

Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) para o sorgo granífero no Brasil



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

DOCUMENTOS 254

Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) para o sorgo granífero no Brasil

Daniel Pereira Guimarães
Elena Charlotte Landau
Cícero Beserra de Menezes
Flávio Dessaune Tardin

Esta publicação está disponível no endereço:
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Maria Marta Pastina

Secretário-Executivo
Elena Charlotte Landau

Membros
*Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso
Campanha, Roberto dos Santos Trindade e Maria
Cristina Dias Paes*

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações
Mônica Aparecida de Castro

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Mônica Aparecida de Castro

Foto da capa
*Elena Charlotte Landau
(Lavoura de sorgo em São Miguel de Goiás-GO)*

1ª edição
Publicação digital (2020)

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 Milho e Sorgo

Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) para o sorgo granífero no Brasil /
Daniel Pereira Guimarães ... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo,
2020.

18 p. : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 254).

1. Variação sazonal. 2. Sorghum bicolor. 3. Plantio. 4. Aptidão climática. I. Gui-
marães, Daniel Pereira. II. Landau, Elena Charlotte. III. Menezes, Cicero Beserra
de. IV. Tardin, Flávio Dessaune. V. Série.

CDD 551.6 (21. ed.)

Autores

Daniel Pereira Guimarães

Engenheiro Florestal, Doutor em Ciência Florestal, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

Elena Charlotte Landau

Bióloga, Doutora em Ecologia, Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo

Cícero Beserra de Menezes

Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Fitotecnia, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

Flávio Dessaune Tardin

Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Produção Vegetal / Fitomelhoramento, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

Apresentação

O setor agropecuário contribui com quase $\frac{1}{4}$ do PIB nacional, baseado em grande parte na produção sob regime de sequeiro. A identificação de épocas mais indicadas para o cultivo das espécies agrícolas nos diferentes municípios do País é de grande importância porque contribui para evitar perdas de produtividade e produção. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (**Zarc**) representa uma ferramenta de gestão de risco que orienta sobre as épocas de cultivo de espécies agrícolas em que há menor risco de perda de produtividade, por causa de variações espaço-temporais do clima. Após a validação dos resultados, essas orientações são divulgadas por meio de portarias do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), representando direcionamentos para os agricultores, e subsidiando ações do Proagro e seguro e crédito rural. O **Zarc** é atualizado periodicamente, considerando principalmente melhoramentos genéticos das cultivares em uso, mudanças tecnológicas dos sistemas de produção e melhorias na qualidade e quantidade de séries meteorológicas disponíveis. Este trabalho apresenta as bases metodológicas e os resultados atuais do Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o sorgo granífero, integrando as informações mais recentes, disponíveis sobre os principais fatores que interagem para a identificação de épocas de cultivo/plantio com menores riscos de perda de produtividade por município do Brasil.

Frederico Ozanan Machado Durães

Chefe-geral

Sumário

Introdução	07
O Sorgo Granífero	08
Metodologia	10
O Processo de Modelagem	12
Resultados e Discussão	13
Critérios e Orientações Complementares.....	15
Conclusões	15
Referências	16

