

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Manejo e Conservação do
SOLO
e da
ÁGUA
no Contexto das
Mudanças
Ambientais

Organizadores

*Rachel Bardy Prado
Ana Paula Dias Turetta
Aluísio Granato de Andrade*

*Embrapa Solos
Rio de Janeiro, RJ
2010*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1024
CEP 22.460-000 Rio de Janeiro, RJ
Tel: (21) 2179-4500
Fax: (21) 2274-5291
www.cnps.embrapa.br
sac@cnps.embrapa.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Edifício Silvio Brandão, S/N
Campus Universitário
CEP 36570-000 Viçosa, MG
Cx. Postal 231
Tel: (31) 3899-2471
www.sbc.solos.ufv.br
sbc@ufv.br

Supervisão editorial - *Eduardo Guedes de Godoy e Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Normalização bibliográfica - *Cláudia Regina Delaia e Ricardo Arcanjo de Lima*

Revisão de Língua Portuguesa - *André Luiz da Silva Lopes*

Capa - *Felipe Ilário Muruci e Eduardo Guedes de Godoy*

Editoração eletrônica - *Felipe Ilário Muruci - FIM Design*

Assessoria da organização - *Guilherme Nogueira de Souza.*

1ª edição

1ª impressão (2010): tiragem 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Solos

P896m Prado, Rachel Bardy.

Manejo e conservação do solo e da água no contexto das
mudanças ambientais / organizado por Rachel Bardy Prado,
Ana Paula Dias Tureta e Aluísio Granato de Andrade - Rio
de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

486 p.: il.
ISBN 978-85-85864-32-3

1. Manejo do solo. 2. Uso da água. 3. Serviço ambiental.
4. Sustentabilidade na agricultura. I. Tureta, Ana Paula Dias.
II. Andrade, Aluísio Granato de. III. Título

CDD (21.ed.) 631.4

© Embrapa 2010

ISBN 978-85-85864-32-3



9 788585 864323

Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: abordagem metodológica para integração temática de grandes áreas territoriais

02

Celso Vainer Manzatto

Jesus Fernando Mansilla Baca

Sandro Eduardo Marschhausen Pereira

Eduardo Delgado Assad

Margareth Simões Penello Meirelles

Angel Filiberto Mansilla Baca

Uebi Jaime Naime

Paulo Emílio Ferreira da Motta

Introdução

O consumo crescente de combustíveis fósseis frente às reservas existentes e os cenários referentes ao aquecimento global para os próximos anos, causado em sua maioria, pela emissão de dióxido de carbono, sinalizam para os governos a necessidade de diversificação na matriz energética mundial. Desta forma, este alerta lançado ao mundo sobre os efeitos do aquecimento e a necessidade de se pensar a substituição dos combustíveis veiculares derivados do petróleo fez ressurgir a idéia da produção de álcool. Esta nova realidade favorece o Brasil por dois motivos: primeiro, é o país com experiência de mais de trinta anos em programa de biocombustíveis, o maior exportador de etanol combustível do mundo e o segundo maior produtor; e, segundo, dispõe de grandes áreas agricultáveis, além de clima, solo e relevo favoráveis, possibilitando a expansão e a utilização racional de áreas antropizadas com biocombustíveis sem provocar novos desmatamentos ou reduzir as áreas utilizadas para produção de alimentos.

Atualmente, o setor sucroalcooleiro passa por momento de forte expansão. Estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) para a safra 2009, indicam que o volume total a ser processado pelo setor, deverá atingir um montante de 629,0 milhões de toneladas.

Este volume representa um aumento de 10,0% do obtido na safra anterior, mantendo o ritmo de expansão do setor nos anos recentes. Para a região Centro-Sul, que inclui os Estados da região Sudeste, Sul e Centro-Oeste, cuja participação está próxima de 90,0% do total nacional, os resultados indicam um aumento de 11,8% no volume da cana a ser processada. Desse total, foi estimado, que 44,7% será destinado à fabricação de açúcar e 55,3% à produção de álcool.

Neste cenário surge, no entanto, um novo desafio para o setor relacionado justamente com a rápida expansão da agricultura canavieira e seu impacto no território. Até então, a única interferência direta do governo no processo de autorização de novas usinas se dava pelo cumprimento da legislação ambiental brasileira, que não se mostra suficiente para assegurar uma expansão harmônica do setor.

Como instrumento de planejamento, o Governo Federal, através da Casa Civil, determinou ao Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento (MAPA) em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a elaboração do Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar (ZAE-Cana) visando fornecer subsídios técnicos para indicar as melhores áreas destinadas a expansão do cultivo da cana-de-açúcar, com base nos fatores físicos, bióticos, sócio-econômicos e jurídico-institucionais do território nacional.

Esta iniciativa inédita no país foi além do tradicional zoneamento agrícola de risco climático destinado principalmente para atender ao seguro rural. O objetivo geral do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar para a produção de etanol e açúcar é fornecer subsídios técnicos para formulação de políticas públicas, visando à expansão e produção sustentável de cana-de-açúcar no território brasileiro. A metodologia desenvolvida para o ZAE-Cana contemplou um estudo mais completo do território, envolvendo além das cartas de solo e dados climáticos, a análise integrada do uso e cobertura vegetal da terra, relevo, hidrografia, e áreas ambientalmente protegidas. Insere-se portanto, o princípio de sustentabilidade que preconiza que a produção de uma cultura deve ser obtida através de técnicas de cultivos economicamente viáveis e sem riscos à degradação ambiental, estando alinhada com os objetivos e preceitos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), previstos pelo Protocolo de Quioto. Apresenta-se assim, como um documento norteador para os

investimentos públicos e privados, subsidiando políticas públicas federais e estaduais para a cadeia produtiva agroenergética: etanol e a co-geração de energia provenientes da cana-de-açúcar.

O Governo Brasileiro demandava ainda a geração de informações sobre o território em curto espaço de tempo, visando à instalação de um processo interno de tomada de decisão quanto à expansão e ordenamento do cultivo, visando à formulação de políticas públicas voltadas ao ordenamento territorial. Assim foi necessário o desenvolvimento de uma abordagem metodológica inovadora para a integração temática de informações espaciais de grandes áreas territoriais, baseada em regras de conhecimento, como ferramenta para o rápido processamento do zoneamento.

