



FUNDAÇÃO ELISEU ALVES



FUNDAÇÃO ELISEU ALVES

Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas – Agricultura

CARTA DE ACORDO Nº 25760/2014

Fundação Eliseu Alves

**Relatório referente à preparação do simulador de cenários de cultura para a utilização do
modelos climáticos regionalizados.**

(Produto 2)

Equipe Executora e Autora

(em ordem alfabética):

Alan Massaru Nakai

Aryeverton Fortes de Oliveira

Giampaolo Queiroz Pellegrino

José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro

Campinas - SP

Setembro 2014

Sumário





1.	CONTEXTO	3
2.	DESCRIÇÃO DO SISTEMA E PREPARAÇÃO DO SIMULADOR	4
2.1.	ANÁLISE DE RISCOS CLIMÁTICOS NA AGRICULTURA	4
2.2.	ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO	7
2.3.	MODELAGEM E SIMULAÇÃO AGROAMBIENTAL	12
2.4.	MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AGRICULTURA	14
2.5.	PREPARAÇÃO DO SIMULADOR	17
3.	RESULTADOS	18
3.1.	INCORPORAÇÃO DOS DADOS	18
3.1.1.	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	18
3.1.2.	VARIÁVEIS INCORPORADAS	19
3.2.	AVALIAÇÃO DE FUNCIONALIDADES E CAPACIDADE DE UTILIZAÇÃO DOS DADOS	20
3.3.	DEFINIÇÃO DOS CONJUNTOS DE PARÂMETROS DAS CULTURAS A SEREM SIMULADAS	20
3.4.	SIMULAÇÃO DAS CULTURAS PARA A CONDIÇÃO ATUAL (PERÍODO DE REFERÊNCIA 1961-2005)	22
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
5.	REFERÊNCIAS	33





1. Contexto

O projeto “BRASIL 3 TEMPOS” BRA/06/032, executado pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), tem como objetivo desenvolver estratégias e ações nacionais que subsidiem o governo na formulação e implementação de políticas públicas de longo prazo que promovam o crescimento econômico do país, acompanhado de inclusão social. Essas ações serão realizadas por meio de estudos, produtos e eventos sobre temas de grande importância para o planejamento estratégico brasileiro. Para tanto, o projeto foca no tema da Adaptação às Mudanças Climáticas.

A agricultura tem um papel importante nesse contexto, pois é fortemente impactada pela mudança climática. Devido à enorme importância do setor agrícola na economia do País, é preciso melhor conhecer os efeitos e as opções de adaptação do setor agrícola às mudanças do clima no Brasil. Dessa forma, a SAE/PR propôs uma avaliação dos prováveis impactos de diferentes cenários climáticos para o Brasil, bem como as estratégias alternativas de adaptação em um horizonte de 30 anos (2010-2040). A fim de concretizar essa proposta, uma série de ações foram organizadas a fim de produzir os dados e informações necessárias, conforme listado na Tabela 1.

Este documento, em particular, se restringe à apresentação dos resultados da preparação do simulador de cenários de culturas agrícolas para a utilização dos modelos climáticos regionalizados (Produto 2).

Tabela 1. Ações em execução previstas na carta de acordo de cooperação técnica 25760/2014, “Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas – Agricultura”.

Ação / Produto	Produto esperado / Forma de entrega dos resultados
1	Linha de base de produção agropecuária e alocação de terra para o período 2010-2040.
2	Relatório referente à preparação do simulador de cenários de cultura para a utilização de modelos climáticos regionalizados.
3	Relatório da simulação dos cenários para as principais culturas brasileiras em 2040.
4	Relatório de análise comparativa das culturas nos cenários simulados para 2040 em relação à condição atual.
5	Relatório de análise de produção agropecuária e alocação de terra com mudança do clima, para 2040, a partir de modelo econômico.
6	Análise de Vulnerabilidade econômica do sistema de produção das principais culturas brasileiras.
7	Relatório de análise das possíveis medidas adaptativas identificadas.



2. Descrição do Sistema e Preparação do Simulador

2.1. ANÁLISE DE RISCOS CLIMÁTICOS NA AGRICULTURA

O risco climático pode ser definido como o possível impacto negativo que um evento ou uma condição meteorológica pode causar a um bem, sociedade ou ecossistema. Uma vez que a agricultura é a atividade humana mais dependente das condições climáticas, o agronegócio é o setor mais frequentemente afetado pelos riscos climáticos.

A variabilidade natural das condições meteorológicas, caracterizadas por precipitação, temperatura, radiação solar, umidade e vento, podem causar diferentes eventos como secas, tempestades, ondas de calor, ondas de frio e subida do nível do mar. Estes eventos, por sua vez, podem gerar diversos impactos em plantações e rebanhos, como a falta ou o excesso de água, surtos de pragas e doenças, inundações de terras produtivas, incêndios de florestas naturais ou plantadas, entre outros, todos resultando em redução da produtividade agrícola (MARENGO et al., 2011).

O risco climático pode ser analisado através do produto da probabilidade e severidade do impacto no local em estudo. No entanto, muitas vezes, é difícil estimar o impacto preciso de uma determinada condição climática na agricultura. Por isso, o risco agroclimático tem sido tratado no Brasil mais comumente na forma de frequência de ocorrência. Nesse caso, qualquer condição particular cuja ocorrência resulte em impactos deletérios e que possa ser objetivamente caracterizada, pode ser incluída em uma estratégia de análise do risco.

O cálculo da probabilidade de ocorrência dessas condições é normalmente baseado na análise de séries temporais das variáveis envolvidas. Assim, estes estudos dependem de séries de dados meteorológicos medidos por um período longo o suficiente para que seja representativo da variabilidade natural das condições locais analisadas. As Recomendações Técnicas da Organização Meteorológica Mundial (OMM) definem Normas Climatológicas como valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas (Organização Meteorológica Mundial, 1989). No entanto nem todas as localidades ou regiões agrícolas estudadas possuem séries longas o suficiente. Por isso, na prática, períodos mais curtos têm sido aproveitados em estudos de zoneamento. Ainda de acordo com a Organização Meteorológica Mundial (1989), no caso de estações para as quais a mais recente Normal



Climatológica não esteja disponível, seja porque a estação não esteve em operação durante o período de 30 anos, seja por outra razão qualquer, Normais Provisórias podem ser calculadas. Normais Provisórias são médias de curto período, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos.

As condições de risco dependem da cultura considerada e de sua fase de desenvolvimento, sendo influenciadas pelo solo e pelo manejo adotado. No Brasil, o suprimento hídrico para culturas agrícolas, inclusive pastagens, florestas e pomares, é proveniente quase que exclusivamente da chuva. Estima-se que cerca de 5% das áreas agrícolas nacionais sejam irrigadas (PAZ et al., 2000). Portanto, nas áreas não irrigadas, as culturas encontram-se sujeitas às grandes variações naturais da chuva, tanto em quantidade como em distribuição, com meses ou anos de maior ou menor oferta. Isto faz com que este seja um dos principais fatores de risco para a agricultura no Brasil. Outro fator de risco são as temperaturas extremas que, quando muito baixas ou muito altas, podem provocar estresse fisiológico ou danos diretos em plantas e animais resultando em redução de produtividade. Danos diretos provocados por vento muito intenso e granizo também são um fator de risco, mas de ocorrência muito mais localizada e esporádica.

Devido aos vários fatores envolvidos na definição de uma condição de risco agrícola e ao grande volume de dados requeridos, os procedimentos de cálculo para áreas extensas demandam considerável capacidade de processamento e armazenamento de dados, e requerem software ou sistemas computacionais apropriados.

Nesse contexto, o Simulador de Cenários Agrícolas (SCenAgri) é um sistema computacional que foi desenvolvido pela Embrapa Informática Agropecuária para suprir essa necessidade. O SCenAgri provê computação de alto desempenho para simular o efeito das condições climáticas na agricultura brasileira, utilizando modelos de cultura, bancos de dados climáticos e de solos. Um dos modelos, atualmente em uso, calcula o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) da cultura a partir das séries históricas do banco de dados meteorológicos, produzindo resultados de frequência de ocorrência de anos *versus* datas de plantio acima e abaixo de valores de referência relacionados ao risco de perda. O ISNA pode ser diretamente relacionado à produtividade da cultura através de funções de redução de produtividade (DOORENBOS; PRUITT, 1977). Dessa forma, é possível mapear as áreas de acordo com o risco climático estimado para a cultura, em cada data de plantio. O Simulador permite que seus usuários simulem cenários agrícolas atuais, baseados nas séries de dados climáticos observados do passado até o presente, ou mesmo, cenários futuros, utilizando dados estimados de diversos modelos de projeções climáticas regionalizadas.



Este sistema opera em uma grade de computadores composta por dezenas de máquinas, e utiliza o software estatístico R (<http://www.r-project.org/>) e a tecnologia Hadoop/MapReduce (http://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/mapred_tutorial.html) para distribuir a execução das simulações entre os computadores da grade, em paralelo. Entre os vários recursos do Hadoop, dois são empregado no SCenAgri: a implementação MapReduce e o Sistema de Arquivos Distribuídos Hadoop (HDFS) (BORTHAKUR, 2007, DEAN; GHEMAWAT, 2008). MapReduce é um modelo de programação, originalmente proposto pelo Google, para processamento e geração de grandes quantidades de dados. Neste modelo, os usuários especificam o cálculo em termos de dois tipos de tarefas: mapeadores e redutores. Os mapeadores são responsáveis por executar a computação em frações de dados de entrada e geração de resultados intermediários. Os resultados intermediários são consolidados pelo redutor, que gera o resultado final. Uma camada de software subjacente que implementa o modelo de programação paraleliza automaticamente o cálculo dos mapeadores através das máquinas do *cluster*, conforme ilustrado na Figura 1.

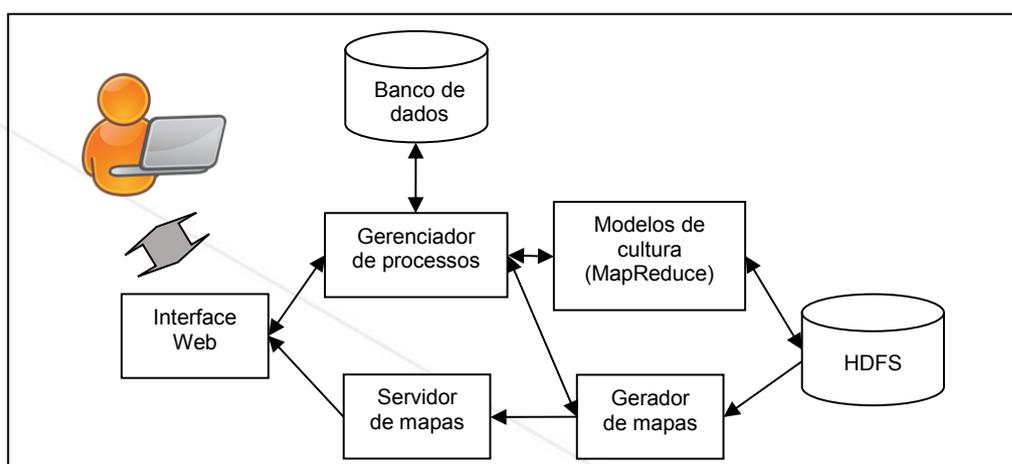


Figura 1. Arquitetura de software do sistema computacional SCenAgri (Fonte: Equipe de desenvolvimento SCenAgri).

O HDFS é um sistema de distribuição de arquivos implementado pelo Hadoop. O HDFS replica blocos de dados e os distribui em clusters de computadores. A redundância de dados resulta em um armazenamento de dados mais confiável e de alta taxa de transferência, necessário para as operações e volume de dados processados pelo simulador. Além disso, o HDFS é projetado para ser implementado em hardware de baixo custo, ou seja, computadores comuns.

O tratamento de dados, as análises estatísticas necessárias, bem como a geração dos



mapas em formato matricial (formato Geotiff) e vetorial (formato Shapefile) são executados utilizando-se o software R. O R é um software livre e muito extensível, que proporciona uma grande variedade de técnicas estatísticas. Entre as suas extensões, R fornece bibliotecas de software para manipulação e produção de dados espacializados, o que é essencial para as análises de dados e a produção dos mapas espacializados gerados pelo SCenAgri.

Por fim, uma interface web flexibiliza o acesso ao sistema por parte do usuário, que pode realizar novas simulações e recuperar resultados obtidos anteriormente. Atualmente, este sistema é restrito para atividades de pesquisa ligadas à programação da Embrapa. Fazendo uso dos dados estimados de modelos de projeções climáticas futuras, este sistema vem atendendo às necessidades de diversos estudos e avaliações de impacto sobre mudanças climáticas na agricultura.

