

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

Alternativas para Produção Sustentável da Amazônia

Embrapa
Brasília, DF
2013

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Gado de Leite

Rua Eugênio do Nascimento, 610 – Dom Bosco

36038-330 Juiz de Fora – MG

Telefone: (32)3311-7400

Fax: (32)3311-7424

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

cnpagl.sac@embrapa.br

Unidade responsável pelo conteúdo

Embrapa Gado de Leite

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente *Rui da Silva Verneque*

Secretária-Executiva *Emili Barcellos Martins Santos*

Membros *Alessandro de Sá Guimarães, Carla Christine Lange, Carlos Renato Tavares de Castro, Deise Ferreira Xavier, Flávio Rodrigo Gandolfi Benites, Fábio Homero Diniz, Fausto de Souza Sobrinho, José Alberto Bastos Portugal, João Cláudio do Carmo Panetto, Kenya Beatriz Siqueira, Marcelo Henrique Otenio, Márcia Cristina de Azevedo Prata, Marcos Vinicius Gualberto Barbosa Silva, Mariana Magalhães Campos e Mirton José Frota Morens*

Supervisão editorial *Carlos Eugênio Martins*

Editoração eletrônica e tratamento das ilustrações *Carlos Alberto Medeiros de Moura*

Revisão bibliográfica *Inês Maria Rodrigues*

Arte da capa *Adriana Barros Guimarães*

1ª edição

1ª impressão (2013): 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 Gado de Leite

Alternativas para produção sustentável da Amazônia / editores técnicos,
Elizabeth Nogueira Fernandes ... [et al.]. Brasília, DF : Embrapa, 2013.
304 p. : il. col. ; 16,3 cm x 22,5 cm.

ISBN 978-85-7035-242-2

1. Trabalhos científicos e tecnológicos. 2. Sustentabilidade. 3. Pecuária.
4. Bovinocultura. I. Fernandes, Elizabeth Nogueira. II. Embrapa Gado de Leite.

CDD 636.2142

© Embrapa 2013

CAPÍTULO 12

Uso de Modelos Agrometeorológicos como Ferramentas Aplicadas ao Zoneamento Agrícola Brasileiro

José Ricardo Macedo Pezzopane

Introdução

O zoneamento agroclimático é um instrumento de orientação e suporte técnico para tomada de decisão na agricultura, concedendo informações que auxiliam no planejamento de uma determinada região de interesse, podendo ter abrangência territorial municipal, estadual ou até mesmo nacional.

Como ferramenta de planejamento agrícola, o zoneamento agroclimático consiste na determinação dos locais mais aptos para o cultivo de espécies de interesse de acordo com suas características climáticas, possibilitando o sucesso em termos de produtividade em função das condições climáticas. Além da aptidão climática, torna-se necessária a determinação de épocas mais adequadas de semeadura de espécies anuais ou risco de ocorrência de eventos climáticos extremos, prejudiciais para as culturas anuais e perenes. Nesses dois últimos casos, também denominado zoneamento de riscos climáticos, é levado em consideração o enfoque probabilístico de ocorrência dos fenômenos.

Na macroescala, as variáveis meteorológicas mais importantes que influenciam no processo produtivo agrícola são a temperatura e a chuva, pois afetam diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas. A temperatura do ar está diretamente relacionada com a intensidade dos processos de fundamental importância no crescimento das plantas, como é o caso da fotossíntese e da evapotranspiração. A precipitação, por outro lado, é quem fornece a água envolvida em tais processos.

É importante ressaltar que, em estudos agroclimáticos as relações entre os elementos meteorológicos não são diretas. Não é possível afirmar que um local com maior precipitação não apresenta deficiência hídrica, pois o consumo de água pelas comunidades vegetais, isto é, a evapotranspiração, pode ser elevada devido à alta disponibilidade energética.

Em função disso, o balanço hídrico climático surge como ferramenta com grande potencial de uso na determinação da disponibilidade hídrica de uma região e vindo sendo utilizado nos trabalhos de zoneamento agroclimático. Originalmente desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), o balanço hídrico é uma ferramenta que contabiliza o armazenamento de água no solo em função de um balanço das entradas e saídas de água do sistema. Para fins climatológicos, o balanço considera como entrada de água no sistema a chuva e como saída a evapotranspiração e a drenagem profunda, também chamada de excedente hídrico.