Para tanto, foram definidos, inicialmente, delineamentos gerais de caráter técnico, ambiental e social para a elaboração do Zoneamento Agroecológico, tais como: a aptidão agrícola das terras, o risco climático, o potencial de produção agrícola sustentável, a vulnerabilidade das terras e a legislação ambiental vigente.

Utilizando de técnicas de processamento digital procedeu-se a uma avaliação do potencial das terras para a produção da cultura da cana-de-açúcar em regime de sequeiro (sem irrigação plena), tendo como base as características físicas, químicas e mineralógicas dos solos expressos espacialmente em levantamentos de solos; o uso atual das terras; o modelo digital de elevação do terreno; e em estudos sobre risco climático, procedeu-se uma análise quanto aos requerimentos da cultura quanto a precipitação, temperatura, ocorrência de geadas e veranicos.

O resultado deste trabalho foi a produção de relatórios técnicos com os correspondentes mapas, assim como a base de dados espaciais que mostram a potencialidade de expansão da produção da cana-de-açúcar em aproximadamente 64 milhões de hectares e tem permitido estabelecer a política pública para a expansão da área de produção de cana-de-açúcar de 8,5 milhões de hectares até 2017, ou seja, a duplicação da área da produção da cana-de-açúcar o que permitirá atender a seguridade alimentar com mais produção de açúcar assim como a do etanol para fines energéticos de acordo novos requerimentos dos mercados nacionais e mundiais.

Diretrizes gerais do Zae-Cana

O Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar foi uma encomenda do Governo Brasileiro para a expansão da produção de cana-de-açúcar para a produção de etanol e açúcar levando em consideração aspectos econômicos, sociais e ambientais, de acordo com as seguintes diretrizes:

- Indicação de áreas com potencial agrícola para o cultivo da cana-de-açúcar sem restrições ambientais;
- Exclusão de áreas com vegetação original e indicação de áreas atualmente sob uso antrópico;
- Exclusão de áreas para cultivo nos biomas Amazônia, Pantanal e na Bacia do Alto Paraguai;
- Diminuição da competição direta com áreas de produção de alimentos;
- Diminuição da competição com áreas de produção de alimentos;
- Indicação de áreas com potencial agrícola (solo e clima) para o cultivo da cana-de-açúcar em terras com declividade inferior a 12%, propiciando a produção ambientalmente adequada com colheita mecânica;
- Unidades industriais já instaladas, a produção de cana para seu suprimento e a expansão programada não são objeto deste zoneamento.

Material e métodos do ZAE-Cana

A área de estudo do ZAE-Cana compreendeu inicialmente todo o território nacional, conforme apresentada na Figura 1. Como mostrada nesta figura, foram excluídos do Zoneamento a Amazônia (vermelho), o Pantanal (azul claro) e a Bacia do Alto do Paraguai (azul escuro).

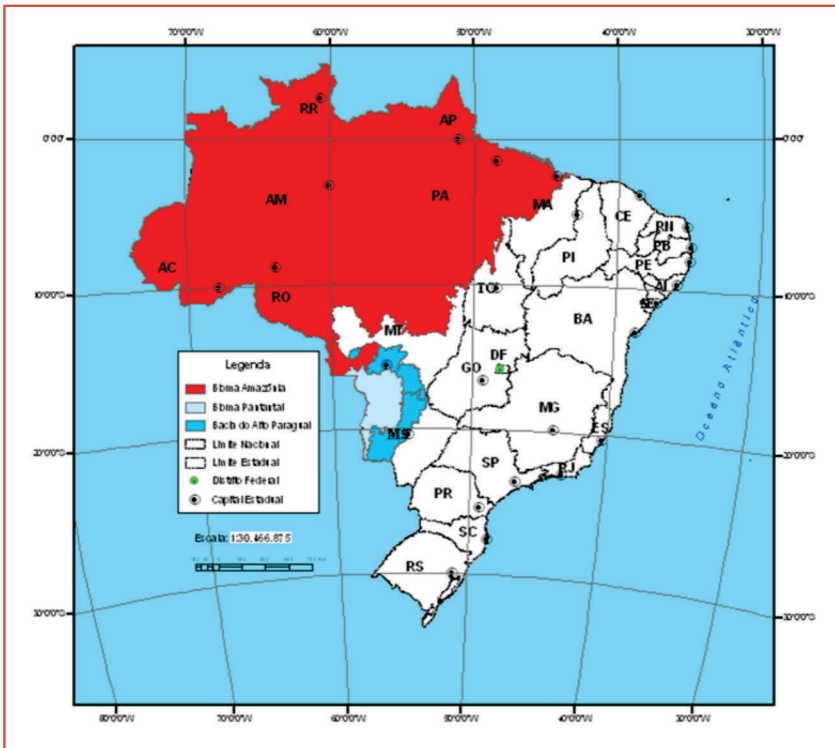


Figura 1. Área do Zoneamento de todo o território brasileiro com exceção da Amazônia, o Pantanal e a Bacia do Alto Paraguai.

O trabalho foi desenvolvido aplicando o esquema da Figura 2, que representa o Esquema Conceitual da Metodologia Geral do Zoneamento utilizada neste estudo. Inicialmente foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica sobre as diferentes metodologias de Zoneamento e temáticas a serem empregadas, de modo a apresentar o estado da arte de cada uma de elas.

De modo geral, a metodologia foi desenvolvida em quatro fases: Fase 1) Determinação da Aptidão das Terras para a cana-de-açúcar, que é um dos principais componentes do Zoneamento, mostrando que a aptidão natural dos solos para a cultura; Fase 2) Determinação da Aptidão Climática que é outro componente importante que relaciona as características meteorológicas das diferentes regiões para a cultura da cana-de-açúcar; Fase 3) Obtenção de uma máscara para excluir a Amazônia, Pantanal e a Bacia do Alto do Paraguai, as áreas de proteção legal (unidades de conservação, terras indígenas, e outras), mapas de uso da terra das quais desconsideraram-se as áreas agrícolas, e mapas

de declividade da terra que tiveram uma declividade maior do 12%; Fase 4) Integração temática que foi feita com os resultados das aptidões das terras e climática, sendo mapeadas nas áreas resultado da mascara do zoneamento obtida na Fase 3). A base cartográfica utilizada constituiu-se dos limites nacionais, estaduais e municipais, principais capitais e cidades, rede hidrográfica e viária do Brasil e outras informações relevantes para o trabalho.