2.2.ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO

Dentre as informações agrometeorológicas empregadas na fase de planejamento agrícola, o zoneamento agroclimático é a de uso mais difundido no Brasil.

Para se alcançar uma produtividade econômica cada cultura necessita de condições favoráveis durante todo o seu ciclo vegetativo, isto é, exigem determinados limites de temperatura nas várias fases do ciclo, de uma quantidade mínima de água, e de um período seco nas fases de maturação e colheita. Um zoneamento agroclimático consiste na determinação da aptidão climática das regiões de um país, estado ou município, considerando as exigências agroclimáticas dos cultivos e as informações climáticas do local de interesse. Como o solo é o outro componente do meio físico necessário na agricultura, pode-se considerar os aspectos edáficos de forma conjunta aos aspectos do clima, resultando em um zoneamento edafoclimático ou zoneamento ecológico das culturas. O denominado zoneamento agrícola envolve o zoneamento ecológico e o levantamento das condições socioeconômicas das regiões, para delimitar a vocação agrícola das terras. Uma vez que o clima não pode ser controlado pelo homem para se adequar às necessidades dos cultivos, essa deve ser a primeira informação a ser considerada no planejamento de um empreendimento agrícola (PEREIRA et al., 2002).

O zoneamento agroclimático pode ser empregado para a delimitação de áreas aptas, marginais ou inaptas às culturas, como o exemplo ilustrado na Figura 2, mas também para o estabelecimento das melhores épocas de semeadura com base em informações probabilísticas, como o exemplo ilustrado na Figura 3. O zoneamento também pode ser empregado para definição



de zonas de maturação de frutos, do risco climático associado aos impactos do déficit hídrico nas culturas, de áreas de escape de doenças, de potencial produtivo e de qualidade dos produtos (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009).

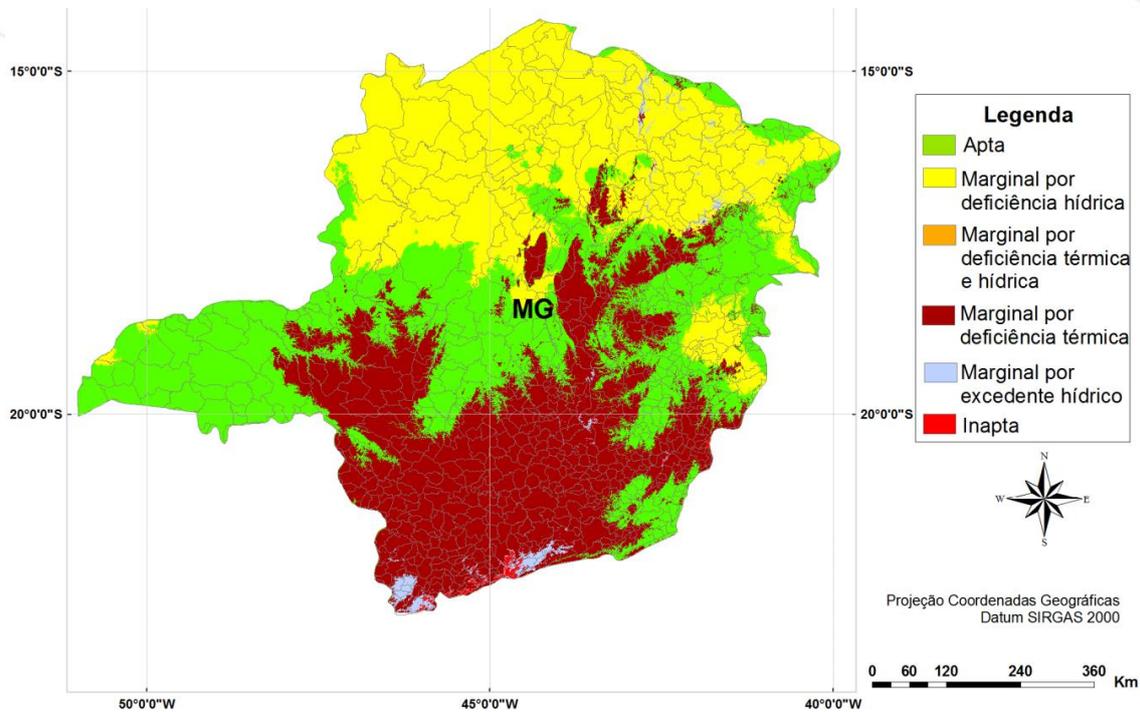


Figura 2. Zoneamento agroclimático para o cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) no Estado de Minas Gerais, considerando necessidades hídricas e térmicas da cultura. Fonte: Yamada (2011).

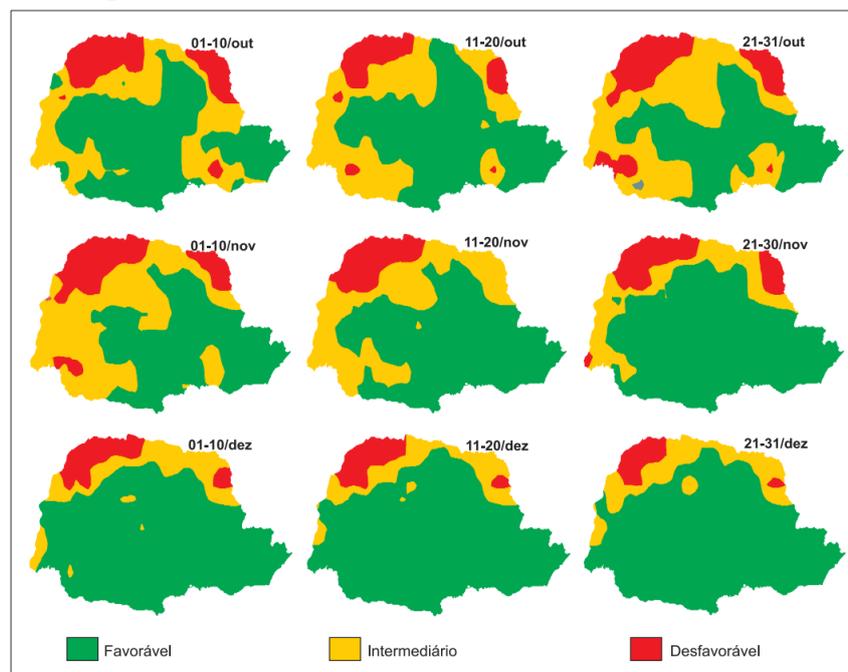


Figura 3. Classificação de épocas de semeadura em relação ao risco hídrico à cultura da soja no



estado do Paraná, em nove épocas de semeadura, para cultivar precoce (120 dias) e solo de média retenção de água (CAD= 50 mm). Fonte: Farias et al., (2001).

No Brasil, um dos métodos de zoneamento mais difundido é o baseado na quantificação de riscos climáticos. Esse zoneamento consiste na espacialização das informações de risco, baseado em análises de frequência que retornam a probabilidade de ocorrência de condições específicas. Essas análises de frequência consideram séries de dados meteorológicos medidos por um período longo o suficiente para que seja representativo da variabilidade natural das condições locais analisadas.

Atualmente, o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil utiliza o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) como um instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura. O estudo é elaborado com o objetivo de minimizar os riscos relacionados a perdas agrícolas decorrentes de eventos climáticos e permite a cada município identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares. Para fazer jus a programas de seguro agrícola e à subvenção federal do seguro rural, o produtor deve observar as recomendações desse pacote tecnológico. Além disso, alguns agentes financeiros condicionam a concessão do crédito rural ao uso do zoneamento.

No estudo do ZARC são analisados os parâmetros de clima, solo e de ciclos de cultivares para, no final, ser determinada a relação de municípios indicados ao plantio de determinadas culturas, com seus respectivos calendários ou épocas de plantio. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático foi usado pela primeira vez na safra de 1996 e é publicado na forma de portarias, no Diário Oficial da União e no site do ministério. Atualmente, os estudos de zoneamentos agrícolas de risco climático contemplam mais de 40 culturas, sendo 15 de ciclo anual e 24 de ciclo permanente, além do zoneamento para o consórcio de milho com braquiária, alcançando 24 estados brasileiros (MAPA, 2014).

Os passos para a elaboração do zoneamento agroclimático de uma cultura envolvem a definição dos objetivos, a caracterização das exigências climáticas das culturas, a abrangência do estudo, o levantamento dos dados climáticos da região estudada e, finalmente, o processamento dos dados e produção dos resultados. A partir dos dois primeiros passos, determina-se os procedimentos de cálculo e os dados que serão necessários e, considerando a abrangência do estudo, já é possível estimar o volume aproximado de dados a serem processados.

A evolução da qualidade dos estudos de zoneamento nas últimas duas décadas está relacionada não apenas aos aprimoramentos metodológicos em si mas, principalmente, com o



aumento das capacidades computacionais e de processamento de dados - maior número de estações, regiões maiores, maior resolução espacial. Dessa forma, a evolução do zoneamento agrícola no Brasil sempre esteve relacionada e se beneficiou diretamente da evolução dos recursos das tecnologias de informação e comunicação disponíveis.

Uma ferramenta de TI que merece destaque e se tornou comum nos últimos anos são os sistemas de informações geográficas (SIG), cada vez mais usados para a distribuição, processamento, análise, modelagem de dados espaciais, sendo aplicados em diversas áreas. Na elaboração de zoneamentos agroclimáticos, em particular, têm sido útil pois muitos softwares dessa classe de sistemas podem executar procedimentos diversos a partir de dados básicos e gerar informações georreferenciadas na definição de áreas propícias ao cultivo de determinadas culturas (YAMADA, 2011).

Entre as análises espaciais do SIG é possível calcular a regressão por meio da interpolação dos dados de probabilidades de ocorrência da variável climática em questão para todos os outros pontos onde não há estações meteorológicas usando-se as relações existentes entre a variável em questão, a latitude, a longitude, e a altitude (por ex. imagens SRTM como modelos digitais de elevação do terreno) para cada um dos pixels existentes no mapa, obtendo-se assim valores estimados para todas as localidades da região representada com informações a respeito do comportamento espacial da variável (CÂMARA; MEDEIROS, 1998; ASTOLPHO, 2003).

No âmbito dos assuntos relativos a zoneamento, um dos recursos disponibilizados pelo Simulador de Cenários Agrícolas (SCenAgri), já descrito no tópico Análise de Risco, é a geração de mapas com dados espacializados a partir dos resultados da análise de risco para deficiência hídrica. Dessa forma, é possível identificar os municípios de alto e baixo risco quanto ao suprimento hídrico, para datas de plantio a intervalos decendiais, seguindo os mesmos critérios atualmente adotados na metodologia do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) (Figura 4).

O SCenAgri foi criado para permitir a vinculação de conjuntos de dados históricos ou de projeções futuras - como as geradas pelos modelos de circulação geral da atmosfera - ao próprio modelo do Zarc e de outros modelos semi-empíricos ou determinísticos para a simulação de cenários agrícolas futuros. Isto tem permitido, por meio dos resultados tabulares e espaciais do SCenAgri, avaliar os possíveis impactos que as mudanças climáticas terão sobre o ZARC e sobre as culturas agrícolas em geral (Figura 5).



