da elaboração deste artigo, o que apresenta melhor ajuste e maior coerência para as diversas regiões do país é o PRECIS; - **Projeções de aumento da frequência de eventos extremos e de seu impacto sobre a capacidade produtiva** – A tendência de aumento da frequência de eventos extremos como ondas de calor, ondas de frios, estiagens prolongadas e secas, tempestades e enchentes, também vem sendo destacada (IPCC, 2007; Prof. Dr. Luiz Cláudio Costa – UFV, presidente da SB Agro, 2008, comunicação pessoal) como mais danosa para os sistemas agrícolas e florestais que a própria tendência média de aquecimento global. Em geral, esses eventos são de menor escala temporal, porém bastante severos, e a vulnerabilidade agrícola a eles precisa ser avaliada para a busca de alternativas de adaptação, o que envolve a intensidade do impacto provocado e a capacidade de dar resposta a eles; - **Processos fisiológicos por meio de modelos de crescimento para as culturas que já disponham deles e para as que se possa adaptá-los/desenvolvê-los** - O trabalho com modelos é essencial para que se possam usar os cenários climáticos futuros para a simulação de cenários agrícolas futuros, sejam eles modelos de risco climático ou modelos de crescimento de culturas, envolvendo processos fisiológicos. Para algumas culturas, principalmente as forrageiras e florestais, ainda é necessário que se desenvolvam modelos de risco climático. A prática da modelagem de processos ou mecanística, ou ainda, modelagem do crescimento já se encontra bastante desenvolvida para muitas culturas, principalmente as graníferas e industriais e para algumas espécies florestais (ICASA, 2008; Landsberg & Waring, 1997), porém é necessário que se realizem etapas de parametrização e validação dos modelos para diferentes regiões do país antes de poderem ser usados nas simulações. Além desses, outros estudos contemplam efeitos das MCG sobre pragas, doenças e outros aspectos do sistema produtivo agrícola (Ghini, 2005; Ghini et al., 2007). A integração desses modelos de crescimento a modelos de desenvolvimento de doenças deve ser testada inicialmente para as culturas graníferas, mais avançadas nessas duas modelagens, como um piloto para avanços futuros para as demais culturas e já na direção de uma futura integração dos cenários mais completos focando diferentes aspectos das mudanças climáticas; - **Efeito do aumento da concentração do CO₂ sobre a produtividade vegetal** - Um outro desafio é incluir nos modelos de crescimento o efeito do aumento da concentração de CO₂, também conhecido como fertilização pelo CO₂, para uma melhor definição dos impactos das mudanças climáticas sobre o crescimento de plantas. Métodos para avaliação desse efeito contam o enriquecimento de CO₂ em câmaras de crescimento fechadas, em câmaras de topo aberto ou totalmente ao ar livre, como no sistema FACE (*Free Air CO₂ Enrichment*). Testes e parametrizações com respeito ao efeito do CO₂ e da T podem ser feitos em câmaras fechadas cujos dados permitem obter boas correlações com a produção de vasos em condições laboratoriais e o entendimento de processos fisiológicos. Porém, essas boas correlações não se mantêm ao se calibrar os modelos com esses dados laboratoriais e estimar a produção real em condições de campo de cultivo. Equipamentos FACE têm sido testados na busca de uma boa correlação com os dados de produtividade a campo. O Brasil não dispõe até hoje de equipamentos FACE operacionais e encontra-se cerca de 15 anos atrasado nessa linha de pesquisa. Embora sejam aparelhos caros com alto custo de manutenção, principalmente do fornecimento de CO₂, uma condição mínima para o país poder acompanhar satisfatoriamente o avanço científico na área de quantificação da fertilização do CO₂ sobre as culturas agrícolas, seria importante a instalação de pelo menos dois desses equipamentos. Um está sendo comprado e implantado pela Embrapa no âmbito de projetos de seu Macro Programa 1 – Grandes Desafios Nacionais e de sua Plataforma de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (www.multiciencia.unicamp.br/art08_8.htm); - **Efeito do desenvolvimento tecnológico, amenizando os impactos das MCG** - Uma ponderação importante a se realizar nos cenários agrícolas futuros é a questão do avanço tecnológico, que pode minimizar os