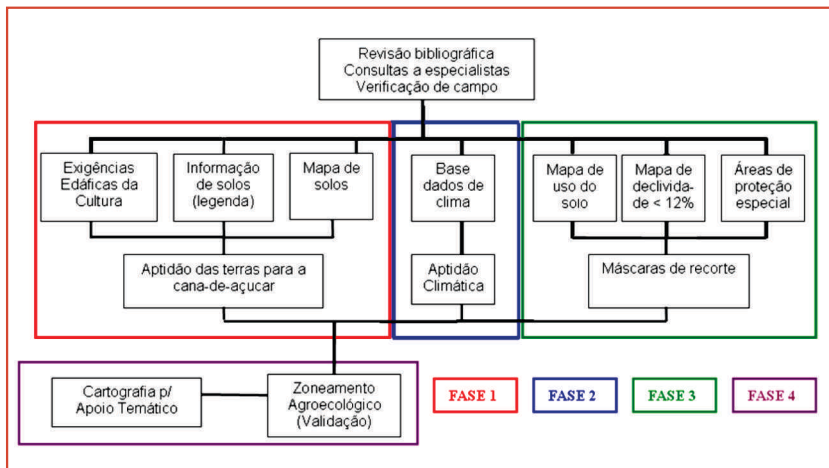


Figura 2. Esquema Conceitual do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar.

Fase 1 - Aptidão agrícola das terras

Os trabalhos de aptidão agrícola das terras seguiram os lineamentos do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (RAMALHO; BEEK, 1995) e, para sua automatização foram adotados procedimentos conforme apresentado na Figura 3.

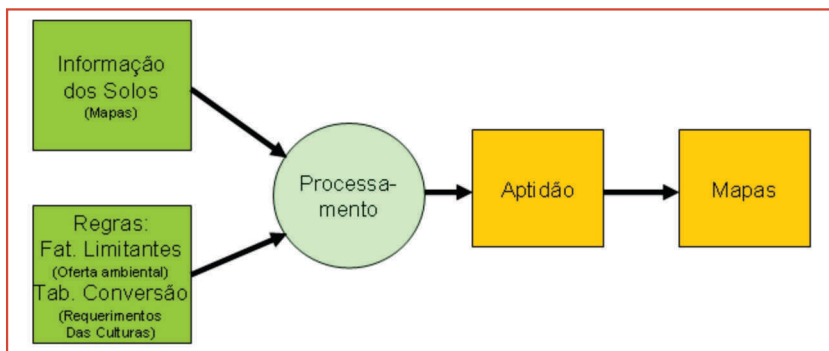


Figura 3. Esquema demonstrativo de avaliação da aptidão agrícola das terras.

O esquema acima mostra que as entradas para o desenvolvimento dos trabalhos de aptidão foram: as informações de solos implícitas nos mapas existentes, considerando principalmente a escala do levantamento de solos. Deve-se considerar que os mapas de solos são apresentados por conjuntos de polígonos justapostos considerados homogêneos quanto aos atributos de solos, que caracterizam cada unidade de mapeamento. No entanto cada Unidade de Mapeamento tem um ou mais Componentes (classes de solos). Desta forma é necessário realizar um trabalho preliminar de separação dos componentes da legenda, pois os dados de solos referem-se às classes de solos. Os principais atributos de solos (componente) analisados como oferta ambiental e utilizados na avaliação da aptidão agrícola das terras estão apresentados na Figura 4.

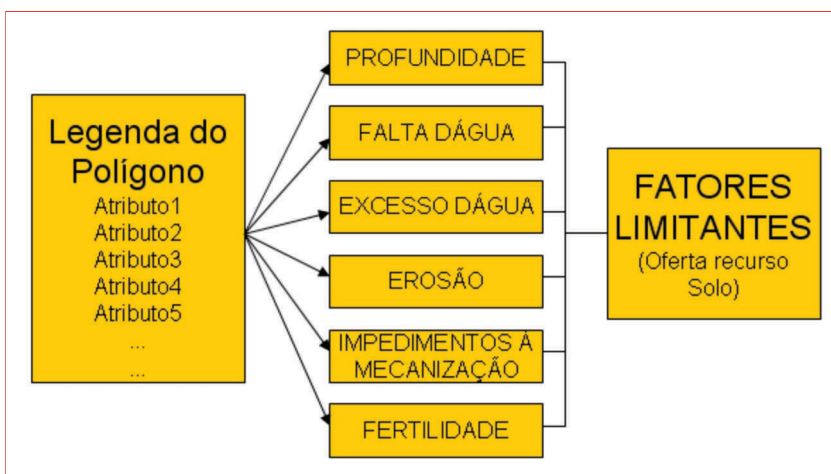


Figura 4. Atributos de solos empregados na avaliação da aptidão agrícola das terras.

Com as informações de atributos de solos, nível de manejo a ser aplicado e requerimento ambiental do tipo de cultura, foram implementados os procedimentos para a automatização do processamento de avaliação da aptidão agrícola. Na Figura 5 é apresentada a seqüência de processamento das informações.

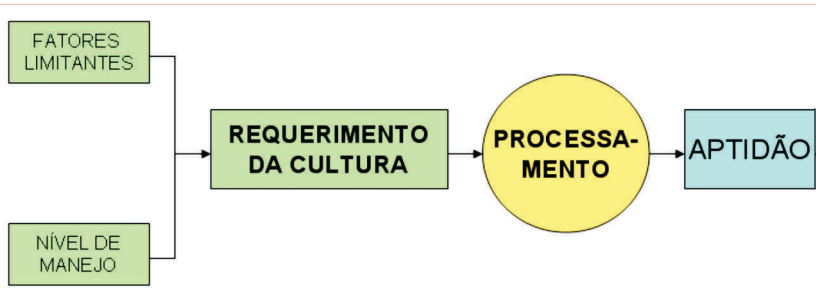


Figura 5. Esquema de processamento para avaliação da aptidão agrícola das terras.