Simulador Distribuído de Cenários Agrícolas

Região: SUDESTE

Tipo de Dados: Dados de Estações

KC (Cultura): Canola 125 - Região Sudeste, Região Centro-Oeste, Região Nordeste, Região Norte - [ID:39]

Mês: Janeiro - Decêndio: 1 - Área Mínima: 20.0% - ISNA Mínimo: 0.6 - Reserva do Solo: 60

Styles: Gradiente

Width/Height: 750 Auto

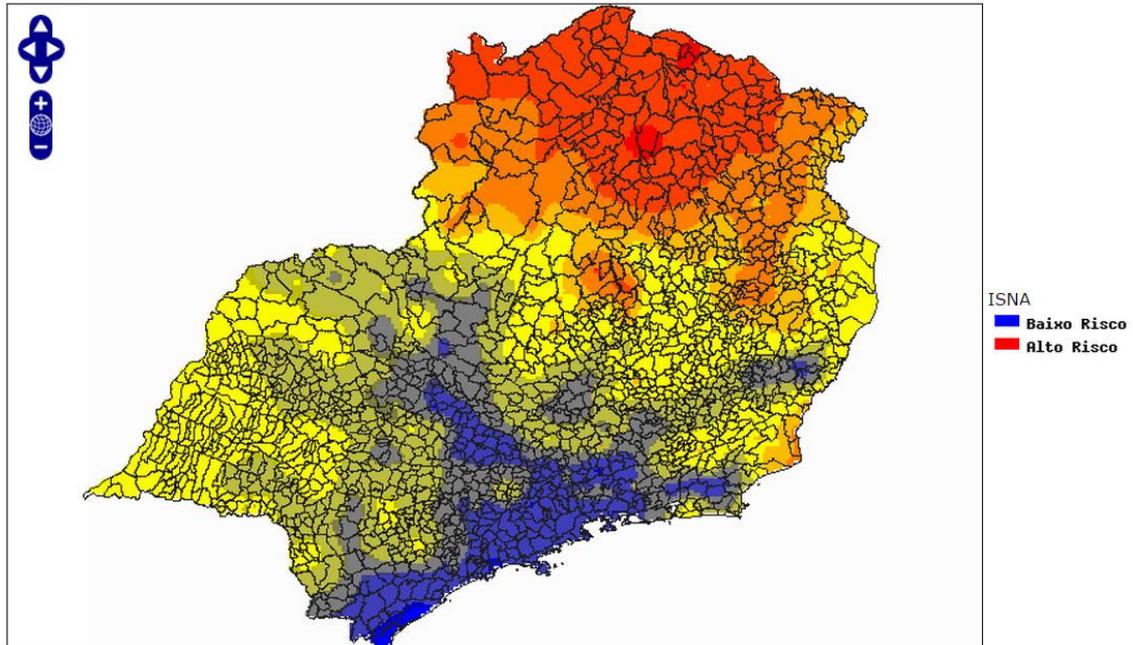


Figura 4. Zoneamento de risco por deficiência hídrica para a cultura da canola para o período de dados 1961-1990, gerado pelo Sistema SCenaAgri/Embrapa, considerando ciclo médio de 125 dias, CAD de 60 mm, e plantio no primeiro decêndio de janeiro.





Simulador Distribuído de Cenários Agrícolas

Região: SUDESTE

Tipo de Dados: Modelo de Simulação Climática: INMET_ETA_CMIP5/2055/RCP4.5

KC (Cultura): Canola 125 - Região Sudeste, Região Centro-Oeste, Região Nordeste, Região Norte - [ID:39]

Mês: Janeiro - Decêndio: 1 - Área Mínima: 20.0% - ISNA Mínimo: 0.6 - Reserva do Solo: 60

Styles: Gradiente

Width/Height: 750 Auto

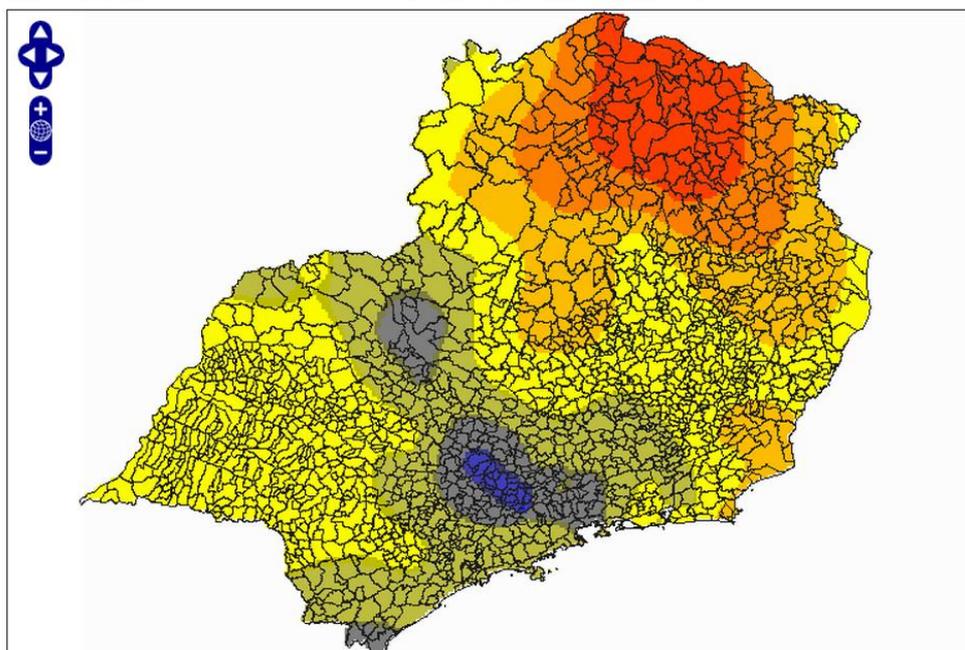


Figura 5. Zoneamento de risco por deficiência hídrica para a cultura da canola para projeções futuras 2041-2070 (modelo ETA, inicialização HadGen2ES RCP 4,5), gerado pelo Sistema SCenaAgri/Embrapa, considerando ciclo médio de 125 dias, CAD de 60 mm, e plantio no primeiro decêndio de janeiro.

2.3. MODELAGEM E SIMULAÇÃO AGROAMBIENTAL

A modelagem é um método eficiente para representar a realidade e apoiar a tomada de decisão racional, sendo assim fundamental para a ação humana. Os sistemas Agritempo e SCenAgri, já mencionados, são exemplos de sistemas de produção de informações agroambientais que fazem uso intensivo da modelagem para a análise de dados e produção de informações.

A agropecuária se organiza em sistemas complexos, com realidades muito particulares e heterogêneas determinando seu formato. À medida que os principais interesses da agricultura passam a incluir, além dos aumentos de produtividade e de riqueza, os aspectos ambientais e sociais, um conjunto ampliado de atores requerem resultados analíticos aplicados a problemas específicos. Nesse contexto, os institutos de pesquisas são desafiados continuamente a fazer a



ponte entre o conhecimento básico das ciências e a demanda prática de conhecimentos.

Atualmente, a tecnologia da informação permite que sistemas, instrumentos e dispositivos automatizados utilizem as estruturas de conhecimento criadas pela pesquisa científica em larga escala, viabilizando o uso de dados, informações e sistemas nas cadeias produtivas agropecuárias e nas instituições que coordenam as ações produtivas. A agricultura torna-se, desta forma, uma atividade intensiva em conhecimentos, complementando os recursos de capital, trabalho e terras tradicionalmente utilizados.

Na pesquisa científica há um uso bastante ampliado de modelos (PIDD, 2009). Os modelos mais úteis capturam a essência do conhecimento disponível sobre o fenômeno, podendo ser manipulados e ajustados a um custo substancialmente menor que a experimentação. Essas estruturas analíticas podem incorporar conhecimentos gerais e específicos, partindo das definições de componentes e de seu relacionamento no sistema representado. A modelagem torna-se, desta forma, um método para analisar um fenômeno em bases qualitativas e quantitativas, em que exercícios mentais são utilizados. O esforço de modelagem torna-se também um esforço de aprendizado, o que facilita muito a difusão de conhecimentos. A utilidade da modelagem também está na especificação da informação de interesse final. Ao se perseguir a utilidade para a tomada de decisões e desenvolver métodos computacionais eficientes, todo o conjunto de informações e conhecimentos incorporados no modelo geram um produto de maior facilidade de comunicação. Dessa forma, as tecnologias de informação e comunicação proporcionam recursos importantíssimos para a viabilização do conhecimento científico da atualidade, tanto na agricultura como em outras áreas do conhecimento.

A modelagem é um fenômeno alavancado com a produção de grandes volumes de informações e capacidade de processamento, permitindo o teste de hipóteses e verificação da validade de teorias fundamentais (PIDD, 2009). O estudo do relacionamento entre as variáveis, o entendimento dos problemas de interesse e a exploração de dados tornam os modeladores potencialmente melhores, estabelecendo mais claramente relações de causa e efeito e lógicas. Este aspecto é crucial para a agricultura. A modelagem é também uma das melhores maneiras de especificar demandas adicionais de informações, em um processo custoso, que efetivamente ocorre quando há um uso justificado para atender a demanda de um usuário ou criar uma forma inovadora de encarar um problema.

A modelagem agroambiental, tem sido sensível à demanda de informações para gestão de políticas públicas. Informações sobre relevo, classes de cobertura vegetal e uso das terras, além do



mapeamento dos solos, são utilizadas em zoneamentos de risco climático, agroecológicos e ecológico-econômicos, estabelecendo as bases para a gestão territorial. Os modelos agrometeorológicos têm concentrado esforços de especialistas na caracterização de elementos do clima, dos solos, do manejo agropecuário e da fisiologia das culturas, tornando-se uma ferramenta essencial para o conhecimento do clima, para o zoneamento agrícola – com a identificação das melhores regiões e épocas de cultivo; para o monitoramento agrometeorológico – com diversas aplicações, desde a favorabilidade à ocorrência de doenças, ao manejo de irrigação; e para projetar os impactos das mudanças climáticas na agricultura.

Em um sistema de produção real, outros elementos interferem diretamente nas possibilidades de produção, como máquinas, recursos naturais e elementos de integração da agricultura com cadeias produtivas, mercados e as instituições de um país. Uma fronteira essencial neste contexto é a integração de conhecimentos e modelos biofísicos e econômicos. As pesquisas básica e aplicada buscam relações lógicas essenciais para objetivos específicos, evitando-se a introdução de elementos desnecessários para a compreensão de um sistema e tomada de decisão.

O processo de modelagem envolve o desenvolvimento ou adaptação do modelo conceitual dos processos agrícolas, o levantamento e utilização de dados que permitam calibrar ou parametrizar o modelo e um subconjunto que o permita validar. Esses passos da modelagem precisaram ser feitos no modelo de Zoneamento Agrícola de Risco Climático incorporado ao Scenagri para que ele incorpore e possa passar a utilizar os novos conjuntos de projeções fornecidos pelo INPE, gerados a partir de inicializações do modelo ETA com os modelos globais do Quinto Relatório do IPCC (AR5).

2.4.MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AGRICULTURA

Segundo Nordhaus (2010), a ciência do aquecimento global chegou a um consenso sobre a alta probabilidade de haver um aquecimento substancial do planeta neste século. As ações tomadas para conter as emissões têm sido limitadas, desde o primeiro acordo de Kyoto, em 1997, e pouco progresso ocorreu na reunião de Copenhague, em dezembro de 2009. As projeções indicam aquecimento mesmo com redução de emissões, e ações devem ser planejadas e priorizadas o quanto antes. O autor indica que o preço para a tonelada de carbono, para manter o objetivo de conter o aumento da temperatura global média em 2C ou menos, firmado em Copenhague, deveria ser US\$ 59 por tonelada (a preços de 2005), um preço bastante elevado em comparação com o valor eficaz de US\$ 5 por tonelada. É bastante improvável portanto, que o objetivo de conter a



elevação de temperatura estabelecido em Copenhague será atingido.

As mudanças no clima são observáveis e tendem a atingir especialmente os países em desenvolvimento, segundo Rosenzweig e Parry (1994), e esses autores utilizam e recomendam o uso de modelos de culturas como estratégias importantes para avaliar a adaptação de sistemas de produção. Os estudos sobre impactos de mudanças climáticas no mundo foram realizados extensivamente com o uso de modelos agrônômicos que representavam funções de produção, inicialmente, ou funções de respostas de culturas específicas, como Adams (1989).

A elevação da temperatura no Brasil é incontestável e eventos extremos, como secas, veranicos e tempestades apresentam sinais de agravamento. A região amazônica pode ser afetada por grandes queimadas e gerar graves problemas para toda a produção agropecuária no Brasil central, afetando o regime de chuvas e a circulação de massas de ar. O Semiárido enfrenta, em condições normais, um período de seca prolongada durante o ano, que prejudica o desempenho da maioria das culturas agrícolas, e pode ter essa situação agravada pela elevação da temperatura.

Novas condições climáticas foram observadas para as culturas agrícolas no Brasil. Novas áreas foram incorporadas na produção de soja e milho, a partir da década de 1980, e atualmente a região central do Brasil ilustra a capacidade adaptativa de sistemas de produção reais, bem como a capacidade de adoção de novas técnicas e tecnologias. Nesse contexto, o conhecimento sobre as mudanças no ambiente de produção é essencial para a definição de rotas tecnológicas promissoras em termos de aumento da produtividade e criação de alternativas efetivas para mitigar riscos e tornar a agricultura mais adaptada e capaz de produzir com elevada tecnologia.

Mesmo nas condições tecnológicas mais desenvolvidas, acredita-se que a agricultura brasileira, cuja produção em grande parte vem de áreas cultivadas tendo a chuva natural como única ou principal fonte de água, encontra-se exposta a alterações nas condições climáticas. A vulnerabilidade da agricultura foi avaliada por Pinto et al. (2008) pela primeira vez, e agora encontra-se diante do desafio de incorporar tecnologias mitigadoras, adaptadas e ter estudos aprofundados e específicos apoiando a superação dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

A construção de políticas, programas, projetos e ações para a agricultura passa pelo uso intensivo de conhecimentos e informações derivados de distintas áreas das ciências, mas com grande esforço técnico para torná-los específicos e aplicáveis na tomada de decisão. O clima se transforma e as pesquisas com as questões de vulnerabilidade, mitigação e adaptação às mudanças climáticas evoluem na criação de modelos, sistemas de informações e ferramentas para orientar os tomadores de decisões. Além disso, o diagnóstico dos impactos potenciais e as alternativas de



adaptação devem ter sua robustez verificada em diferentes cenários de mudanças climáticas. Isto implica a busca por soluções de armazenamento, recuperação, processamento, transmissão e visualização de grandes volumes de dados, requerendo métodos sofisticados.