Introdução

O setor agropecuário brasileiro contribui para cerca de $\frac{1}{4}$ da formação do Produto Interno Bruto (PIB) do País. De acordo com Miranda (2014), apenas o complexo soja contribui com quase 10% de nossa pauta de exportações, e somos, atualmente, o terceiro país entre os maiores exportadores mundiais de produtos agrícolas. Duarte (2018) reporta que nos últimos 20 anos o setor agropecuário teve contribuição superior a um trilhão de dólares de superávit em nosso comércio exterior, e Barros (2016) cita ainda a importância do setor para o aumento da oferta e a redução dos preços dos alimentos, a segurança alimentar e a diminuição da pobreza. Toda essa pujança do setor agropecuário brasileiro tem sido alcançada, principalmente, pela prática da agricultura de sequeiro. Embora o Brasil detenha cerca de 12% das reservas mundiais de água doce, nossa agricultura irrigada corresponde a menos de 2% da área global. De acordo com Agência Nacional de Águas (2020), 92,5% da água consumida para a produção de alimentos no Brasil é proveniente das chuvas (água verde) e 7,5% derivada de captações em mananciais superficiais e subterrâneos (água azul - irrigação). Esse estudo indicou que, entre os anos de 2013 e 2017, por volta de 37% dos cultivos sob regime de sequeiro foram impactados pela insuficiência de suprimento hídrico, sendo 30% nas fases críticas de crescimento e 7% na fase de colheita. Por outro lado, o cultivo sob sequeiro exerce menor impacto sobre os corpos hídricos e o uso de energia, além de reduzir os custos de produção. Os ganhos em produtividade estão associados aos avanços na qualidade genética das cultivares, com efeitos no rendimento de grãos/planta, porte e arquitetura das plantas, maior resistência aos ataques de pragas e doenças e ciclos de crescimento. Além disso, a escolha da cultura adequada para as condições locais, o uso de sistemas de produção destinados à melhoria da sustentabilidade agrícola, como o plantio direto na palha, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), adubação mineral, adubação verde e a rotação de culturas, contribuem para a melhoria das propriedades físicas, químicas e diversificação da biota no perfil dos solos, para o crescimento da capacidade de retenção da água, o controle de pragas e doenças e o aumento da matéria orgânica e da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) dos solos. Ademais, conta-se com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (**Zarc**), que orienta sobre as épocas de cultivo das espécies em relação às variações espaço-temporais do clima.

*“O Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático (**Zarc**), regido pelo Decreto Nº 9.841/2019, tem por finalidade melhorar a qualidade e a disponibilidade de dados e informações sobre riscos agroclimáticos no Brasil, com ênfase no apoio à formulação, ao aperfeiçoamento e à operacionalização de programas e políticas públicas de gestão. O estudo é elaborado com o objetivo de minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos adversos e permite a cada município identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares”* (Brasil, 2020). As indicações do **Zarc** são ainda orientadoras dos seguros relacionados à proteção dos produtores no caso de perdas por eventos meteorológicos, entre eles o Proagro, Proagro Mais e o Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR). Para fazer jus à recuperação das perdas ocasionadas por fatores climáticos, o produtor precisa ter a apólice do seguro e efetuar o plantio nas épocas indicadas pelo **Zarc**. Desse modo, o **Zarc** contribui para a redução dos riscos de perdas e minimiza os prejuízos financeiros em caso de insucesso da produção agrícola, uma vez que a agricultura de sequeiro é uma atividade de alto risco em função das incertezas associadas aos eventos climatológicos. A estiagem é a principal causa de perdas na safra, que pode ainda ser afetada por vários fatores como geadas, ondas de calor, vendavais e granizo (Monteiro, 2009, 2020).

O Sorgo Granífero

O sorgo granífero, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, é uma planta de origem africana e pertencente à família Poaceae, sendo o quinto cereal mais produzido no globo, superado apenas por trigo, arroz, milho e cevada. O sorgo é classificado em cinco tipos: granífero, forrageiro, sacarino, vassoura e sudanense. O sorgo granífero apresenta porte baixo, com altura de planta até 1,70 m e panícula bem desenvolvida, com alta produção de grãos. São fatores que contribuem para a expansão do cultivo do sorgo no País: a ampla adaptação às condições climáticas, o menor requerimento hídrico, a tolerância à presença de alumínio em solos ácidos, o cultivo totalmente mecanizável e o baixo custo de produção. Além disso, ele contribui para a redução da infestação de nematoides no solo, produz rações de alta qualidade proteica e livres de toxinas e ajuda na formação de palhada de proteção do solo.

De acordo com as estatísticas da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2020), o maior produtor mundial de sorgo granífero em 2018 foram os Estados Unidos, com uma produção de 9,27 milhões de toneladas de grãos. O Brasil aparece em sétimo lugar, com uma produção de 2,27 milhões de toneladas, sendo superado por Nigéria, Sudão, Etiópia, Índia e México. Os levantamentos da Conab para a safra 2019/2020 indicam uma área plantada de 817,9 mil hectares e uma produção de 2.715 mil toneladas de grãos, o que corresponde a uma produtividade média de 3.300 kg/ha (Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Grãos, 2020). Para o Distrito Federal, a produtividade média esperada é de 4.500 kg/ha. Esses resultados refletem o alto potencial produtivo do sorgo granífero, tendo em vista o cultivo em áreas de alto risco para o milho, como as áreas inaptas para o cultivo em segunda safra ou plantios tardios após o cultivo de soja de ciclo tardio. Menezes et al. (2018) mostram que o sorgo tende a apresentar produtividade superior à do milho em plantios realizados a partir do segundo decêndio de fevereiro, e que resultados experimentais indicam produtividades acima de 7.000 kg/ha.