A Figura acima mostra o fluxograma conceitual. Então, inicialmente prepara-se uma tabela com os graus de limitação dos atributos de solos, implícito a viabilidade de melhoramentos para o tipo de cultura especificado. Nessa fase é primordial que se tenha um bom conhecimento das características agronômicas da cultura considerada para estabelecer esses graus de limitações. Isso porque os tipos de culturas têm reações diferentes ao um mesmo atributo de solo, o que pode constituir fase crítica de avaliação desses graus.

Deve-se considerar que estes esquemas apresentados nas Figuras 3, 4 e 5 foram implementados pela construção de regras de conhecimento dos especialistas de solos, da cultura de cana-de-açúcar, que inicialmente implementaram as Tabelas de Restrições dos Solos e a Tabela de Conversão (requerimentos das culturas) que resulta no relacionamento da oferta ambiental (recurso solos) e as necessidades da cultura.

O resultado deste processo é a determinação da classe de aptidão de cada componente da unidade de mapeamento (UM) pedológica. Nos trabalhos desta natureza, usualmente a classe de aptidão da UM é representada pela aptidão do primeiro componente. Neste trabalho, entretanto, para uma maior precisão da avaliação, atribuiu-se à UM a simbologia da classe de aptidão dominante entre os componentes, ou seja, a classe de aptidão de maior expressão territorial dentro da UM. Finalmente a simbologia da legenda é ligada ao polígono correspondente no processo de mapeamento (Figura 3), obtendo-se desta maneira o Mapa de Aptidão das Terras para a cana-de-açúcar, que espacialmente apresenta as áreas com a correspondente aptidão para esta cultura.

O resultado final deste processo de aptidão e legenda no Mapa de Aptidão foi:

- a) P – Preferencial, com aptidão ótima.
- b) R – Regular com ligeiras restrições do recurso solo.
- c) M – Marginal com fortes restrições do recurso solo
- d) I – Inapta, sem aptidão.

Fase 2 - Aptidão climática - análise do risco climático

Na elaboração do Zoneamento Agroecológico para a cana-de-açúcar foram utilizadas avaliações da aptidão climática e mais recentemente estudos probabilísticos, baseados em séries climáticas históricas sobre os riscos climáticos por municípios brasileiros, definindo, em função do ciclo e dos requerimentos de água para a cultura, as melhores áreas e épocas para o plantio. Este instrumento é hoje parte da política agrícola do MAPA, em relação ao crédito de custeio e seguro agrícola. Portanto o zoneamento agrícola fornece o potencial de terras aptas ao plantio da cultura, que se conjugado às áreas atualmente sob plantio, fornece o potencial de expansão da cultura por regiões de interesse.

Foram indicadas as áreas de alto e baixo risco à cultura da cana-de-açúcar para as condições climáticas do Brasil. De acordo com a literatura disponível, foram selecionadas quatro variáveis para a delimitação das áreas: temperatura média do ar, deficiência hídrica anual, índice de satisfação das necessidades de água e o risco de geada.

Temperatura média do ar

O desenvolvimento de qualquer cultura agrícola está intimamente relacionado à temperatura do ambiente. Para a cultura da cana-de-açúcar os dados da pesquisa apontam um ritmo de crescimento mais lento sempre que a temperatura do ar estiver abaixo dos 25°C, e uma taxa de crescimento máximo quando os valores estão entre os 30°C e 34°C, tornando-se novamente reduzido frente a valores maiores que 35°C. Destaca-se um crescimento praticamente nulo da cultura quando a temperatura do ar superar os 38°C. Alguns

pesquisadores consideram ainda que o crescimento da cana-de-açúcar estaciona ou torna-se praticamente nulo quando a temperatura do ar é inferior a valores que ficam entre os 18°C e 21°C, dependendo das demais condições, principalmente a hídrica (FAUCONIER, 1975; BARBIERI et al., 1979).

Quanto à germinação da cana-de-açúcar, a temperatura ótima está em torno dos 32°C, considerando o limite de 21°C como a temperatura base para essa fase. Para completar a fase de maturação, em regiões com ausência de estação seca definida nesse momento, como é o caso da maior parte da região sul do país, é necessário, para que se tenha um maior acúmulo de sacarose e, conseqüentemente, alto rendimento de açúcar e álcool, que a temperatura média diária seja inferior a 21°C, a fim de proporcionar um repouso vegetativo da cultura.

De acordo com esse conjunto de informações, foram adotadas as seguintes classes de temperatura média anual em relação à aptidão à cana-de-açúcar:

- a) Temperatura média anual < 18°C - restrição acentuada e de alto risco à cultura da cana-de-açúcar para indústria;
- b) Temperatura média anual de 18°C a 20°C – restrição parcial por carência térmica;
- c) Temperatura média anual > 20°C – ideal, ótimo ao crescimento da cana-de-açúcar;
- d) Temperatura média anual < 14°C – limite abaixo do qual a cana-de-açúcar se torna inviável por carência térmica severa.

Deficiência hídrica anual

A distribuição anual das chuvas é muito importante, almejando sempre uma maior abundância nos meses que coincidam com o período de crescimento vegetativo do cultivo da cana-de-açúcar. Contrariamente, durante os meses de maturação da cultura o ideal é a presença de uma estação seca, favorecendo o acúmulo de sacarose no colmo, a trafegabilidade das máquinas e a colheita.

De acordo com todas as informações fornecidas por ALFONSI et al. (1987) foram adotadas as seguintes classes de deficiência hídrica anual em relação à aptidão à cana-de-açúcar:

- a) 0 mm – Ausência de estação seca, dificultando maturação e colheita;
- b) 0 mm < Def < 200 mm – Condição hídrica ideal a cultura da cana-de-açúcar;
- c) 200 mm < Def < 300 mm – Deficiência hídrica sazonal – recomendado irrigação hídrica suplementar ou de salvamento;
- d) Def > 400 mm – Carência hídrica excessiva, limite acima do qual se torna inviável a cultura da cana-de-açúcar sem irrigação intensiva.

Índice de satisfação das necessidades de água (ISNA)

O índice de satisfação das necessidades hídricas, calculado para uma série histórica de dados de chuva, de pelo menos 15 anos, representa a relação entre a evapotranspiração real (ET_r) e a evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura, para cada uma das fases de desenvolvimento da mesma.