Tanto no zoneamento de aptidão agrícola, quanto no zoneamento de riscos climáticos, é importante ressaltar a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) em sua confecção. Uma das principais aplicações de um SIG em estudos de agrometeorologia é a de transformar dados numéricos, obtidos em pontos referenciados geograficamente na superfície, em mapas interpolados a partir de informações originais, podendo-se assim ter valores estimados para todas as localidades da região em estudo, não se restringindo apenas aos dados observados inicialmente.

Como ferramenta de decisão, o zoneamento não é definitivo, sendo passível de incorporação de novas metodologias de estudo, novas cultivares e séries de dados meteorológicos mais consistentes ou atualizadas.

Este texto tem como objetivo apresentar as metodologia para a realização de zoneamentos agroclimáticos a partir de informações agrometeorológicas como subsidio a atividades de planejamento agrícola e tomada de decisão no campo.

Zoneamentos Agroclimáticos - Metodologias e exemplos

Zoneamentos de aptidão climática começaram a ser desenvolvidos no Brasil no início da década de 70 do século passado (CAMARGO et al., 1974). A cultura do café teve a sua expansão no território brasileiro baseada em programas de financiamento das lavouras em função de zoneamento agroclimáticos, que levavam em consideração a aptidão em função das características térmicas e hídricas da região. Esse tipo de zoneamento foi amplamente difundido e utilizado para diversas culturas agrícolas e diferentes regiões de abrangência.

Basicamente os zoneamentos de aptidão levam em consideração faixas de temperatura favoráveis ao desenvolvimento da cultura e disponibilidade hídrica da região que, na maioria dos casos é expressa em limites de deficiência hídrica anual (resultante da contabilização entre a evapotranspiração real e a potencial).

O zoneamento de riscos climáticos, que tem uma aplicação mais ampla nas últimas décadas, leva em consideração o enfoque probabilístico da ocorrência dos fenômenos climáticos e auxilia na determinação de épocas mais adequadas de semeadura de espécies anuais ou risco de ocorrência de eventos climáticos extremos, prejudiciais para as culturas anuais e perenes. Na grande maioria das aplicações em cultura agrícolas, o zoneamento de risco climático visa selecionar períodos em que as condições climáticas dominantes indicam disponibilidade hídrica para os períodos mais críticos das culturas (BRUNINI et al., 2001; SANS et al., 2001, entre outros). Este instrumento é hoje parte da política agrícola do Ministério da Agricultura (<http://www.agricultura.gov.br>), para a contratação de crédito de custeio e seguro agrícola.

Nesse caso, a identificação de períodos favoráveis para semeadura são baseados na interação entre a disponibilidade hídrica x tipo de solo x períodos críticos de desenvolvimento, como principais fatores que determinam o sucesso de implantação da cultura. A partir de séries históricas de chuva (disponibilidade hídrica) e temperatura (demanda hídrica) de uma região é realizado o balanço hídrico, considerando três tipos de solo

quanto a capacidade de água disponível (CAD): baixa, média e alta capacidade de armazenamento de água

A partir dos cálculos do balanço hídrico, o índice de Satisfação de Necessidades de Água (ISNA), definido pela relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima da cultura, é utilizado como indicador do risco.

Os zoneamentos agroclimáticos também podem levar em consideração os conceitos de aptidão e risco. Recentemente a Embrapa lançou o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (MANZATTO et al., 2009), onde no seu componente climático levou em consideração conceitos de aptidão climática (temperatura do ar e deficiência hídrica anuais) e de risco climático (índice de satisfação das necessidades de água e risco de geadas).

Um abordagem mais recente em trabalhos de zoneamentos é a utilização de modelos de estimativa de produtividade das culturas agrícolas. Além de auxiliar o planejamento da produção, modelos de estimativa permitem realizar simulações para estimar a repercussão de cenários agrícolas atuais e futuros, bem como os impactos que tais mudanças podem causar sobre os sistemas produtivos.