No Brasil há carência de análises que considerem custos e benefícios de ações de adaptação às mudanças climáticas mais específicas. É necessário continuar a trabalhar com o tema e a oferecer alternativas para produtores rurais e formuladores de políticas públicas. Em uma perspectiva de aliar estratégias de mitigação como externalidades positivas, Seo (2013) defende que adaptações inteligentes, que reduzem os danos do aquecimento global e as emissões de carbono ao mesmo tempo, devem ser enfatizadas nas opções políticas. Adaptações inteligentes envolvem ativamente o setor público, coordenando a sociedade na elaboração de estratégias.

É desejável, diante das demandas acima, que os estudos como Pinto et al. (2008) sejam ampliados e utilizados na discussão sobre os fatores que determinam a vulnerabilidade dos sistemas produtivos. A construção da capacidade de resposta dos atores depende de informações consistentes, que convençam os envolvidos das soluções mais robustas de produção diante das incertezas do clima futuro. A gestão do risco, quantificado a partir de bons conteúdos e sistemas de informações, depende de um esforço crítico de modelagem econômica, caracterizando o manejo e alternativas de produção de alimentos. Linhas distintas de modelagem climática, biofísica, agroambiental e econômica estão desenvolvendo ferramentas para tratar dos impactos de mudanças climáticas, e esforços de produção técnica e intercomparação de modelos devem ser o caminho para a pesquisa na área. A melhoria dos modelos é promissora, enfrentando desafios como incorporar os efeitos de eventos climáticos extremos e integrar elementos econômicos e ambientais aos aspectos técnicos da produção.

Segundo Antle e Capalbo (2001), modelos de avaliação integrada, que utilizam modelos disciplinares interligados para avaliar sistemas complexos, naturais e humanos, estão se tornando uma metodologia padrão de análise em questões ambientais. A avaliação integrada utiliza simulações do comportamento de um sistema biofísico e as introduz em modelos econômicos. Segundo Kauffmann e Snell (1997), por exemplo, existe uma alternativa de modelagem que combina resultados de modelos estatísticos para a produtividade observada com informações de modelos de culturas. Esta opção de modelagem está sendo desenvolvida em um projeto de intercomparação de modelos na Embrapa, o AgMIP-BR. Também estão em desenvolvimento modelos derivados dos trabalhos de Mendelsohn et al (1994), compreendendo as escolhas de insumos, produtos e os impactos derivados na renda e nos preços das terras.



Cada abordagem tem suas vantagens no entendimento do efeito de mudanças climáticas. Contudo, a maior incerteza nos estudos é o escopo da adaptação. A adaptação não é observada, mas existe efetivamente na realidade, e é contingenciada por uma série de escolhas. A adaptação toma um tempo longo para realização e, portanto, a evidência direta só surge após longos períodos de tempo em condições estáveis. No caso do Brasil, no entanto, as transformações recentes dos sistemas agroindustriais criam uma estrutura de produção sem comparação com o passado distante, que muda as possibilidades para o futuro.

O Simulador de Cenários Agrícolas (SCenAgri), já descrito no tópico 3. Análise de Riscos Climáticos na Agricultura e 4. Zoneamento Agroclimático, é um sistema que foi criado para permitir a vinculação de conjuntos de dados históricos ou de projeções futuras - como as geradas pelos modelos de circulação geral da atmosfera - ao próprio modelo do ZARC e de outros modelos semi-empíricos ou determinísticos para a simulação de cenários agrícolas futuros. Essa vinculação é dependente de um processo de preparação do Simulador para a assimilação de novos dados, avaliação da funcionalidade do simulador com o novo conjunto e parametrização para as culturas e rodadas de testes de simulação. Após esse processo, por meio dos resultados tabulares e espaciais do SCenAgri, tem sido possível avaliar os possíveis impactos que as mudanças climáticas terão sobre o ZARC e sobre as culturas agrícolas em geral.

2.5. PREPARAÇÃO DO SIMULADOR

Para que se possa atingir o objetivo final de avaliar os impactos da mudança do clima sobre as culturas agrícolas, o que passa pela simulação de cenários futuros e comparação com o cenário atual, é essencial que tenhamos o simulador ajustado pela incorporação das projeções de modelo climático, parametrização das culturas e processamento teste e extração inicial de informações de simulação. Assim, as etapas da preparação do simulador serão apresentadas com mais detalhes no próximo item como resultado do trabalho desenvolvido até então e podem ser sumarizadas nas seguintes atividades:

- a) Incorporação dos dados do modelo regional ETA inicializado com o modelo global do CMIP5, HadGen2ES RCP 4,5 e 8,5, no simulador para agricultura SCENAGRI-EMBRAPA;
- b) Avaliação de funcionalidades e capacidade de utilização dos dados;
- c) Definição dos conjuntos de parâmetros de cada uma das culturas a serem simuladas;



- d) Simulação das culturas para a condição atual (período de referência 1961-2005), que servirá como base de comparação aos cenários futuros.

3. Resultados

3.1. INCORPORAÇÃO DOS DADOS

3.1.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O simulador utilizado para análise de risco (SCENAGRI) demanda a entrada de parâmetros das culturas, discutidos na seção 3.3, e variáveis climáticas, tanto históricas quanto das projeções dos modelos de circulação da atmosfera. Valores históricos de temperatura e precipitação, com frequência diária foram recuperados no BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa/INMET), atualizados e introduzidos no simulador. É um conjunto de cerca de 300 estações distribuídas pelo Brasil todo, para as quais se realiza um processo de análise de falhas e de consistência, antes de serem incorporadas ao simulador para servirem de pontos de referência para a calibração e interpolação de resultados.

Também os valores históricos e as projeções para os dois cenários futuros de cada inicialização do modelo regional ETA foram convertidos para o formato necessário para processamento no simulador SCenAgri e incorporados a este para o cálculo das projeções de variações de temperatura e precipitação, a partir da diferença entre o histórico e as projeções de futuro do modelo. Os valores de cenários futuros foram obtidos com essa alteração dos valores históricos observados, segundo as variações projetadas nos cenários do modelo ETA-HadGEM2ES, repassadas pelo INPE.

Dessa forma, os cenários futuros foram representados por modificações das séries de dados diários observadas entre 1976 e 2005 sendo que, a cada mês, os valores diários observados de temperatura foram somados a um gradiente, que representa a variação dos valores médios de temperaturas máximas, mínimas e médias em cada mês de uma climatologia simulada para uma trajetória de concentração de carbono futura e uma climatologia simulada para o período base, de 1976 a 2005. Os valores de precipitação observados sofreram alterações em seus patamares médios proporcionais a um fator dado pela razão da precipitação acumulada na climatologia futura em relação aos valores da climatologia presente.

Os dados climáticos diários foram utilizados para cálculo de médias de temperatura por decêndios, que por sua vez foram utilizados para cálculo da evapotranspiração potencial (ETP). A



ETP, que representa a demanda hídrica atmosférica, é utilizada para estimar a evapotranspiração potencial da cultura (ETc), que é obtida pelo produto entre ETP e o coeficiente de cultivo (Kc). Na sequência, o valor de ETc e de precipitação são utilizados no cálculo do balanço hídrico, considerando uma capacidade de água disponível específica para cada cultura. A partir desse balanço, é possível obter a sua evapotranspiração real, a deficiência hídrica e o índice de satisfação da necessidade hídrica (ISNA). A partir do ISNA calculado para toda a série, o próximo passo consiste na análise de distribuição de probabilidade de seus valores em função de um valor de referência (ISNA mínimo), específico para cada cultura, definido com base em sistema especialista. A partir das probabilidades estimadas para os vários pontos de grade, interpolados pelo processo de Krigagem, são classificadas de acordo com o risco de sucesso da cultura como exemplificado nas Figuras 4 a 15.

Este procedimento é válido tanto para os valores do cenário atual, gerado a partir dos dados históricos, quanto para os cenários futuros. A partir da rodada dos modelos sobre os valores de precipitação diários foram obtidas as avaliações de risco, em termos de frequência na qual se satisfaz as necessidades de água das plantas e viabiliza-se os cultivos de acordo com a parametrização das culturas apresentadas no item 3.3, supondo-se o plantio em cada decêndio.

3.1.2. VARIÁVEIS INCORPORADAS

As variáveis incorporadas no procedimento acima incluem os valores de temperatura e precipitação do modelo ETA/HadGEM2ES e dos valores diários dos dados observados oferecidos pelo INMET. Observa-se que, embora o projeto preveja a simulação baseada em outra inicialização do modelo ETA, até o momento, foram disponibilizadas pelo INPE apenas as projeções históricas do modelo regional ETA inicializado com o modelo global do CMIP5, HadGen2ES RCP 4,5 e 8,5 e as futuras para o RCP 4,5. Portanto apenas essas projeções foram incorporadas ao sistema. As demais projeções serão incorporadas assim que estiverem disponíveis.

Quantitativamente, essa incorporação de variáveis manipula uma gigantesca massa de dados que totaliza cerca de 40 Gb e em torno de 25.000 mapas diários de toda a região de recorte envolvida entre os pontos geográficos de latitude 6 a -35° e Longitude -75 a -27, totalizando aproximadamente 50 mil pontos de grade (20 x 20km). O processo completo envolve cerca de 80 horas de processamento e envolveu uma equipe de 3 pesquisadores, 1 analista e 4 estagiários, além de um consultor especializado.



3.2. AVALIAÇÃO DE FUNCIONALIDADES E CAPACIDADE DE UTILIZAÇÃO DOS DADOS

Nesta etapa, alguns teste específicos e internos ao simulador foram realizados para garantir sua funcionalidade e capacidade de utilização dos dados incorporados. Garantidas essas condições, como validação já se realizou o processamento teste desses dados para a geração de variáveis e informações deles derivadas.

Com este enfoque, médias climatológicas a partir do modelo ETA foram geradas para períodos de referência distintos, 1976 a 2005 e 2011 a 2040 e foram incorporadas à base de dados do simulador. Deve-se atentar para o fato de que os modelos de cultura reproduzem o desenvolvimento fisiológico das plantas em condições climáticas específicas e, para manter a consistência entre os valores de temperatura e precipitação, que dificilmente pode ser garantida por simuladores e geradores de dados climáticos, a metodologia científica incorporada ao simulador recorre ao método do Delta, que analisa a tendência de variação da variável expressa pelo modelo climático regional comparando o passado e o futuro e incorpora essa variação aos dados históricos observados. Os cálculos foram realizados com software específico para operações com dados climáticos, o CDO (Climate Data Operators), como ferramenta acoplada ao simulador.

Complementando essa validação da funcionalidade e capacidade de utilização dos dados incorporados, na seção 3.4 são apresentados os resultados da simulação teste para a condição atual das culturas.

3.3. DEFINIÇÃO DOS CONJUNTOS DE PARÂMETROS DAS CULTURAS A SEREM SIMULADAS

A metodologia de cálculo de áreas aptas ao cultivo implementada no Simulador de Culturas Scenagri é a mesma atualmente considerada no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC). O ZARC é um instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura, mantido pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), com o objetivo de minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos. O ZARC permite a cada município identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares, e vindo sendo testada e utilizada com sucesso no Brasil desde 1996.

O fator de produtividade diretamente considerado no Simulador de Culturas, atualmente, é



a disponibilidade hídrica. De acordo com Petr (1990) e Fageria (1992), citados por Hoogenboom (2000), ao redor de 80% da variabilidade da produção agrícola no mundo devem-se à variabilidade das condições meteorológicas durante o ciclo de cultivo, especialmente para as culturas de sequeiro, já que os agricultores não podem exercer nenhum controle sobre tais fenômenos naturais. No Brasil, a maior parte da área agrícola do país está situada em regiões sujeitas a restrições hídricas mais ou menos intensas, mesmo durante as estações mais favoráveis de cultivo e essa é a principal causa da variabilidade da produção agrícola nacional. Em menor proporção, a região Sul do Brasil apresenta limitações devido a baixas temperaturas nos meses mais frios do ano. Em todas as regiões, as restrições devido a temperaturas altas extremas estão, até o presente, normalmente associados a períodos mais longos de estiagem.