Essa relação leva em consideração que a interação “disponibilidade hídrica x período crítico de desenvolvimento” é determinante na expressão do rendimento econômico da cultura.

Para estimar a evapotranspiração máxima da cultura, adotam-se os coeficientes de cultura (kc), corrigindo os valores de evapotranspiração potencial ou de referência (ET_o). A Tabela 1 apresenta valores de kc da cana-de-açúcar para os diferentes períodos de crescimento.

Tabela 1. Valores de coeficiente de cultura (kc) das respectivas fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar.

| Períodos de desenvolvimento | Dias após emergência | Coefficiente kc* |
|----------------------------------|----------------------|------------------|
| Do plantio até 0,75 de cobertura | 0 - 60 | 0,60 |
| Máximo uso de água | 60-210 | 1,05 - 1,30 |
| Início da senescência | 210-270 | 0,80 - 1,05 |
| Maturação | 270-360 | 0,60 - 0,75 |

Fonte: Doorenbos e Kassam (1994).

Para executar a delimitação das áreas aptas e de baixo risco climático, exige-se um ISNA mínimo de 0,6, ou seja, que a exigência hídrica máxima seja atendida em pelo menos 60% durante um período mínimo de 150 dias, coincidentes com a fase de máxima utilização de água pela cultura (Tabela 1).

Essa condição hídrica deve ser atendida em pelo menos 80% dos anos da série mínima de 15 anos de dados diários de chuva. A definição do critério de $ISNA > 0,6$ para classificar áreas como de baixo risco foi feita tendo como base a seleção de áreas que apresentem produtividade mínima de 60 t ha^{-1} . Foram adotadas as seguintes classes de índice de satisfação das necessidades de água em relação ao risco climático à cana-de-açúcar:

- a) $ISNA < 0,5$ – alto risco;
- b) $0,5 < ISNA < 0,6$ – risco intermediário;
- c) $ISNA > 0,6$ – baixo risco.

Risco de Geadas

A cultura da cana-de-açúcar é susceptível a baixas temperaturas, destacando que temperaturas inferiores aos 18°C praticamente já paralisam o crescimento das plantas. Os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, além de algumas áreas da região Sudeste são sujeitos à ocorrência de geadas esporádicas, sendo necessário a adoção de medidas preventivas adequadas para minimizar o efeito desse evento climático. Áreas onde as geadas são mais frequentes acabam tornando a exploração canavieira economicamente inviável.

As partes jovens e menos protegidas da cana-de-açúcar tal como folhas jovens, gemas apicais e gemas laterais jovens se congelam em temperatura inferior a 0°C . Os danos causados dependem tanto da temperatura mínima atingida quanto da duração de tempo desse valor, variando de acordo com a variedade e o estado de cultivo. De forma geral, pode-se afirmar que a gema apical morre a uma temperatura superior as temperaturas exigidas para a morte das gemas laterais. A morte da gema apical ocorre quando a temperatura atinge níveis entre -1°C a $-3,3^{\circ}\text{C}$, enquanto que as laterais morrem em torno de -6°C , sendo que às temperaturas letais às folhas da cana-de-açúcar estão em torno de $-2,5^{\circ}\text{C}$ a -5°C .

Relacionando a ocorrência de geadas com valores de temperatura mínima registradas em abrigo meteorológico, pesquisadores observaram que há um gradiente de temperatura entre o abrigo, situado a 1,5m acima da superfície, e a relva, da ordem de 3 a

4°C, aproximadamente. Assim, quando se registra temperatura mínima no abrigo em torno dos 2°C, no nível da relva os valores aproximam-se de -1°C, capaz de causar danos à cana-de-açúcar, tendo em vista que não é necessário haver o congelamento da água para que haja dano às partes vegetais.

Para delimitar as áreas com risco de geada foram analisadas séries de dados diários de temperatura mínima do ar, de no mínimo 15 anos ininterruptos. Considerou-se que tenha ocorrido geada, em nível de superfície do solo, quando a temperatura mínima de abrigo foi inferior a 2°C. Utilizando metodologia desenvolvida por Wrege et al. (2005), desenvolveu-se um algoritmo para análise da série de dados de cada estação e, sempre que a temperatura de um dia ficou abaixo dos 2°C, associou-se o valor “1” ao evento “ocorrência de geada” e, caso contrário, foi atribuído o valor “0”. Em seguida, foram calculadas as probabilidades de ocorrer, pelo menos uma geada por decêndio, movendo-se uma janela de dez dias ao longo da série de dados com passo diário (dias 1-10 julho, 2-11 julho, 3-12 julho, e outros) em todo o ano. Analisando-se estes dados, se dentro de um dado decêndio houvesse ocorrido uma ou mais geadas, aquele decêndio era computado com valor “1”, independente do número de vezes que a mesma houvesse ocorrido. Não havendo nenhuma ocorrência no decêndio, era computado o valor “0”. Com base nas seqüências de “0” e “1” de toda a série de dados de cada estação, calculou-se a frequência de geadas ao longo do ano para cada estação, conforme equação 01.

$$fg = (n / 10) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

n é o número de dias em que ocorreu geada (temperatura mínima < 2°C), em dez dias (valor entre 0 e 10) e fg a frequência de geadas.

Foi necessário estimar valores de risco de geada para outros pontos, através da correlação com coordenadas geográficas. Os valores de frequência de geadas por estação foram correlacionados aos valores de latitude, longitude e a altitude, ajustando-se quatro equações de regressão linear múltipla, uma para cada mês, sendo junho, julho, agosto e setembro. As equações foram aplicadas em um sistema de informação geográfica, formando um plano de informação contendo

uma grade regular de valores estimados, com espaçamento entre os pontos de 90 metros, com informações de risco de geada.

Classificação da aptidão climática

A avaliação do risco climático para o cultivo da cana-de-açúcar foi sistematizada em cinco categorias e espacializada para cada Estado da Federação, conforme se segue:

- a) Baixo Risco – sem limitação para o cultivo - A - área indicada;
- b) Baixo Risco – irrigação de salvamento necessária - B - área indicada;
- c) Carência térmica ou alto risco de geada - C - área não indicada;
- d) Irrigação intensiva imprescindível - D - área não indicada;
- e) Excesso de água com prejuízo para a maturação e colheita - E - área não indicada.