O sorgo apresenta metabolismo do tipo C4, com alta capacidade fotossintética e características que contribuem para a resistência à seca, como o sistema radicular profundo, a alta concentração de pelos absorventes, presença de sílica na endoderme e lignificação no periciclo. Bhattarai et al. (2020) demonstraram a maior eficiência de uso da água pela cultura do sorgo em comparação com o milho. Silva (2011) compila os principais fatores relacionados à resistência do sorgo ao déficit hídrico: sistema radicular profundo, ramificado e desenvolvimento subsuperficial; tolerância da planta em reduzir a atividade metabólica durante o período de estresse hídrico; maior acúmulo de água nas raízes, colmo e bainha do que nas folhas, além da existência de uma camada de cera (cutina), que contribui para a redução da transpiração e desidratação da planta durante as fases críticas, e alta velocidade de crescimento do sistema radicular. De acordo com Magalhães et al. (2012), o sorgo necessita de 330 kg de água para a produção de 1 kg de matéria seca, enquanto o milho requer 370 kg, e o trigo consome 500 kg de água nessa função. A capacidade de adaptação às condições de deficiência hídrica não significa ausência de perdas na produtividade do sorgo granífero. Menezes et al. (2018) avaliaram o impacto do estresse hídrico na fase crítica de enchimento de grãos de 30 genótipos de sorgo granífero no município de Janaúba-MG, integrante da região semiárida brasileira, sendo verificadas perdas de até 50% na produtividade de grãos em relação aos tratamentos de irrigação plena. Apesar de significativas, essas perdas são muito menores que as verificadas pelas culturas tradicionais como o milho e o feijão. Os resultados obtidos por Santana et al. (2017) mostram que a eficiência do uso da água (EUA) do sorgo granífero sob estresse hídrico permaneceu similar ao de irrigação plena, e mesmo sob forte déficit hídrico e altas temperaturas, algumas cultivares apresentaram altas produtividades na região de Teresina-PI.

Os Coeficientes Técnicos de Uso da Água para a Agricultura Irrigada da Agência Nacional de Águas (ANA) indicam Coeficientes de Cultura (K_c) de 0,30, 1,05 e 0,55, respectivamente, para as fases inicial, intermediária e final de crescimento do sorgo granífero. Fonseca Neto (2013), trabalhando com a cultivar de sorgo BRS Ponta Negra em Baixo Açu-RN, determinou o Coeficiente de Cultura em 0,49 para a fase inicial, 0,82 durante o desenvolvimento vegetativo, 1,13 durante o florescimento/frutificação e 0,98 na fase de maturação fisiológica. Tyagi et al. (2000) obtiveram para essas fases de crescimento, respectivamente, os valores de 0,53, 0,82, 1,24 e 0,85, enquanto Oliveira et al. (2014) encontraram valores, respectivamente, de 0,77, 0,93, 1,36 e 1,06 no Rio Grande do Norte. Esses valores são superiores aos normalmente determinados para a cultura do milho. Piccinni et al. (2009), trabalhando com agricultura de precisão no Texas, Estados Unidos, determinaram valores bem inferiores, sendo que o valor máximo de K_c para o sorgo foi de 0,85. Estes autores também determinaram os valores do Coeficiente de Cultivo durante toda a fase de crescimento da cultura em intervalos de 10 dias, o que torna os valores compatíveis com as análises decendiais empregadas pelo **Zarc**. Os menores valores são também compatíveis com as características fisiológicas do sorgo em relação aos mecanismos de adaptação às condições de estresse hídrico e maior eficiência no uso efetivo da água. O excesso de água no solo, que causa limitação da absorção de oxigênio pelas raízes, e o excesso de chuvas afetando a incidência de radiação solar, que contribui para o tombamento das plantas e a incidência de doenças, são fatores que reduzem a produtividade e limitam a viabilidade de cultivo do sorgo.