As simulações via Scenagri foram realizadas para as culturas de milho, milho safrinha, soja, cana, arroz, feijão, algodão, trigo, sorgo e feijão caupi, em plantio convencional. Para efeitos de cálculo, foi considerada a duração do ciclo médio de cada cultivo, conforme valores especificados na Tabela 1. A capacidade de água disponível (CAD) de cada cultura é uma função da profundidade média do sistema radicular de cada espécie e a da capacidade de retenção média representativa dos solos brasileiros.

As simulações do balanço hídrico foram realizadas para períodos decendiais. Consideraram-se os valores médios do Índice de Satisfação de Necessidade de Água (ISNA), expresso pela relação entre evapotranspiração real e evapotranspiração máxima (E_{Tr}/E_{Tm}), por data de semeadura, fase fenológica e localização geográfica das estações pluviométricas e climáticas utilizadas. O ISNA mínimo foi especificado para cada cultivo e varia em função da maior ou menor sensibilidade da cultura à deficiência hídrica (Tabela 1).

O critério que indica a aptidão de um ponto qualquer no território é a ocorrência do ISNA maior ou igual ao mínimo em pelo menos 80% dos anos da série estudada.

Foram indicados aptos os municípios que apresentaram, no mínimo, 20% de seu território apto. Estes municípios estão geralmente situados nas regiões limítrofes entre zonas aptas e não aptas e, na prática, a variação desse percentual de corte significa a inclusão ou não do município como área apta. Mas essa variação não tem grandes impactos nos totais nacionais de área.

Tabela 1. Conjunto de parâmetros utilizados no simulador de culturas.

Cultura	Ciclo médio (dias)	CAD média (mm)	ISNA mínimo	Frequência (%)
---------	--------------------	----------------	-------------	----------------



1	Soja	125	50	0,60	80
2	Milho	130	50	0,55	80
3	Milho safrinha	120	50	0,55	80
4	Arroz	120	50	0,60	80
5	Feijão	90	40	0,60	80
6	Cana	360	100	0,60	80
7	Algodão	140	50	0,55	80
8	Trigo	130	40	0,55	80
9	Sorgo	120	50	0,50	80
10	Feijão Caupi	80	40	0,50	80

3.4.SIMULAÇÃO DAS CULTURAS PARA A CONDIÇÃO ATUAL (PERÍODO DE REFERÊNCIA 1976-2005)

Tendo os dados do modelo climático regional e os parâmetros das culturas incorporados no simulador, realizou-se a simulação teste da condição atual para as culturas listadas na tabela 1, ou seja, Milho, Milho safrinha, Arroz, Feijão, Feijão Caupi, Soja, Cana, Algodão, Trigo, Sorgo. Elas podem ser acessadas por via digital e remota.

Por se tratar de um conjunto relativamente grande de dados e mapas para ser apresentado aqui, alguns exemplos de resultados dessa simulação são apresentados abaixo, de acordo com sua legenda específica associada.

Tabela 2. Exemplo de tabela de saída da simulação de risco das culturas.

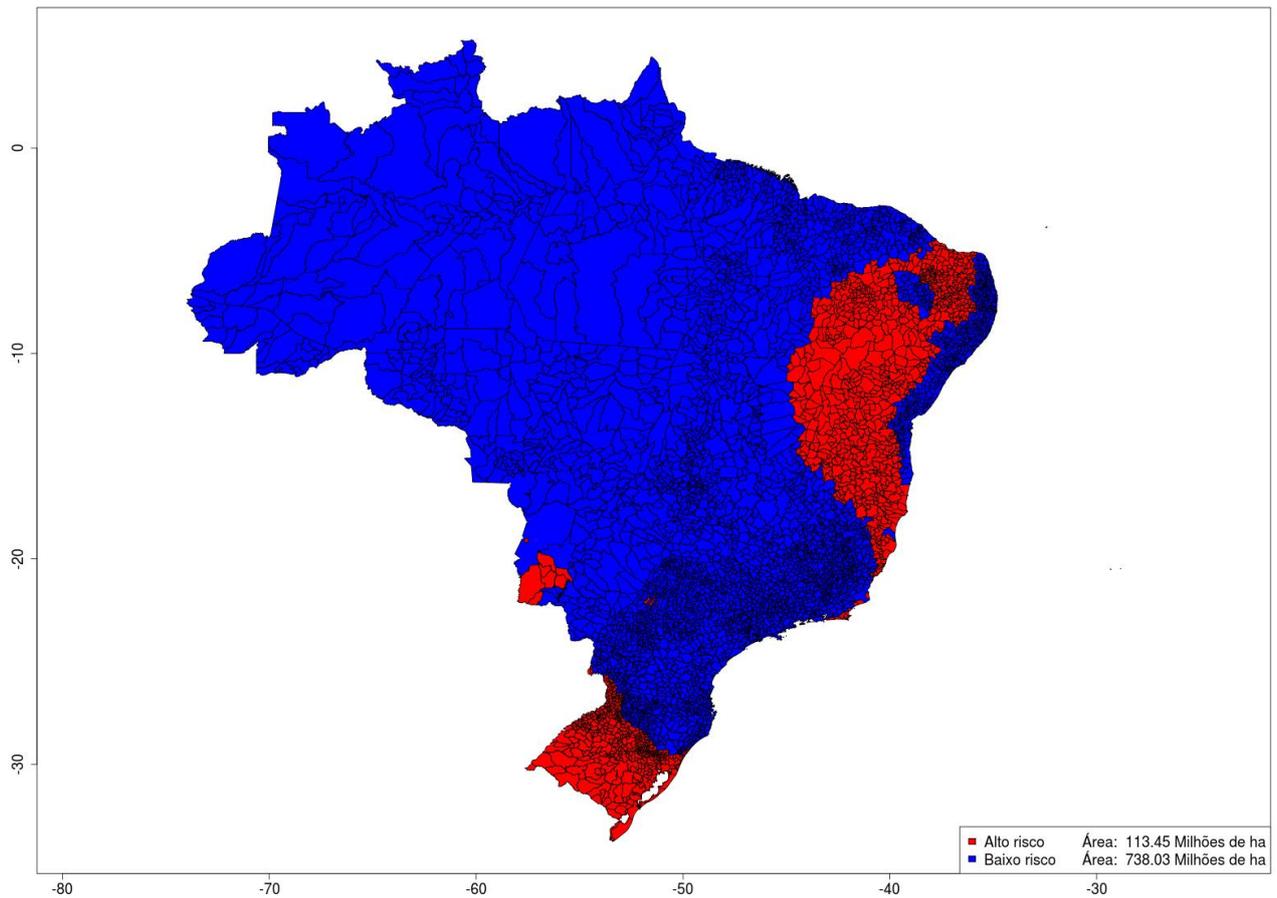
INDICE	UF	NOME	RISCO
45	AC	Acrelândia	BAIXO
20	AC	Assis Brasil	BAIXO
26	AC	Brasília	BAIXO
34	AC	Bujari	BAIXO
37	AC	Capixaba	BAIXO
5	AC	Cruzeiro do Sul	BAIXO
33	AC	Epitaciolândia	BAIXO
11	AC	Feijó	BAIXO
8	AC	Jordão	BAIXO
1	AC	Mâncio Lima	BAIXO
17	AC	Manoel Urbano	BAIXO
7	AC	Marechal Thaumaturgo	BAIXO
41	AC	Plácido de Castro	BAIXO
...

A seguir, nas Figuras 6 a 15, são apresentados os mapas de classificação do risco para as

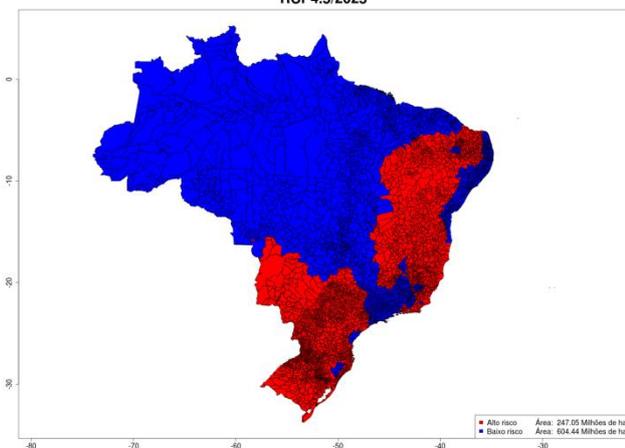


culturas da Tabela 1. Estes são mapas preliminares, que consideram apenas o risco climático por deficiência hídrica. Os mapas finais que serão utilizados na análise de impactos ainda requerem processamento para definição das áreas agricultáveis, ou seja, excluindo reservas indígenas, reservas florestais, áreas de preservação permanente, corpos d'água (monitoramento de biomas 2008), unidades de conservação e áreas com declividade superior a 18%.

CTRL/1990



RCP4.5/2025



RCP8.5/2025

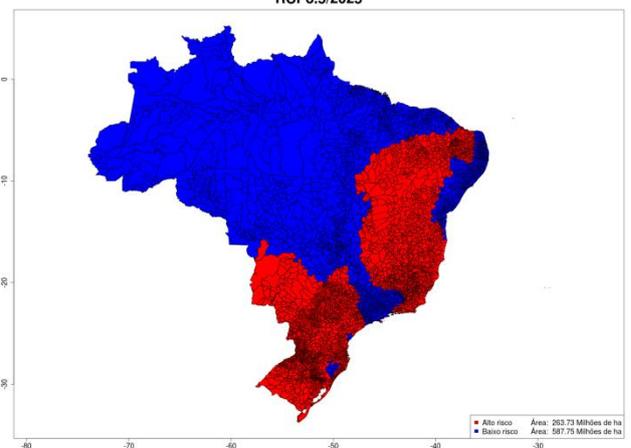


Figura 6. Exemplo de Mapa representando a classificação de risco em duas classes para a cultura da soja com base em dados de estações meteorológicas para o período 1976-2005 e com base no



modelo regional ETA - HadGEN2ES RCP 4,5 e RCP 8,5 para o período 2011-2040.

CTRL/1990

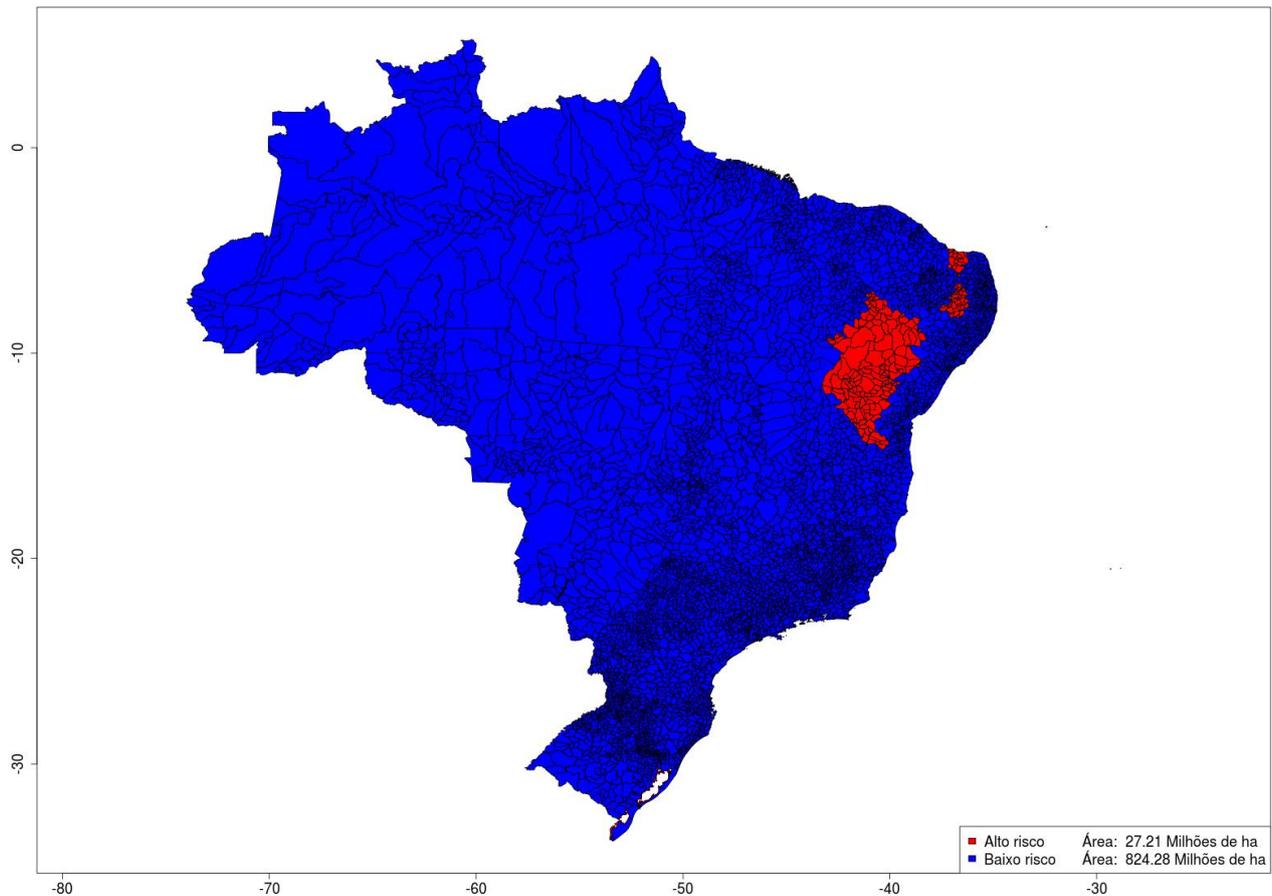


Figura 7. Exemplo de Mapa representando a classificação de risco em duas classes para a cultura do milho com base em dados de estações meteorológicas para o período 1976-2005.