O resultado espacial foi um mapa mostrando a Aptidão Climática de cada área em estudo o qual mostra os polígonos com uma das categorias anteriormente expostas e que permite a delimitação espacial das áreas homogêneas climaticamente para a cana-de-açúcar.

Fase 3 - Máscara (determinação da área real de estudo)

Nesta fase foram determinadas as áreas propriamente ditas que atenderam aos requerimentos das Diretrizes do Zoneamento para todo o território brasileiro, com exceção de:

- Amazônia Legal, Bioma Pantanal e Bacia do Alto Paraguai – Devido a uma decisão governamental que vai ao encontro da política de não expandir esta cultura nestes territórios.
- Áreas Protegidas por Lei (Unidades de Conservação, Terras Indígenas e outras).
- Áreas atualmente com uso agrícola – Para tal foram empregados os resultados do Projeto PROBIO que mapeou o uso das terras como Áreas Agrícolas, Áreas Agropecuárias e Pastagens. Para o zoneamento somente foram as duas ultimas. As Áreas Agrícolas foram excluídas para cumprir com a diretriz do zoneamento não competir com a produção de alimentos.
- Áreas com declividade maior de 12 % - Propiciando produção

ambientalmente adequada com colheita mecânica evitando desta maneira as queimadas, pois permite o emprego da tecnologia para alterar a prática deste tipo de produção.

As áreas que não foram excluídas formaram uma máscara, na qual foi realizada a integração temática dos mapeamentos da Aptidão das Terras e Aptidão Climática, cujos resultados permitem determinar as áreas com potencial agrícola para o cultivo da cana-de-açúcar sem restrições ambientais e seguindo as Diretrizes do Zoneamento.

Fase 4 - Integração temática e mapeamento

Os resultados das Fases 6 e 7, são mapas que podem ser integrados aplicando operações espaciais que estão disponíveis nos programas dos Sistemas de Informação Geográfica. No entanto, pela dimensão do trabalho que é o Zoneamento Agrícola em todo o território brasileiro, precisou-se sistematizar e automatizar as tarefas e para tal empregou-se uma base de conhecimento.

A base de conhecimento desenhada para o ZAE-Cana é apresentada de forma hierarquizada na Figura 6. Foi utilizado o conceito “Data link”, que corresponde ao campo da base de dados que representa o elemento.

A Figura 7 apresenta a parte da rede de dependência que corresponde à avaliação da aptidão pedoclimática (ou edafoclimática) que reproduz a integração desenvolvida na Tabela 2.

De acordo com Figura 3, a base lerá o campo CLIMATICA do mapa do risco climático e retornará para cada um dos valores lidos no campo: A=1; B=0,5; C=-0,5; D=-0,75 e E=-1 e, para o campo EDAFICA do mapa de aptidão edáfica: IN=-1; AGUA=-1; AREAURBANA=-1; M=0; R=0,5 e P=1.

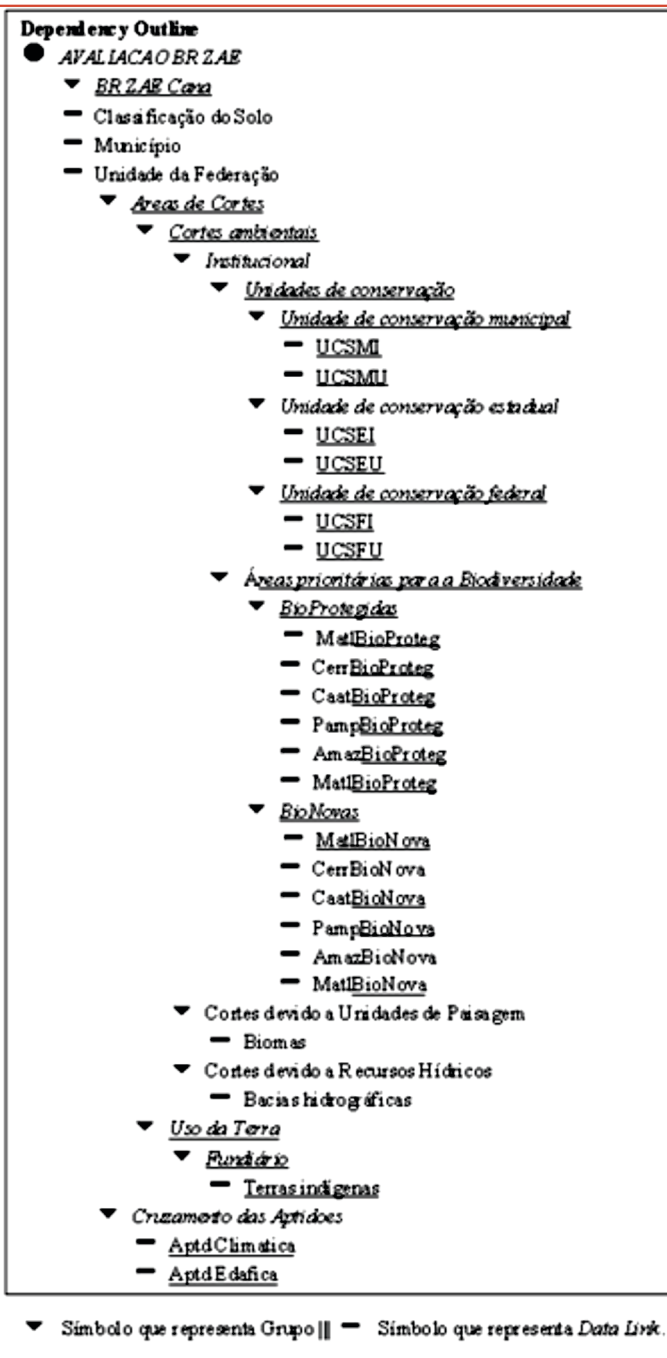


Figura 6. Hierarquia da base de conhecimento do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar.