A modelagem de plantas pode ser baseada em modelos dinâmicos, que simulam desde a produção da planta (PEDREIRA et al., 2011) até todo o planejamento agropecuário de uma propriedade como é o caso do APSIM para plantas forrageiras (KEATING et al., 2003). Geralmente, tais modelos são complexos e englobam diversos processos fisiológicos da planta e a influência de diversos parâmetros ambientais nesses processos, o que pode dificultar sua parametrização e aplicação em larga escala.

Para a utilização em zoneamentos agroclimáticos esses modelos requerem amplas bases de dados de clima e solo, nem sempre disponíveis para utilização em larga escala.

Um dos exemplos de aplicação desse tipo de modelos em trabalhos de zoneamento é o de Marin et al. (2012), sobre a produção da cana-de-

-açúcar no estado de São Paulo para o cenário climático atual e para cenários de mudanças climáticas. Nesse trabalho os autores se utilizaram de modelo de processo (DSSAT/Canegro) para simular a produção em 79 localidades.

Uma outra abordagem sobre a modelagem em plantas é a utilização de modelos empíricos. Tais modelos, também chamados de agrometeorológicos, consideram o efeito das variáveis climáticas na produção das culturas. Embora mais simples, desde que se conheçam suas limitações, são modelos que podem ser utilizados em larga escala e serão detalhados a seguir.

Modelos Agrometeorológicos para Estimativa da Produção de Forrageiras - Potencial Uso em Trabalhos de Zoneamento Agrícola

Uma abordagem sobre a modelagem em plantas forrageiras é a utilização de modelos empíricos, também chamados de agrometeorológicos. De maneira geral, esses modelos consideram o efeito das variáveis climáticas na produção de forragens (PEDRO JUNIOR, 1995; CRUZ et al., 2011), em função da produção das pastagens variar em resposta às condições climáticas, como temperatura do ar (valores máximos, mínimos ou médios), fotoperíodo, incidência de radiação solar, disponibilidade hídrica e a combinação entre esses fatores (VILLA NOVA et al., 2005; PEDREIRA et al., 2009; TONATO et al., 2010).

No seu desenvolvimento, esses modelos são equações ajustadas por análise de regressão com a qual é possível realizar uma estimativa da produção de plantas forrageiras (variável dependente) em função de variáveis (agro)meteorológicas (variável independente).

As variáveis agrometeorológicas procuram expressar as condições climáticas vigentes e seu efeito na produção. As que têm sido mais utilizadas, com boa capacidade de predição, são os Graus-Dia (GD), cujas equações foram apresentadas por Ometto (1981), que baseia-se no fato de que o desenvolvimento de uma espécie vegetal está relacionado com

a temperatura do meio (PEREIRA et al., 2002). Em função da influência da temperatura nos processos metabólicos é que se define uma faixa de crescimento e desenvolvimento de uma espécie vegetal, cujos limites representam as temperaturas basais inferior (T_b) e superior (T_B). É na faixa entre T_b e T_B que se baseia o conceito dos graus-dia.

Uma outra variável agrometeorológica, as unidades fototérmicas, procuram expressar o efeito do fotoperíodo sobre a produção de forragens, sendo inicialmente utilizado por Villa Nova et. al. (1983) para modelar o crescimento estacional da cana-de-açúcar e adaptado posteriormente para outras plantas forrageiras.

Para situações onde os cultivos são realizados em condições de sequeiro, a incorporação de um fator de penalização, baseado em relações que indicam a disponibilidade hídrica, tem proporcionado melhor desempenho das estimativas de produção. Mais uma vez a ferramenta do balanço hídrico (BH) fornece informações que podem ser incorporadas nas estimativas. A partir da realização do BH, duas variáveis que expressam a disponibilidade hídrica tem sido utilizadas: (1) o armazenamento relativo de água no solo, obtido através da relação entre o armazenamento atual e o máximo e (2) a relação evapotranspiração real (E_{tr}) sobre a evapotranspiração potencial (E_{tp}), denominada relação E_{tr}/E_{tp} .

Trabalhos realizados na Embrapa Pecuária Sudeste nos últimos anos procuraram parametrizar e validar modelos agrometeorológicos para estimativas da produção das principais forrageiras tropicais cultivadas no Brasil, como a *Urochloa* (sin. *Brachiaria*) *brizantha* e *Panicum maximum* (CRUZ et al., 2011; ARAUJO et al, 2012, PEZZOPANE et al., 2012a; PEZZOPANE et al., 2013). Esses modelos são baseados na relação clima versus produção e utilizam em seu desenvolvimento as variáveis graus-dia e unidades fototérmicas.