CTRL/1990

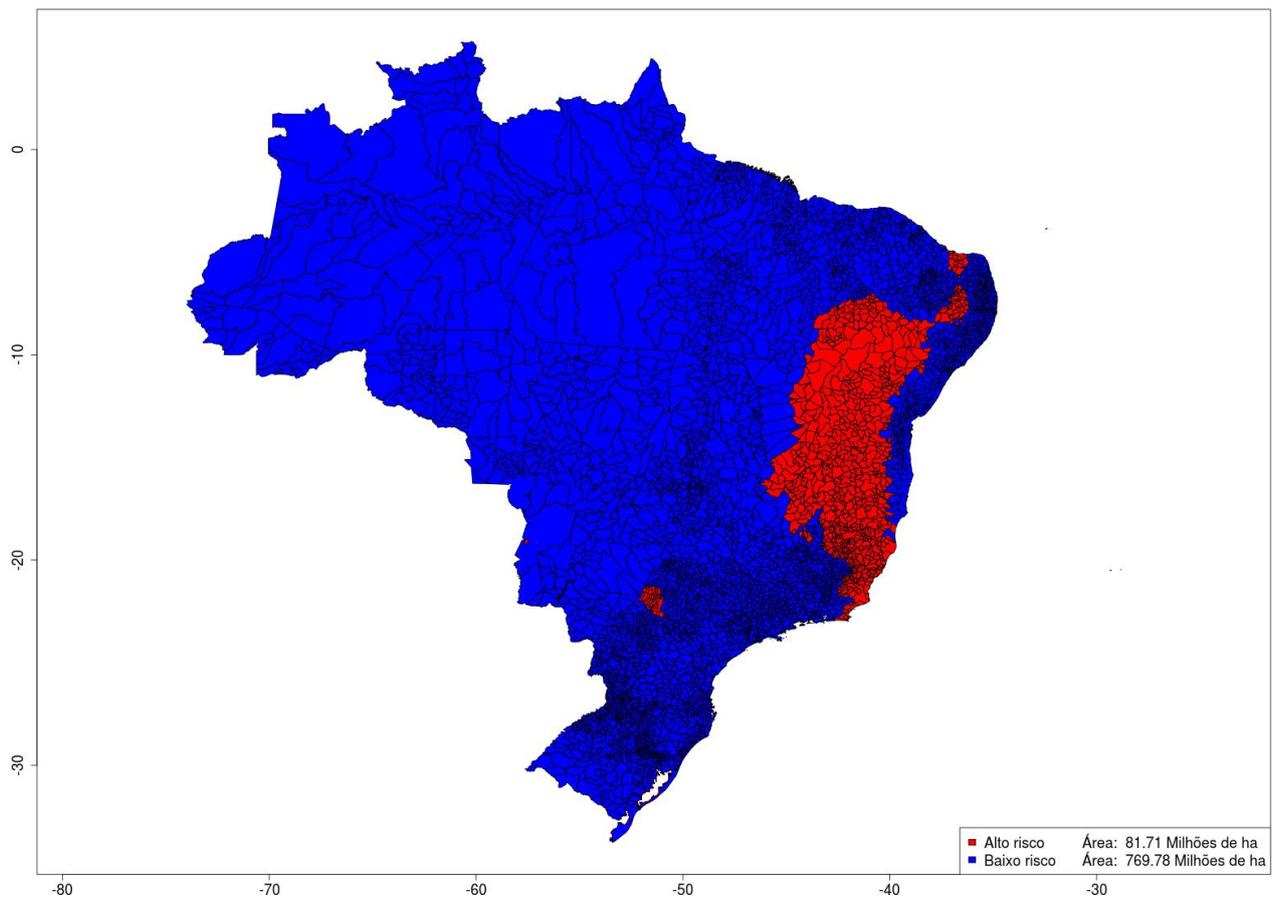


Figura 8. Exemplo de Mapa representando a classificação de risco em duas classes para a cultura do milho safrinha com base em dados de estações meteorológicas para o período 1976-2005.





CTRL/1990

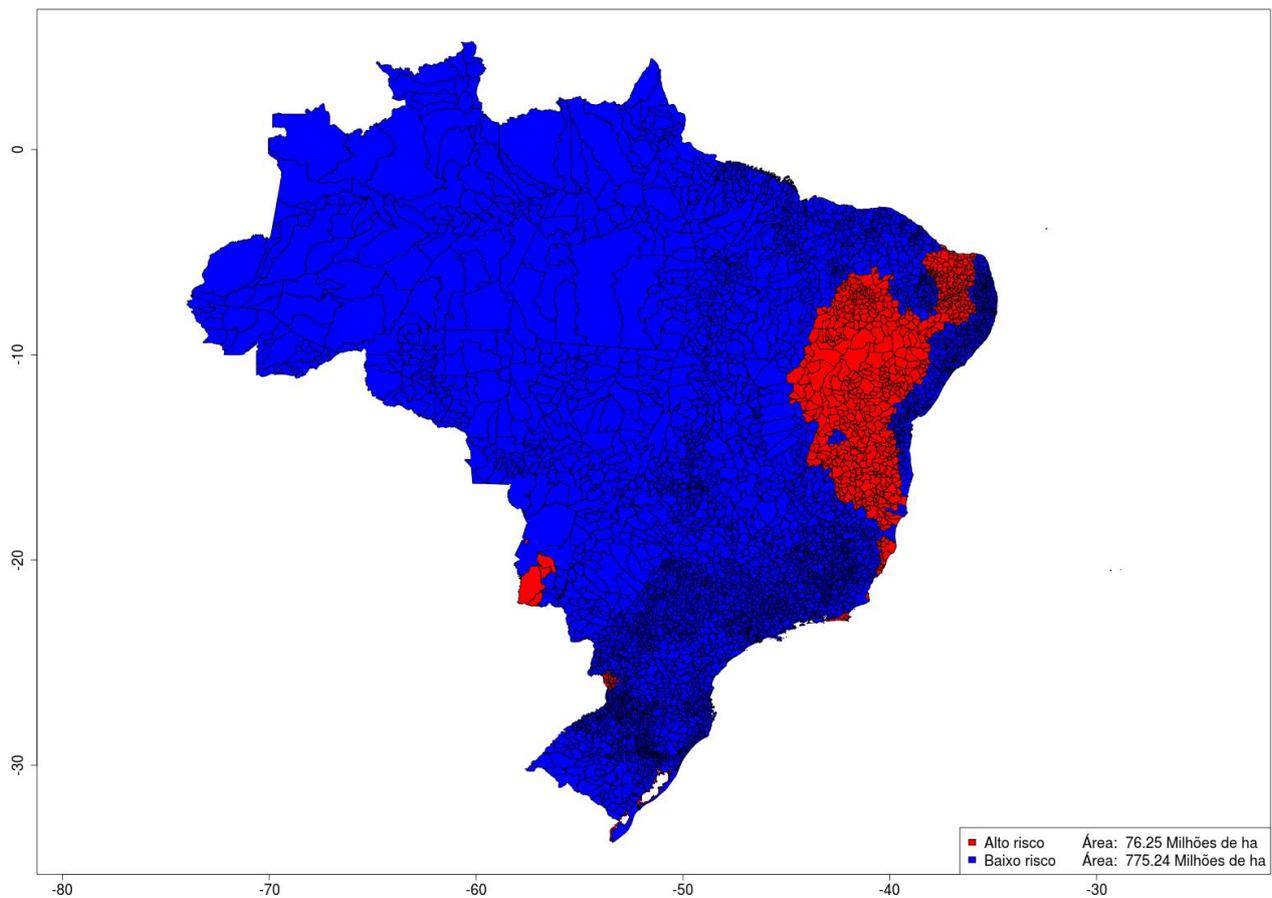


Figura 9. Exemplo de Mapa representando a classificação de risco em duas classes para a cultura do arroz com base em dados de estações meteorológicas para o período 1976-2005.





CTRL/1990

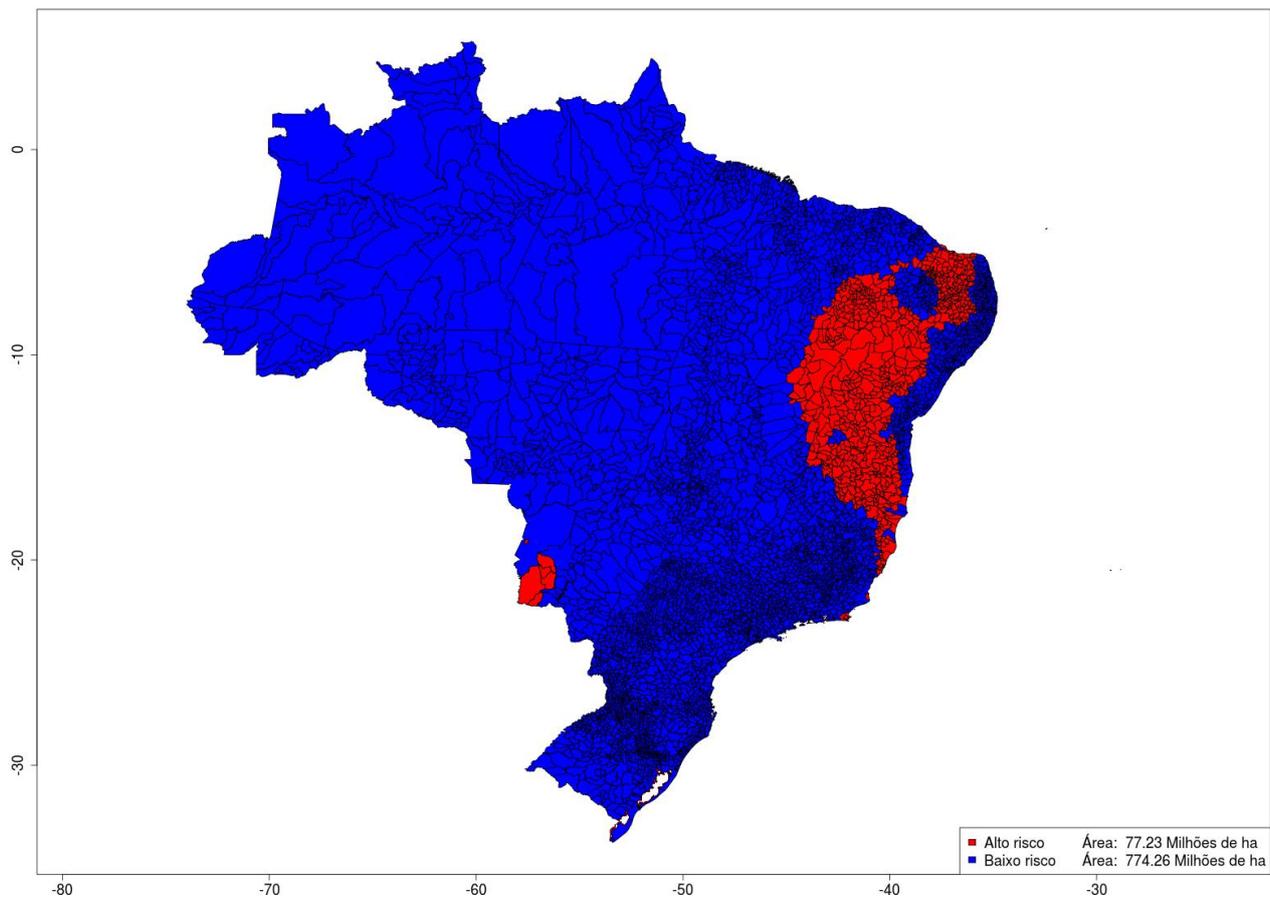


Figura 10. Exemplo de Mapa representando a classificação de risco em duas classes para a cultura do feijão com base em dados de estações meteorológicas para o período 1976-2005.