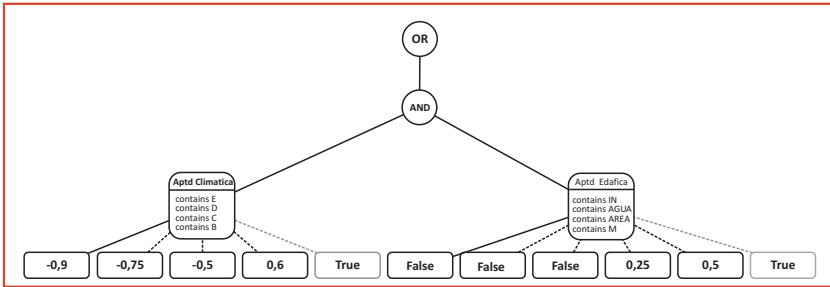


Figura 7. Base de conhecimento para avaliação da aptidão pedoclimática.

O operador AND calcula os valores dos *data links* nele pendurados segundo a equação:

$SE_{mín}(t) = -1$, então $t = -1$, caso essa condição não seja satisfeita, ou seja, $SE_{mín}(t) > -1$, então o sistema irá considerar $t = mín(t) + [média(t) - mín(t)] \times [mín(t) + 1] / 2$. Dessa forma, a base desenhada retornará valores que permitem gerar um mapa com uma legenda que classifique a Aptidão Pedoclimática de acordo com os dados de entrada.

Tabela 2. Classificação da Aptidão considerando-se a integração entre a aptidão edáfica e a aptidão climática para a cana-de-açúcar.

| Aptidão Edáfica | Pesos | Risco Climático | | | | |
|-----------------|-------|-----------------|------|-------|-------|-------|
| | | A | B | C | D | E |
| | | 1,00 | 0,60 | -0,50 | -0,75 | -1,00 |
| P | 1,00 | P | R | IC | ID | IE |
| R | 0,50 | R | R | IC | ID | IE |
| M | 0,25 | MS | ISC | IC | ID | IE |
| I | -1,00 | IS | IS | ICIS | ICIS | ICIS |

Legenda: Aptidão Edáfica: P - alta; R - média; M - Baixa; I - inapta.

Integração: P - Áreas com aptidão agrícola preferencial; R - Áreas com aptidão agrícola regular; MS - Áreas com aptidão agrícola marginal por solo; ISC - Áreas inaptas pela integração entre solo e clima; IC - Áreas inaptas por clima, Carência térmica ou alto risco de geada; ID - Áreas inaptas por clima, Irrigação intensiva imprescindível; IE - Áreas inaptas por clima, Excesso de água com prejuízo para a maturação e colheita; IS - Áreas inaptas por solo; ICIS - Áreas inaptas por clima e por solo.

Após a avaliação com o uso do EMDS excluiu-se, com as ferramentas tradicionais do ArcGIS as áreas com plantio de cana-de-açúcar em 2007/2008, as áreas com declividade acima de 12% integrou-se com os mapas de uso do solo, e calculando as áreas aptas por município.

Resultados, impactos e destaques do ZAE-Cana

Nossas estimativas demonstraram que o país dispõe de cerca de 64 milhões de ha de áreas aptas à expansão do cultivo de cana-de-açúcar, sendo que destas, as áreas aptas cultivadas com pastagens em 2002, representam cerca de 37 milhões de ha. Estas estimativas demonstram que o país dispõe de áreas suficientes para atender às demandas futuras por açúcar e álcool, não necessitando incorporar áreas novas e com cobertura nativa ao processo produtivo. Indicam ainda, que é possível expandir a área de cultivo com cana-de-açúcar sem afetar diretamente as terras utilizadas para a produção de alimentos. Com isso fica claro que não há necessidade de competição de produção de biocombustível com agricultura, não há incentivo à produção de cana de açúcar na Amazônia, Pantanal e na Bacia do Alto Paraguai, e que para atender à demanda, a produção de etanol irá privilegiar a agricultura de sequeiro, sendo a irrigação somente complementar.

Neste cenário, não se considerou ainda um ganho extra de produtividade, através do etanol de segunda geração. Hoje o Brasil aproveita apenas um terço da cana-de-açúcar, ou seja, a sacarose para produzir álcool. Os dois terços remanescentes são o bagaço, que é queimado de forma pouco eficiente para gerar energia para a planta de álcool, e a palha, o último terço, que na sua maior parte, ainda é queimada no campo para facilitar a colheita. Com a determinação do zoneamento de mecanização da colheita da cana-de-açúcar, será possível não queimar a palha e transportar uma parte para a usina e outra, a ser definida pela pesquisa, deverá ficar para proteger e reciclar nutrientes no solo. Portanto, o excedente, bagaço mais a palha, é material lignocelulósico que através do processo de hidrólise poderá ser transformado em álcool, diminuindo a demanda de terras para o aumento da produção de etanol e açúcar.

Além dos processos de hidrólise, existe ainda duas outras formas de aumentar a produção, sem necessariamente aumentar a área plantada. A primeira é por meio do melhoramento genético, permitindo variedades mais produtivas, o que possibilitará um aumento da produtividade agrícola e da concentração de açúcar na cana-de-açúcar, como por exemplo as variedades transgênicas que já estão sendo desenvolvidas no país. A segunda é a melhoria das técnicas de manejo,

envolvendo também a adequada escolha de variedades, apropriadas para cada tipo de solo e clima.

Entretanto, as estimativas de safras do IBGE e Conab, demonstram que, nos últimos anos o aumento na produção de etanol e açúcar no Brasil ocorreu pelo aumento da área plantada e não pelo uso de tecnologias, em parte decorrente da elevada demanda por investimentos em infra-estrutura que esta opção demanda. Ou seja, no momento ainda é mais vantajoso, economicamente para os empresários, o mecanismo da substituição ou mudança de uso da terra em regiões de grande disponibilidade de terras subutilizadas, especialmente com pecuária. Este é o desafio para a pesquisa: produtividade e sustentabilidade ambiental da produção canavieira no cenário das mudanças climáticas.

Quanto aos produtos finais gerados pelo ZAE-Cana e disponíveis para a sociedade são:

- Mapas das áreas aptas ao cultivo da cana-de-açúcar no território brasileiro, no nível de manejo tecnificado;
- Tabelas com estimativas de áreas aptas por município e por tipo de uso da terra;
- Acervo de mapas cadastrados e disponibilizados na internet (<http://mapoteca.cnps.embrapa.br>) nos formatos *shapefile* e pdf;
- Relatório Síntese para o Brasil e Estados brasileiros.