O sorgo sofre impactos da temperatura que afetam o desenvolvimento das plantas em altura, produção de matéria seca e grãos. Silva e Rocha (2006) avaliaram o comportamento de sorgo forrageiro sob diferentes épocas de plantio no município de Coimbra, Zona da Mata de Minas Gerais, e concluíram que as condições de baixas temperaturas nos meses de inverno contribuem para o aumento da duração do ciclo, redução do porte das plantas e da produtividade. De acordo com os autores, as baixas temperaturas do mês de junho (média de 15 °C) prejudicaram a produção de pólen e resultaram no aumento da esterilidade. Ceccon et al. (2018) reportam os impactos negativos na produtividade de biomassa, teor de sólidos solúveis totais e etanol em cultivos tardios (a partir de março) em Dourados-MS. As temperaturas ideais para o cultivo do sorgo variam entre 16 °C e 38 °C, de acordo com Magalhães et al. (2014) e Bandeira et al. (2016). Visando a determinação das exigências térmicas de sorgo sacarino no Rio Grande do Sul, estes autores encontraram grandes variações na temperatura basal, obtendo valores entre 8,2 °C e 14,8 °C. Batista (2018) reporta perdas na produtividade do sorgo granífero em Teresina-PI, onde temperaturas máximas diárias em torno de 40 °C causaram abortamento das flores. Maulana (2011) mostrou a suscetibilidade do sorgo às baixas temperaturas em relação à cultura do milho, com impactos na germinação, no vigor vegetativo, na incidência de doenças e na produção de matéria seca e grãos. A temperatura basal mais usada para a determinação das somas térmicas do milho é de 10 °C. De acordo com Landau e Sans (2015), o sorgo apresenta melhor adaptação que o milho em solos de textura arenosa.

Os Zoneamentos Agrícolas de Risco Climático, até então efetuados, tratavam o sorgo como cultura única. Tendo em vista os diferenciais de uso e a estatura das plantas, optou-se em avaliar os riscos climáticos envolvidos exclusivamente para o sorgo granífero cujo propósito principal é a produção de grãos. Materiais de maior porte apresentam usos preferenciais para a produção de massa verde para forragem animal ou silagem, produção de álcool ou biomassa. Nesses casos existem diferenciações em relação ao *stand* de plantas, profundidade das raízes, tolerância ao estresse hídrico, Coeficiente de Cultivo (K_c) e duração das fases de crescimento, o que justifica estudos específicos.

Metodologia

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (**Zarc**) envolve a análise espaço-temporal simultânea de parâmetros relacionados a clima, solo e planta. Os estudos dependem de uma sólida base de dados climatológicos que permita gerar informações sobre a pluviometria, a temperatura e a evapotranspiração; parâmetros do solo indicativos da profundidade e capacidade de retenção de água, e os requerimentos das culturas durante as fases de crescimento.

O banco de dados climatológicos com séries históricas consistentes é formado a partir das redes de estações terrestres do Inmet, HidroWeb operado pela Agência Nacional de Águas, Inpe, redes climatológicas estaduais, agências públicas e privadas, séries geradas por processos interpolativos (Xavier et al., 2016) e bases geradas a partir de sensoriamento remoto. As séries pluviométricas incluem cerca de 3.500 estações em todo o território nacional com pelo menos 15 anos de dados diários sendo que a maioria tem cerca de 30 anos de dados íntegros. A análise de consistência inclui a retirada de dados espúrios, o preenchimento de falhas e a coerência com os padrões de pluviosidade local.

Embora o sistema radicular atinja profundidades superiores a 1,5 m, cerca de 80% das raízes ficam concentradas nas camadas superficiais do solo até 30 cm de profundidade. As raízes mais profundas são importantes para suportar as deficiências hídricas, e as raízes superficiais são capazes de atingir extensão lateral de até 2 metros, e contribuem para a absorção de nutrientes. A padronização da profundidade efetiva máxima da exploração do solo pelas raízes determina o volume de água disponível para a cultura quando os solos atingem a capacidade de campo (Capacidade de Água Disponível - CAD), a qual é de 35 mm para os solos de textura arenosa, 55 mm para os solos de textura média e 75 mm para os solos argilosos.