CTRL/1990

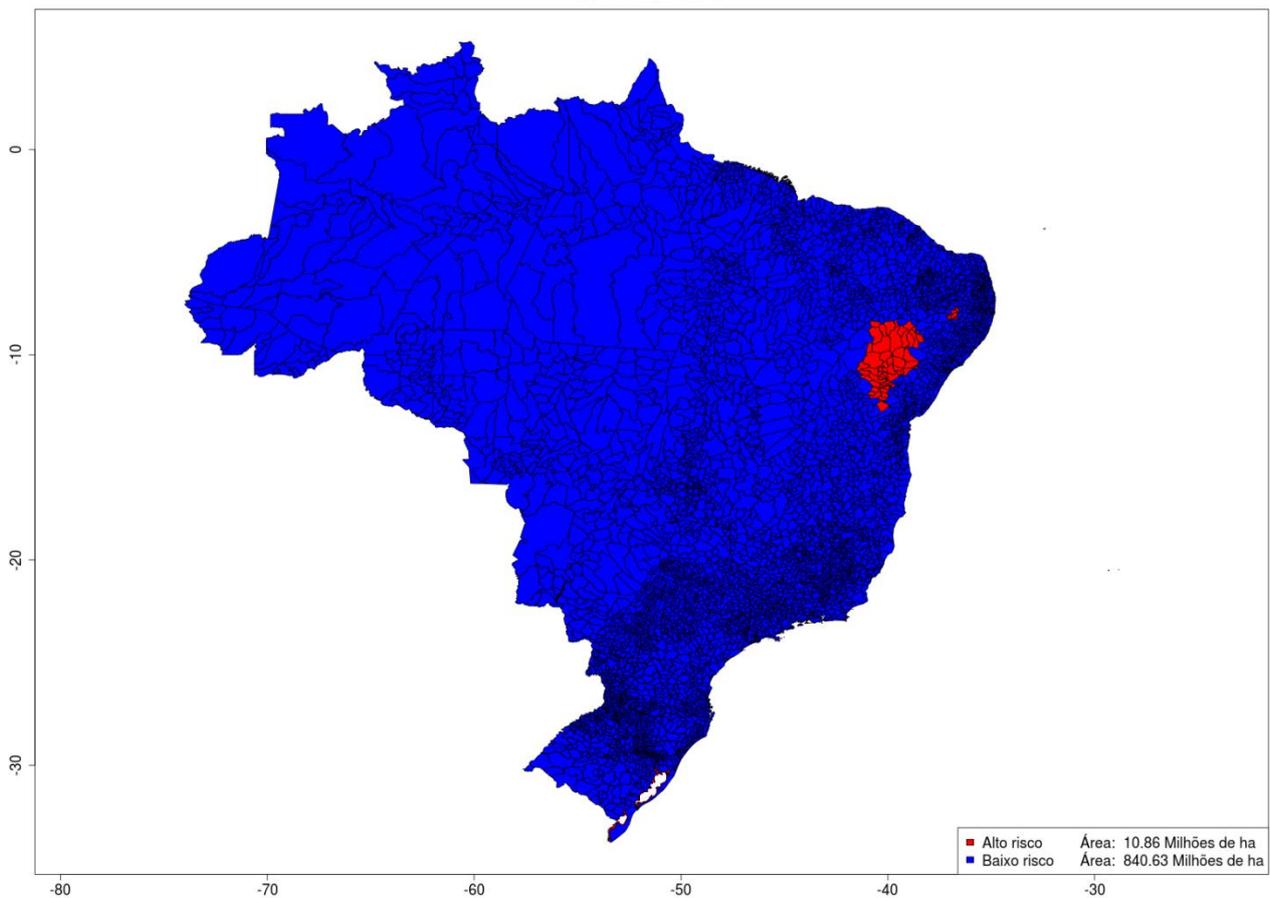


Figura 11. Exemplo de Mapa representando a classificação de risco em duas classes para a cultura da cana de açúcar com base em dados de estações meteorológicas para o período 1976-2005.





CTRL/1990

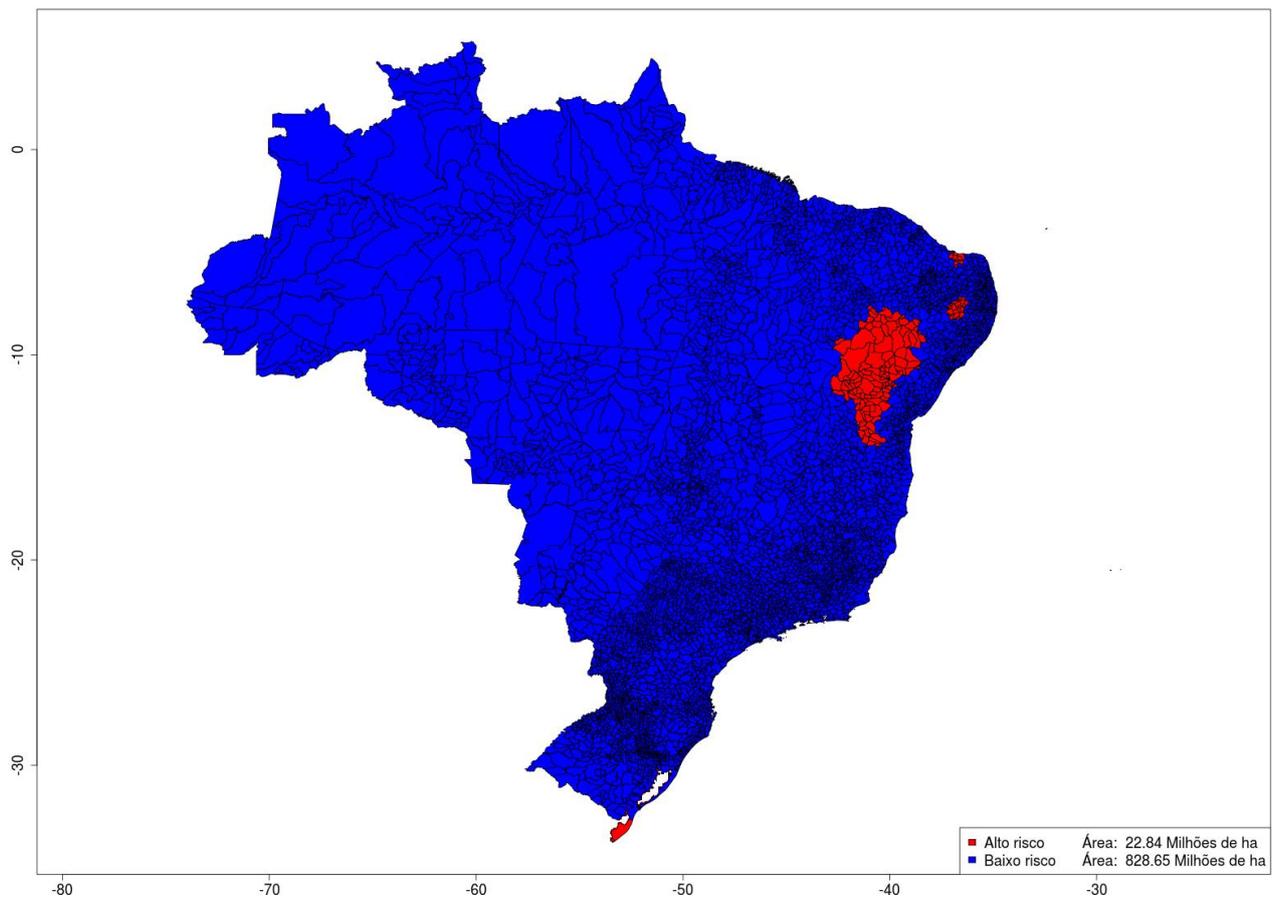


Figura 12. Exemplo de Mapa representando a classificação de risco em duas classes para a cultura do algodão com base em dados de estações meteorológicas para o período 1976-2005.





CTRL/1990

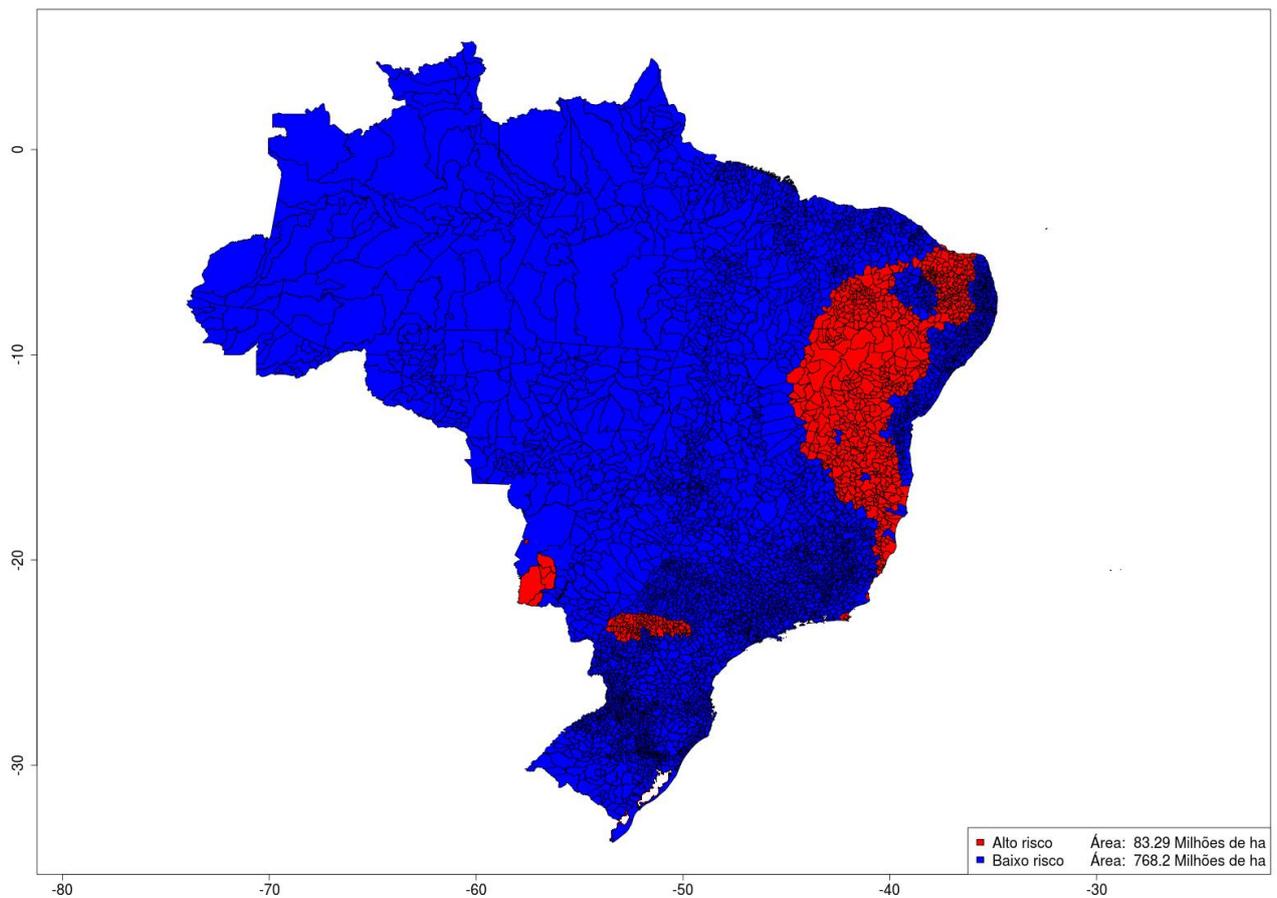


Figura 13. Exemplo de Mapa representando a classificação de risco em duas classes para a cultura do trigo com base em dados de estações meteorológicas para o período 1976-2005.