Seguindo esses resultados o estudo foi capaz de nortear algumas diretrizes que permitirão a expansão da produção da cana-de-açúcar, como: (a) a indicação de áreas com potencial agrícola para o cultivo da cana-de-açúcar sem restrições ambientais; (b) exclusão de áreas com vegetação original e indicação de áreas atualmente sob uso antrópico; (c) exclusão de áreas para cultivo em biomas considerados sensíveis; (d) diminuição da competição direta com áreas de produção de alimentos; (e) diminuição da competição com áreas de produção de alimentos; (f) indicação de áreas com potencial agrícola (solo e clima) para o cultivo da cana-de-açúcar em terras com declividade inferior a 12%, propiciando produção ambientalmente adequada com colheita mecânica. Vale comentar que para as unidades industriais já instaladas, a produção de cana-de-açúcar para seu suprimento e a expansão programada não foram objeto deste zoneamento.

Esse zoneamento é um instrumento para subsidiar a tomada de decisões ao nível federal e estadual, e a implantação de políticas públicas voltadas para o ordenamento da expansão do cultivo da cana-de-açúcar para fins industriais. No entanto, outros segmentos da sociedade podem ser apontados como potenciais beneficiados nos resultados deste estudo, a citar: instituições de pesquisa, ensino e tecnológicas; públicas ou privadas; relacionadas ao meio ambiente e a agricultura; organizações não governamentais; órgãos de planejamento e desenvolvimento públicos das esferas federais, estaduais e municipais; assessorias parlamentares, Ministério Público, organizações internacionais, dentre outros.

Desta forma, a implementação do projeto enseja promover, de forma diferenciada, impactos relevantes nos Estados brasileiros nos âmbitos sócio-econômicos e ambiental. Sob o aspecto ambiental espera-se que o ordenamento da produção de cana-de-açúcar possa evitar a expansão em área com cobertura vegetal nativa; que a produção de biocombustíveis seja sustentável e ecologicamente limpa; que a cogeração de energia elétrica diminua a dependência de combustíveis fósseis, gerando ainda créditos de carbono e que a incorporação de técnicas conservacionistas possa diminuir a erosão dos solos cultivados.

Sob a dimensão humana, se acredita que a produção da cana-de-açúcar para etanol permitirá: a) emprego de energias limpas com o aproveitamento de créditos de carbono e outros mecanismo nacionais e internacionais que permitam atrair investimentos nas regiões destes empreendimentos; b) Aumento da ocupação permanente da mão-de-obra local, com a substituição da colheita manual pela mecânica; c) Organização dos fornecedores de cana em cooperativas; d) a Indução tecnológica na produção e colheita de cana-de-açúcar; e) a qualificação dos trabalhadores do setor face à tecnificação progressiva do cultivo, significando investimentos públicos e privados em educação e treinamentos especializados e f) Investimentos em complexos agroindustriais, demandando ainda outros investimentos em infraestrutura local como logística, transporte, energia e suporte técnico.

O ZAE-Cana é uma iniciativa governamental inédita no ordenamento da expansão de atividades agrícolas no território

nacional que envolveu equipes técnicas de diferentes Ministérios numa sinergia de políticas agrícola e ambiental sem precedentes. A execução dos trabalhos por instituições do Consórcio ZEE Brasil, por meio de instituições públicas federais propiciaram economia de recursos financeiros e credibilidade junto à sociedade brasileira e internacional. Outros dois pontos que merecem ser mencionados são a articulação com os Estados da Federação na definição das áreas de expansão prioritárias, contemplando as especificidades e agendas regionais e a implantação do Zoneamento utilizando mecanismos de indução e controle, através da definição de marcos regulatórios, mecanismos de fomento e negociação com a sociedade.

Considerações finais

Ao longo deste processo de construção do ZAE-Cana confirmou-se a necessidade dos ajustes no modelo de integração a cada realidade, ou seja, da consideração dos fatores locais. Nas análises preliminares adotaram-se parâmetros conservadores para, posteriormente, serem adequados à realidade local e gerar a análise final. Atitude imprescindível, principalmente em um país com dimensões continentais como o Brasil.

Contudo, os fatores que dispensaram maior demanda de energia não foram os ajustes da metodologia de integração à realidade local. Os fatores que demandaram maior energia foram os provenientes da necessidade de gerar subsídio às decisões políticas, que definem os critérios a serem adotados na avaliação a ser elaborada, os retrabalhos por mudança dos critérios inicialmente estabelecidos e a preparação de uma base de dados flexível à variação de critérios no processo de negociação com o setor produtivo e governo.

Dessa forma, identificados e aplicados os ajustes necessários à calibração do modelo e superadas as dificuldades inerentes ao processo de decisão, apresentou-se neste texto a quantificação das áreas aptas à extensão da cana-de-açúcar, segundo os critérios adotados até a presente data, que é a base para o desenvolvimento e a distribuição de diversos produtos provenientes da continuidade dos trabalhos.

A partir dos produtos a serem consolidados no processo do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar é possível desenvolver,

por exemplo, a análise da expansão futura da produção de cana-de-açúcar com fins industriais, seus impactos no território, mudanças de uso da terra e a efetividade de políticas de indução no ordenamento territorial.

Estas estimativas demonstram que o país dispõe de áreas suficientes para atender as demandas futuras por açúcar e álcool, não necessitando incorporar áreas novas e com cobertura nativa ao processo produtivo, podendo ainda expandir a área de cultivo com cana-de-açúcar sem afetar diretamente as terras utilizadas para a produção de alimentos. Isto sem contar com um ganho de produtividade, por meio do etanol de segunda geração. Com isso, fica claro, como já mencionado neste capítulo, que não há competição de produção de bicomcombustível com agricultura, não há incentivo à produção de cana-de-açúcar na Amazônia, Pantanal e na Bacia do Alto Paraguai, e que para atender a demanda, a produção de etanol irá privilegiar a agricultura de sequeiro, sendo a irrigação somente complementar.

Referências bibliográficas

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.

WREGGE, M.S.; CARAMORI, P.H.; GONÇALVES, A.C.A. Regiões potenciais para cultivo da cana-de-açúcar no Paraná, com base na análise do risco de geada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.13, n.1, p.113-122, 2005.