Para a determinação da influência do fator de disponibilidade hídrica a relação E_{tr}/E_{tp} e o armazenamento relativo de água no solo tem proporcionado boas estimativas. O armazenamento relativo tem mostrado melhor desempenho de estimativa e, alguns casos, principalmente em períodos

com seca pronunciada e retomada do período chuvoso, indicando diferentes potenciais de uso desses modelos dependendo das condições climáticas da região.

Numa etapa seguinte de trabalho esses modelos serão validados com dados de outras localidades com características climáticas distintas da região para onde foram desenvolvidos, buscando a ampliação de sua aplicação. Após essa validação esses modelos podem ser utilizados em trabalhos de zoneamento em larga escala territorial, apresentando como vantagem a pouca exigência de dados climáticos para a execução dos trabalhos.

A partir de séries temporais de temperatura e chuva as simulações podem ser realizadas para diferentes regiões de estudo. Nessa abordagem o tipo de solo é padronizado de acordo com a sua capacidade de retenção de água e o balanço hídrico é feito de acordo com essas características, existindo inclusive o potencial uso dessa ferramenta em estudos de simulações de cenários de mudanças climáticas e seu efeito no potencial produtivo de plantas forrageiras.

Aplicações de Zoneamentos Climáticos para Plantas Forrageiras

A Embrapa Pecuária Sudeste vem desenvolvendo nos últimos anos trabalhos que envolvem zoneamentos climáticos para plantas forrageiras ou para implantação de sistemas de produção.

Pezzopane et al. (2012b) realizaram um zoneamento para definição de aptidão climática para os capins Marandu e Tanzânia na região Sudeste do Brasil. A identificação de áreas na região Sudeste do Brasil, com condições climáticas semelhantes para o desenvolvimento das forrageiras foi baseada na caracterização das disponibilidades térmicas e hídricas que condicionam a duração do período de crescimento vegetativo das forrageiras e, conseqüentemente, a disponibilidade de forragem.

Para critério de análise do efeito térmico foi considerado o número de meses com média das temperaturas mínimas superior ao limite estabe-

lecido para o desenvolvimento dos capins-marandu e tanzânia. Para a caracterização do efeito hídrico no período de crescimento das forrageiras durante o ano, foram considerados parâmetros do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), sendo que a duração do período de seca (número de meses com deficiência hídrica - DH - ≥ 5 mm) foi o parâmetro hídrico utilizado na delimitação das áreas.

Os autores concluíram que a maior parte da região Sudeste do Brasil apresenta estacionalidade de 5 a 6 meses, proporcionada principalmente pelo fator hídrico, seguida por áreas que apresentam de 2 a 5 meses de estacionalidade condicionada por fatores térmico e hídricos. Concluíram também que a utilização da irrigação, principalmente onde a deficiência hídrica impõe restrição ao crescimento pelo período de 5 a 6 meses no ano, pode diminuir a estacionalidade da produção das forrageiras tropicais.

Uma outra aplicação do zoneamento em sistemas de produção da pecuária é a determinação com base em trabalhos de zoneamento de risco climáticos, períodos favoráveis para a implantação do consórcio milho x capim-marandu para os estados de São Paulo e Minas Gerais (SANTOS et al., 2010; SANTOS et al., 2011)

Na elaboração dos zoneamentos de risco climático para o consórcio de culturas nos estados de São Paulo e Minas Gerais, os autores estabeleceram os períodos onde as condições climáticas desfavoráveis, particularmente a deficiência hídrica, impõem limitações ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Para a cultura do milho, o período mais crítico está relacionado à floração e ao enchimento de grãos (SANS et al., 2001) e para o capim-marandu, as fases de germinação, emergência e perfilhamento inicial são críticas para o estabelecimento das pastagens (ARAUJO, 2008).

A identificação dos períodos favoráveis para a implantação do consórcio foi baseada na interação entre a disponibilidade hídrica, tipo de solo e períodos críticos de desenvolvimento, como sendo os principais fatores que determinam o sucesso de implantação do consórcio em áreas de

cultivo dos estados que pode ser consultada no endereço eletrônico da Instituição (www.cppse.embrapa.br).