A Tabela 1 indica os parâmetros indicativos das condições hídricas dos solos e em função da textura e zona explorada pelas raízes.

Tabela 1. Reserva útil de água dos solos para o cultivo do sorgo granífero.

Solo	Armazenamento (mm/m)	Profundidade Efetiva (m)	CAD (mm)
Tipo 1 – Textura Arenosa	70	0,50	35
Tipo 2 – Textura Média	110	0,50	55
Tipo 3 – Textura Argilosa	150	0,50	75

O processo de modelagem depende do tempo que a cultura fica exposta aos riscos climáticos, os quais variam em função da duração do ciclo de produção e fases fenológicas. A duração do ciclo permite a discriminação de cultivares de ciclo precoce, normal e tardio. A Tabela 2 apresenta o ciclo de crescimento do sorgo granífero e a duração das fases de germinação e estabelecimento (Fase 1), crescimento vegetativo (Fase 2), florescimento e frutificação (Fase 3) e maturação fisiológica (Fase 4). Para fins de modelagem são consideradas as fases mais críticas, como a Fase 1, quando o estresse hídrico poderá comprometer o estabelecimento da cultura, e a Fase 3, quando a demanda hídrica é máxima para garantir a produtividade potencial da cultura.

Tabela 2. Duração do ciclo (dias) e fases fenológicas do sorgo granífero adotadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc).

Ciclo (dias)	Intervalos do Ciclo (dias)	Fase 1: germinação e estabelecimento das plantas	Fase 2: crescimento vegetativo	Fase 3: florescimento e frutificação	Fase 4: maturação fisiológica
100	90 – 110	20	30	35	15
120	111 – 130	20	35	45	20
140	≥ 131	20	45	55	20

A necessidade hídrica das plantas por água varia em função da demanda evaporativa, que está relacionada às condições atmosféricas e varia em função de temperatura, umidade relativa, ventos, pressão atmosférica e radiação solar incidente na superfície terrestre. O tipo de solo e o grau de cobertura também interferem nesse processo. Diferentes espécies apresentam diferentes taxas de evapotranspiração ao longo das fases de crescimento. O Coeficiente de Cultura (Kc) indica a demanda de água pela planta em relação a uma cultura hipotética (padrão), em que a evapotranspiração é coincidente com a evapotranspiração potencial. A Tabela 3 apresenta os Coeficientes de Cultura decendiais para o sorgo granífero usados no processo de modelagem do balanço hídrico sequencial.

Tabela 3. Coeficientes de Cultura (Kc) para o sorgo granífero em relação aos ciclos de crescimento.

Ciclo (dias)	Decêndios													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
100	0,43	0,47	0,56	0,69	0,78	0,82	0,84	0,84	0,80	0,64				
120	0,42	0,47	0,55	0,67	0,77	0,82	0,84	0,85	0,85	0,83	0,75	0,60		
140	0,42	0,46	0,54	0,66	0,76	0,82	0,84	0,85	0,85	0,85	0,84	0,82	0,74	0,61

O estabelecimento de níveis críticos para o atendimento das necessidades hídricas do sorgo granífero teve como base a probabilidade de suprimento da demanda durante as fases de estabelecimento e produção de grãos. A fase inicial é de grande importância para a determinação da data de plantio por condicionar o estabelecimento da cultura ao suprimento hídrico em pelo menos 60% da capacidade de campo. A Fase 3, relacionada ao florescimento e à produção de grãos, determina que pelo menos 45% da necessidade hídrica seja atendida. Os riscos de não atendimento às demandas hídricas foram classificados com 20%, 30% e 40% de probabilidade para os decêndios de plantio. Valores superiores indicaram a condição de inapta para cultivo.

Tabela 4. Critérios para Classificação de Riscos Hídricos nas Fases 1 (estabelecimento) e 3 (produção de grãos) do sorgo granífero, de acordo com o ISNA (Índice de Satisfação de Necessidade de Água).