CTRL/1990

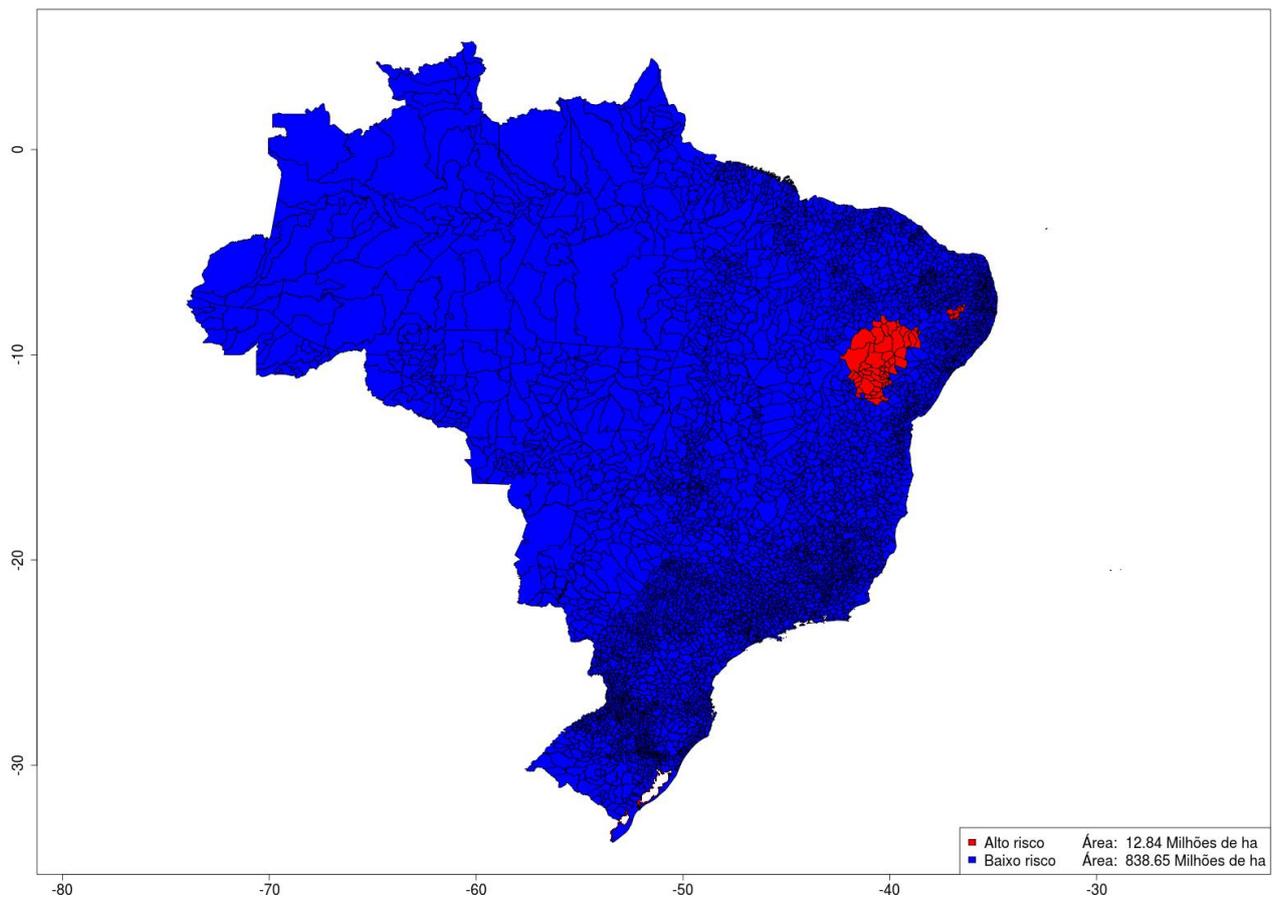


Figura 14. Exemplo de Mapa representando a classificação de risco em duas classes para a cultura do sorgo com base em dados de estações meteorológicas para o período 1976-2005.





CTRL/1990

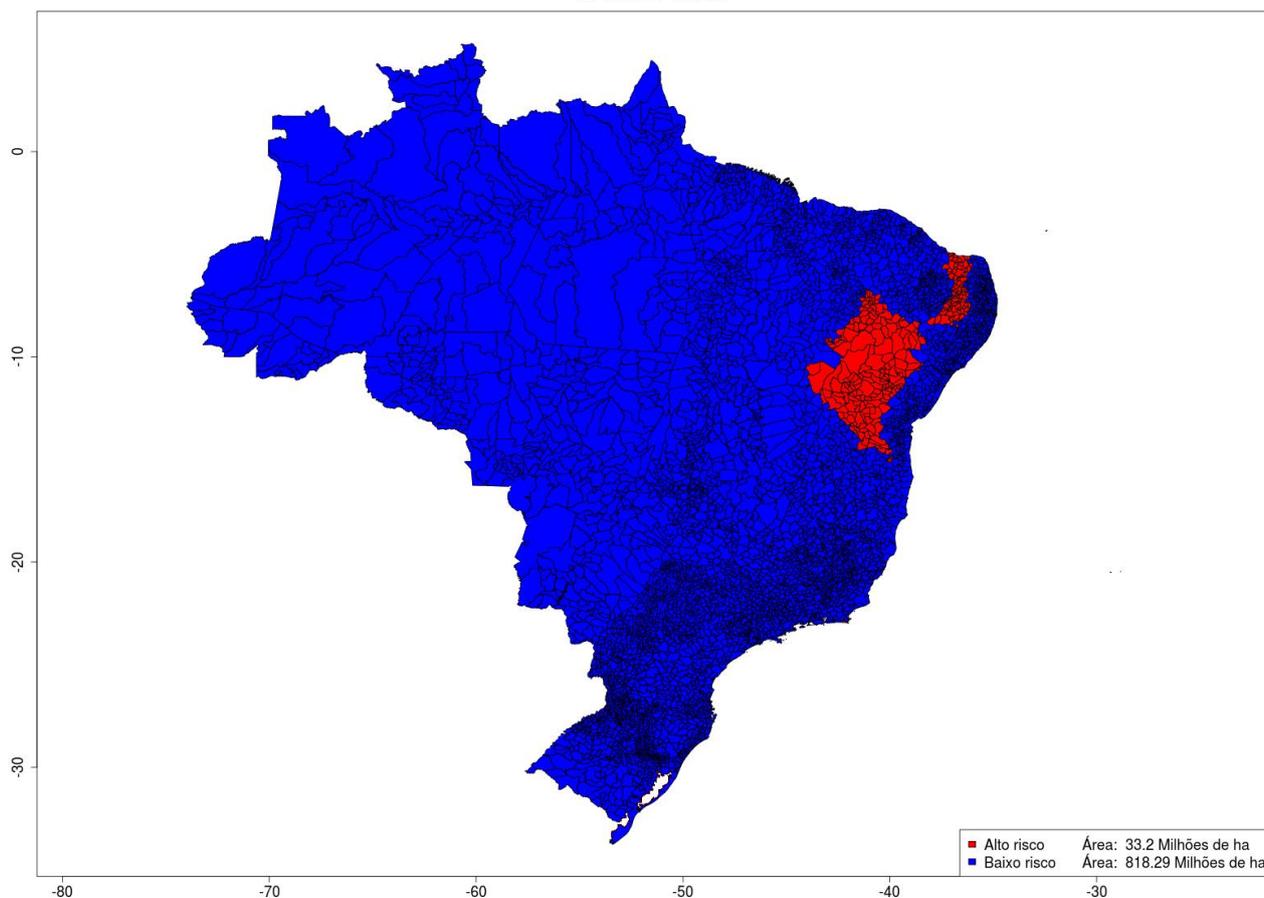


Figura 15. Exemplo de Mapa representando a classificação de risco em duas classes para a cultura do feijão caupi com base em dados de estações meteorológicas para o período 1976-2005.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O procedimento realizado nesta fase e cujos resultados são apresentados aqui neste produto é condição *sine qua non* para garantir a:

- 1- atualidade dos dados do sistema, checando a adequada incorporação dos dados do AR5 e que o sistema a esteja acessando de forma correta e que são expressas os mapas apresentados as suas características específicas e não a de versões anteriores (AR4, TAR...);
- 2- a consistência dos resultados e funcionalidade adequada do simulador, checando que a distribuição espacial dos dados e a geração de simulações históricas funcionam sem travamentos e de acordo com o algoritmo pré-estabelecido e utilizando com eficiência o *grid* de computadores para o processamento paralelo; e
- 3- a continuidade dos trabalhos de simulação dos cenários futuros para as culturas agrícolas, pois somente com após essa análise criteriosa do sistema é que se poderá atestar e confiar nos resultados gerados pelo SCenAgri em seu processamento pleno com todos os nós de



seu *grid* e quando essa checagem fina já não pode ser feita pela grande massa de dados e de processamento envolvidas.

Nesta fase, todos os testes do simulador foram realizados com sucesso e seus resultados foram todos positivos. Isso nos garante a confiabilidade do SCenAgri nessa sua nova configuração para que se possa dar continuidade ao trabalho de simulação propriamente dito, submetendo-se novamente a simulação da condição atual, não mais como teste para o simulador, mas agora em sua forma definitiva e incorporando todos os critérios definidos. E, na sequência, serão simuladas as condições futuras para as diversas culturas apresentadas acima, tanto para as projeções do modelo ETA já incorporadas, quanto para outra inicialização que o INPE venha a liberar em tempo de execução para este projeto.

5. Referências

- ADAMS, R. M. Global Climate Change and Agriculture: An Economic Perspective. **American Journal of Agricultural Economics**. 1989, vol. 71, n. 5, p. 1272-1279.
- ANTLE, J.M.; CAPALBO, S.M. Econometric-Process Models for Integrated Assessment of Agricultural Production Systems. **American Journal of Agricultural Economics**. 2001, Vol. 83, No 2:389-401.
- ASTOLPHO, F. **Estimativa e mapeamento de probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas do ar adversas à agricultura paulista**. 2003. 99 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2003.
- BORTHAKUR, D. The hadoop distributed file system: Architecture and design (2007). Disponível em: <http://hadoop.apache.org/common/docs/r0.18.0/hdfsdesign.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2014
- CÂMARA, G.; MEDEIROS J.S. de. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de Informações Geográficas**. Aplicações na Agricultura, Brasília: EMBRAPA - CPA, 1998. p. 1-11.
- COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. **TIC domicílios e empresas 2013: Pesquisa sobre o uso das tecnologias da informação e comunicação no Brasil**. Disponível em: <http://www.cetic.br/media/docs/publicacoes/2/TIC_DOM_EMP_2013_livro_eletronico.pdf> Acesso em: 10 out. 2014.
- DEAN, J.; GHEMAWAT, S. Mapreduce: simplified data processing on large clusters, Commun. ACM 51 (2008) 107–113. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1327452.1327492>. Acesso em: 24 set. 2014.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines to predicting water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24**. FAO, Rome, 1977. 179 p.
- FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO. C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, (Nº Especial: Zoneamento



- Agrícola), p. 415-421, 2001.
- KAUFMANN, R. K.; SNELL; S. E.. A biophysical model of corn yield: integrating climatic and social determinants. *American Journal of Agricultural Economics*. 79.1 1997: p. 178-190.
- MARENGO, J.A.; BETTS, R.; NOBRE, C.A. et al. Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil. Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CST/INPE, Met Office Hadley Centre - MOHC (2011). Disponível em: <<http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/relatorioport.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2014.
- MENDELSON, R.; DINAR, A. **Climate Change and Agriculture: An Economic Analysis of Global Impacts, Adaptation and Distributional Effects**. New Horizons in Environmental Economics Series. Publisher Edward Elgar Publishing, 2010.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>>. Acesso em: 20 set. 2014.
- NORDHAUS, W. D. Economic aspects of global warming in a post-Copenhagen environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107.26, 2010.
- ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals**. Geneva, 1989. (WMO. Technical document, n. 341; WCDP, n. 10).
- PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.4, n.3, pp. 465-473, 2000. ISSN 1807-1929. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662000000300025>.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia – fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária. 2002. 478p.
- PIDD, M. Why modelling and model use matter. **Journal of the Operational Research Society** v. 61, p. 14-24, 2011. doi:10.1057/jors.2009.141
- PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; JUNIOR, J. Z.; EVANGELISTA, S. R. M.; OTAVIAN, A. F.; ÁVILA, A. M. H.; EVANGELISTA, B.; MARIN, F. R.; JUNIOR, C. M.; PELLEGRINO, G. Q.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Embrapa, São Paulo, 2008.
- RIJKS, D.; BARADAS, M.W. The clients for agrometeorological information. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 103, p. 27-42, 2000.
- ROSENZWEIG, C.; M.L. PARRY: Potential impact of climate change on world food supply. **Nature**, 367, 133, 1994.
- SENTELHAS, P.C.; MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos Cultivos: Informações para uma agricultura Sustentável In: **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. 1ª ed. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009, v.01, p. 05-15.
- SEO, S. N. Economics of global warming as a global public good: Private incentives and smart



FUNDAÇÃO ELISEU ALVES

adaptations. **Regional Sci Policy & Practice**: 83–95, 2013.

SIVAKUMAR, M.V.K.; MOTHAR, R.P. (eds.) **Managing Weather and Climate Risks in Agriculture**. Berlin: Springer, 2007. 288 p. il.

YAMADA, E. S. M. **Zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. como subsídio ao desenvolvimento da cultura no Brasil visando à produção de biodiesel**. 2011. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-23052011-164645/>>. Acesso em: 25 set. 2014.

Claudio Humberto Amancio
Gerente de Projeto