Referências

ARAUJO, L. C. **Influência da disponibilidade de água no desenvolvimento de plantas de capim-marandu e milho: cultivo solteiro e consorciado**. 2008. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) - Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CAMARGO, A. P., PINTO, H. S., PEDRO, JR., M. J. et al. **Aptidão climática de culturas agrícolas**. São Paulo: Secretaria da Agricultura. Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo, São Paulo, CATI, 1974. v. 1, p 109-49.

CRUZ, P. G.; SANTOS, P. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; ARAUJO, L. C. Modelos empíricos para estimar o acúmulo de matéria seca de capim-marandu com variáveis agrometeorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 675-681, 2011.

KEATING, B. A., P. S. CARBERRY, G. L. HAMMER, M. E. PROBERT, M. J. ROBERTSON, D. HOLZWORTH, et al. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. **Eur. J. Agron.**, v. 18, p. 267-288, 2003.

MANZATTO, C. V. et al. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55 p. (Embrapa Solos. Documentos, 110).

MARIN, F. R.; JONES, J. W.; ROYCE, F.; PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; BARBOSA, F. J. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. **Climatic Change**, p. 1-2, 2012.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. Piracicaba: Ed. Ceres, São Paulo, 1981. 440 p.

PEDREIRA, C. G. S.; TONATO, F.; LARA, M. A. S. Forrageiras: *Brachiaria*, *Panicum* e *Cynodon*. In: José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p. 426-447.

PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C. G. S.; BOOTE, K. J.; LARA, M. A. S.; ALDERMAN, P. D. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. **Field Crops Research**, v. 120, p. 370-379, 2011.

PEDRO JR., M. J. Índices climáticos de crescimento para gramíneas forrageiras no estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 54, n. 2, p. 427-435, 1995.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. 1. ed. Guaíba, RS: Livraria e Editora Agropecuária Ltda, 2002. v. 1, 478 p.

PEZZOPANE, J. R. M.; SANTOS, P. M.; MENDONÇA, F. C.; ARAUJO, L. C. DE ; CRUZ, P. G. da. Dry matter production of Tanzania grass as a function of agrometeorological variables. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (1977. Imprensa), v. 47, p. 471-477, 2012a.

PEZZOPANE, J. R. M. ; SANTOS, P. M. ; BETTIOL, G. M. ; BOSI, C ; PETINARI, I. B. **Zoneamento de aptidão climática para os capins marandu e tanzânia na região sudeste do Brasil**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2012b. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 108.).

PEZZOPANE, J. R. M.; CRUZ, P. G.; SANTOS, P. M.; BOSI, C.; ARAUJO, L. C. Simple agrometeorological models for estimating Guineagrass yield in Southeast Brazil. **International Journal of Biometeorology**, [2013]. Aprovado para publicação.

SANS, L. M. A.; ASSAD, E. D.; GUIMARÃES, D. P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na região centro-oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 527-535, 2001.

SANTOS, P. M. et. al. **Zoneamento de riscos climáticos para a implantação do consórcio milho-capim marandu em municípios do Estado de Minas Gerais**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2010. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 96.). Disponível em: <<http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/070publicacaogratis/documentos/documentos96.pdf>>.

SANTOS, P. M. et al. **Zoneamento de riscos climáticos para o consórcio milho x capim-marandu no Estado de São Paulo: períodos favoráveis para a implantação por município**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2011. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 97.). Disponível em: <<http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/070publicacaogratis/documentos/documentos97.pdf>>.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Centerton, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, v. 8, n. 1).

TONATO, F.; BARIONI, L. G.; PEDREIRA, C. G. S.; DANTAS, O. D.; MALAQUIAS, J. V. Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 522-529, 2010.

VILLA NOVA, N. A.; CARRETERO, M. V.; SCADUA, R. Um modelo de avaliação do crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em termos da ação combinada do fotoperíodo e da temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA 2., 1983, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1983. p. 31-48.

VILLA NOVA, N. A.; DETOMINI, E. R.; DOURADO NETO, D.; PILAU, F. G.; PEDREIRA, C. G. S. Avaliação da produtividade potencial de *Bracharia rusiensis* em função de unidades fototérmicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 3, p. 443-449, 2005.