Limite crítico	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV
ISNA ≥	0,6	-	0,45	-

Os critérios de classificação para os riscos térmicos também se basearam na probabilidade de ocorrência de geadas durante as fases de crescimento e de produção do sorgo granífero com frequências de 20%, 30% e 40%. Considerou-se haver a ocorrência de geada sempre que a temperatura mínima no abrigo meteorológico fosse inferior a 2 °C. Como critérios auxiliares de classificação foram usadas as temperaturas inferiores ou superiores aos limites térmicos de adaptação da cultura durante o ciclo de crescimento. Os limites definidos para o sorgo granífero foram $T_{Min} < 12$ °C e $T_{Max} > 38$ °C.

O Processo de Modelagem

A avaliação da disponibilidade hídrica para o sorgo granífero durante as fases críticas de demanda hídrica (Fase 1 - germinação e estabelecimento e Fase 3 - florescimento e enchimento de grãos) foi efetuada pela relação entre a evapotranspiração real (ET_r) e a evapotranspiração máxima (ET_M), cuja razão indica o Índice de Satisfação da Necessidade de Água - ISNA, o qual varia entre 0 (zero), que corresponde à falta total de suprimento hídrico para as necessidades fisiológicas da cultura, até 1 (valor unitário), no qual inexistente estresse hídrico. A determinação do ISNA depende de precipitação pluviométrica, capacidade de água disponível no solo ao alcance das raízes, evapotranspiração de referência (máxima), Coeficiente de Cultivo (K_c) e duração dos ciclos fenológicos. Tendo em vista a limitação das séries históricas de dados climatológicos para a determinação da Evapotranspiração de Referência de Penman-Monteith, utilizou-se o Método de Hargreaves e Samani adaptado e calibrado para a estimativa da evapotranspiração de referência diária com calibração e validação para todas as regiões do Brasil. O balanço hídrico da cultura foi calculado, para todas as séries históricas de dados pluviométricos com simulações de datas decendiais de plantio, através do uso do Módulo SARRAZON do programa *Systeme d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques* (SARRA), desenvolvido pelo Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento (CIRAD) da França. As restrições definidas pelo excesso de água no solo foram determinadas pela probabilidade de ocorrência de mais de seis dias/decêndio com a ocorrência de chuvas acima de 5 mm na fase de maturação fisiológica. As simulações através do SARRAZON para o cálculo do Índice de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA) foram realizadas para a rede de 3.500 estações pluviométricas, integrando os parâmetros das culturas, níveis de risco, tipos de solo e decêndio de plantio, o que envolveu cerca de 4,5 milhões de simulações.

Resultados e Discussão

Nas saídas (*output*) geradas através do Módulo SARRAZON (CIRAD), restrições pelo excesso de chuvas e condições térmicas passaram por um processo interpolativo (krigagem) para a geração de mapas indicativos dos riscos de insucesso do cultivo em todo o território brasileiro para datas de plantio correspondentes aos 36 decêndios do ano e extração desses valores para cada município do País.

A Figura 1 ilustra alguns resultados obtidos pelo zoneamento agrícola de risco climático para a cultura do sorgo granífero no Brasil. Nesse caso foram considerados plantios de variedades de ciclo precoce (100 dias), solos de textura média e plantios no segundo decêndio (entre os dias 10 e 20) dos meses de setembro, outubro, novembro, dezembro, fevereiro e março¹.