efeitos das mudanças climáticas por meio de adaptações do sistema produtivo, introdução de novas técnicas de cultivo, novas espécies e novos cultivares, com ou sem a introdução de genes resistentes a altas temperaturas e a estresse hídrico acentuado. Oliveira (2007) aplica uma técnica interessante para o feijão e o milho nos municípios mineiros que permite estimar a contribuição do avanço tecnológico a partir do incremento na produtividade da cultura ano a ano. Técnica semelhante também já vem sendo aplicada para a cana-de-açúcar nos municípios paulistas e mineiros e para o trigo no Rio Grande do Sul. Pretende-se aplicá-la amplamente às outras culturas nas diversas regiões brasileiras, introduzindo esse fator de ponderação nos cenários agrícolas futuros gerados; - **Fatores econômicos que permitam a composição de matrizes produtivas mais plausíveis, considerando deslocamentos e substituições de culturas em função dos enfoques e estratégias que se adotem** - A análise econômica dos cenários atuais e futuros, utilizando-se técnicas de otimização da matriz produtiva, é um desafio que, superado, permitirá quantificar os impactos econômicos mais prováveis das MCG sobre o setor agrícola nacional e traçar estratégias preventivas para evitá-los ou mitigá-los; - **Desenvolvimento de simulador baseado em processamento paralelo que permita agilizar a incorporação de novos conjuntos de dados de GCMs e RCMs e de modelos de crescimento de culturas** - Dando sustentação à modelagem e simulação, há um desafio na área de tecnologia da informação na criação de uma infra-estrutura de hardware e software que permita o processamento paralelo e de alto desempenho e o desenvolvimento de simuladores que permitam a criação de cenários climáticos combinando diversas variáveis e a geração dos cenários agrícolas correspondentes via web e com desempenho aceitável para o usuário. Baseado nesse tipo de simulador, pode-se usar um grande número de resultados de GCMs e RCMs e criar *ensembles* ou analisar a dispersão dos cenários agrícolas simulados a partir desses diferentes dados de entrada na busca de uma estimativa de incertezas; - **Formas de divulgação** – Faz-se ainda necessária a busca de formas mais inteligíveis e inequívocas de divulgação que permitam transferir a informação, de forma simples e que propicie a tomada de decisão e a definição de políticas públicas, mantendo o rigor científico e considerando as incertezas inerentes à simulação. O projeto “SCAF – Simulação de Cenários Agrícolas Futuros a partir de Projeções de Mudanças Climáticas Regionalizadas”, financiado pelo Macroprograma 1 – “Grandes Desafios Nacionais” da Embrapa e iniciado em janeiro de 2009, já incorpora a busca pela maioria desses aprimoramentos. A figura 1 apresenta a estrutura do projeto bem como as culturas nele analisadas. Outro projeto financiado pela Embaixada Britânica e já concluído incorpora o uso do RCM PRECIS pode ser consultado em www.climaeagricultura.org.br.

CONCLUSÕES: As primeiras aproximações permitiram sintetizar novas linhas na busca do aprimoramento das SCAF e embasar novos projetos de pesquisa. Como se procurou destacar, os avanços ou inovações nesses vários pontos permitirão aproximar os cenários agrícolas futuros projetados do imprevisível cenário futuro real, permitindo ao país realizar melhores projeções dos possíveis impactos negativos das MCG e lhes fazer frente ao adotar antecipadamente políticas públicas que promovam sua mitigação ou adaptação a eles.

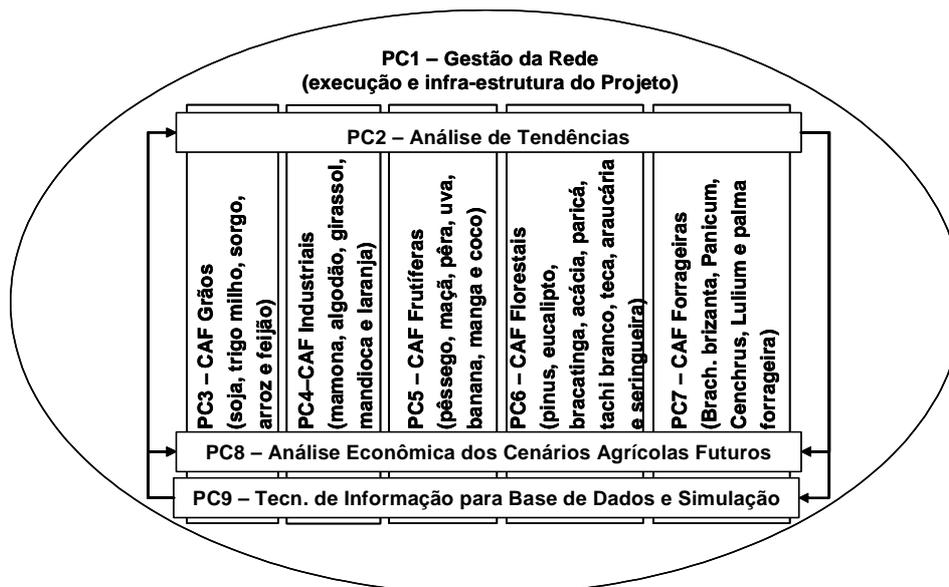


Figura 1 - Representação esquemática dos Projetos Componentes (PC) do projeto SCAF - Embrapa. Apresentam-se também as culturas para as quais serão simulados cenários futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 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.
- Ghini, R. *Mudanças climáticas globais e doenças de plantas*. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna. 104p., 2005.
- Ghini, R.; Hamada, E.; Gonçalves, R. R. V.; Gasparotto, L.; Pereira, J. C. R. Análise de risco das mudanças climáticas globais sobre a Sigatoka-negra da bananeira no Brasil. *Fitopatologia Brasileira*, v. 32, p. 197-204, 2007.
- ICASA, 2008. International Consortium for Agricultural Systems Applications. www.icasa.net/dssat/
- 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.
- IPCC Assessment Report, 4., 2007, Valencia, Spain. *Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers*. [Genebra]: IPCC, 2007a. 18p. A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>.
- Landsberg, J.J.; Waring, R.H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance, and partitioning. *Forest Ecology and Management*, v. 95, p. 209-228, 1997.
- Marengo, J. A. . Cenários de Mudanças Climáticas para o Brasil em 2100. *Ciência & Ambiente*, v. 34, p. 100-125, 2007.
- Oliveira, L. J. C., Mudanças climáticas e seus impactos nas produtividades das culturas do feijão e do milho no estado de minas gerais. Viçosa, 2007. 67p. *Dissertação* (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- Pinto, H. S., Assad, E. D., Zullo Jr., Brunini, O., 2002. O Aquecimento Global e a Agricultura. *Revista Eletrônica do Jornalismo Científico, Comciência – SBPC*, v. 35, p. 1-6, 2002.