A interpretação desses resultados mostra que os plantios em setembro apresentam baixo risco, principalmente no estado do Amazonas. Nos estados da Região Sul (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) os riscos são elevados nas regiões de temperaturas mais baixas. O sul do Mato Grosso do Sul e de São Paulo e a região litorânea não apresentam impedimentos de natureza hídrica ou térmica para cultivos nessa época. Plantios no mês de outubro mostram baixos riscos para os estados do Sul, exceto no Planalto Serrano Catarinense, região mais fria do Brasil. São Paulo e Mato Grosso do Sul também apresentam boas condições de cultivo de baixo risco. Para as regiões produtoras de grãos de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, o excesso de chuvas durante todo o ciclo reflete as restrições impostas por excesso de água, o que pode contribuir para a ocorrência de pragas e doenças. Condição similar ocorre para os cultivos nos estados da Região Norte. Nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, as restrições se devem à deficiência hídrica. Os riscos relacionados aos plantios entre dezembro e janeiro apresentam certa similaridade, sendo baixos nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, em boa parte dos estados do Maranhão e do Piauí, no Norte, e apresentando restrições no Semiárido nordestino. A partir de fevereiro, os plantios nas regiões de altitude do Paraná, de Santa Catarina, do Rio Grande do Sul e do Sul de Minas ficam inviabilizados em função das baixas temperaturas no final do ciclo. Nessa época, os estados do Ceará, Piauí e Maranhão apresentam riscos abaixo de 20% para a maioria dos municípios. Nas áreas situadas no Hemisfério Norte (principalmente em Roraima), a limitação ocorre em função do déficit hídrico. No Amapá e na região da Ilha de Marajó, no Pará, o excesso hídrico é o fator limitante para o cultivo do sorgo granífero. A partir do segundo decêndio de março, na maioria das regiões produtoras de grãos de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, o cultivo fica inviabilizado em função da forte estiagem durante as fases finais de crescimento. As restrições térmicas inviabilizam os cultivos nas regiões onde o inverno apresenta baixas temperaturas. Áreas de baixo risco situam-se no estado do Paraná, nas mesorregiões Norte Central Paranaense, Noroeste Paranaense, Centro Ocidental Paranaense e Oeste Paranaense. O mesmo ocorre nas áreas meridionais do estado de São Paulo. Praticamente todo o estado do Mato Grosso do Sul apresenta riscos abaixo de 20% para os cultivos efetuados no segundo decêndio de março. Nessa época aparecem, também com baixos riscos, as áreas litorâneas dos estados do Rio Grande do Norte, da Paraíba e de Pernambuco.

¹ O zoneamento agrícola gera informações com indicações de riscos a cada 10 dias (decenal) em função do ciclo da cultura e tipo de solo. Os resultados disponibilizados nas portarias do Mapa e no aplicativo Plantio Certo incorporam todas essas possibilidades. Para fins ilustrativos optou-se por incluir no trabalho alguns mapas representativos do impacto do clima nas datas indicadas para plantio. Deu-se preferência à incorporação de mapas referentes aos meses de setembro a março para incluir os impactos das épocas mais críticas ao desenvolvimento da cultura. Cultivos em setembro sofrem impactos do frio no Sul do País e da falta de chuvas nas regiões Sudeste e Centro-Oeste. Cultivos em fevereiro e março sofrem impactos da estiagem e do frio nas fases críticas do ciclo de crescimento nessas regiões e apresentam as melhores épocas para plantio em regiões do Nordeste. Os riscos apresentados para plantio em dezembro e janeiro são muito similares em quase todo o País. Desse modo, a escolha dos meses para inclusão nos mapas de risco se deu a partir de critérios técnicos e teve como objetivo mostrar as mudanças ao longo dos meses do ano além de procurar englobar as principais épocas de cultivo do sorgo granífero no Brasil tanto na safra como na safrinha.

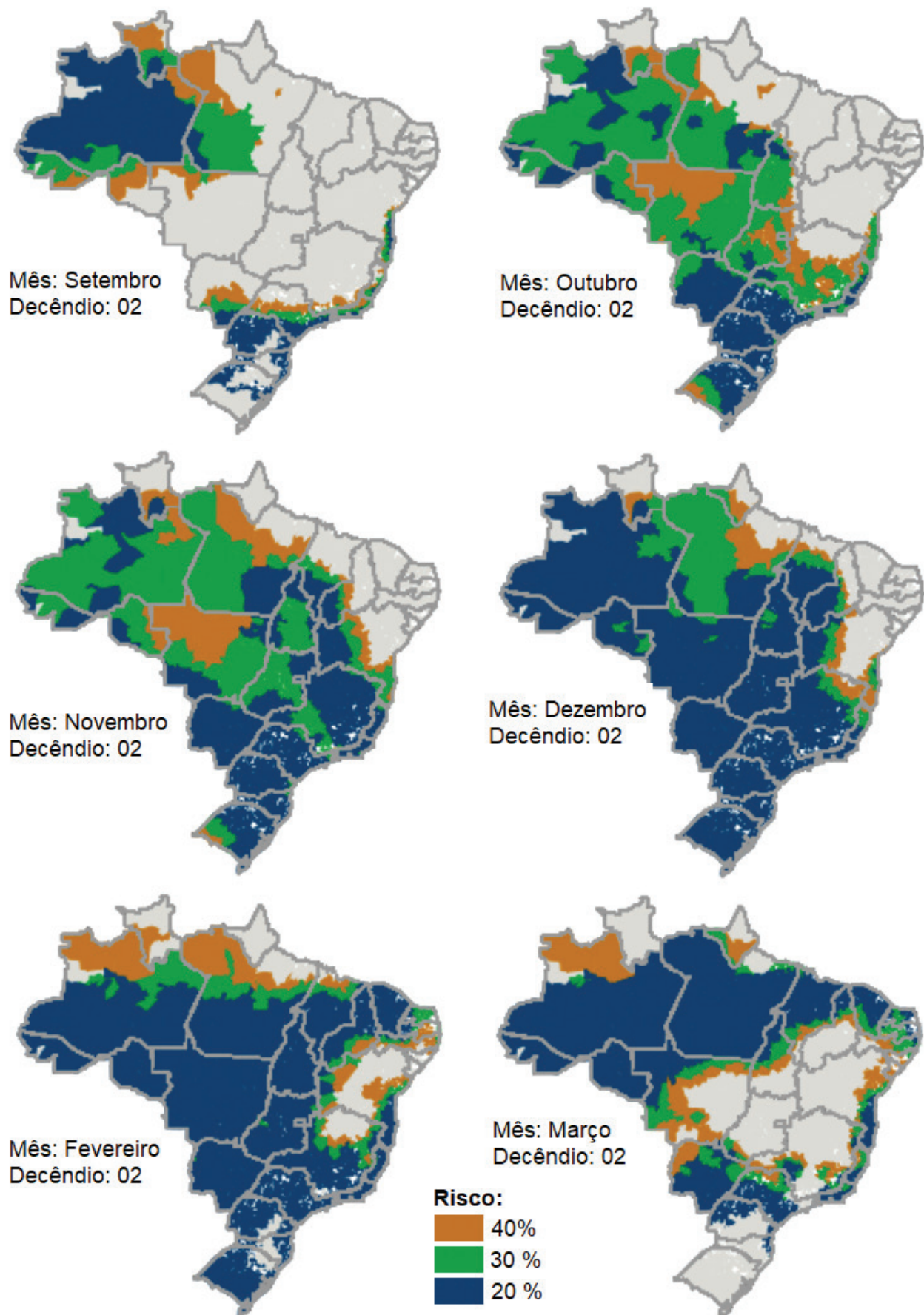


Figura 1. Simulações dos riscos associados ao cultivo de sorgo granífero de ciclo precoce em solos de textura média em diferentes épocas de plantio (segundo decêndio dos meses de setembro, outubro, novembro, dezembro, fevereiro e março).

Os resultados para todos os municípios brasileiros, incluindo os diferentes ciclos de crescimento, tipos de solo e os 36 decêndios, são disponibilizados através do Servidor de Mapas Micura (WebGIS) da Embrapa Informática Agropecuária, e as tabelas são disponibilizadas pelo Mapa e pelo aplicativo para celular **Plantio Certo/Embrapa**, o qual roda em ambos os sistemas operacionais, Android e IOS.

Critérios e Orientações Complementares

- a) Os resultados do **Zarc** são gerados considerando um manejo agrônômico adequado para o bom desenvolvimento, crescimento e produtividade da cultura, compatível com as condições de cada localidade. Falhas ou deficiências de manejo de diversos tipos, desde a fertilidade do solo até o manejo de pragas e doenças ou escolha de cultivares inadequadas para o ambiente edafoclimático, podem resultar em perdas graves de produtividade ou agravar perdas geradas por eventos meteorológicos adversos. Nesse contexto, é indispensável: 1 - Utilizar sempre tecnologia de produção adequada para a condição edafoclimática; 2 - Controlar efetivamente as plantas daninhas durante o cultivo; 3 - Adotar práticas de manejo, tais como controle de pragas e doenças, e correções físico-químicas do solo (fertilidade e descompactação dos solos).
- b) Não são indicadas para o cultivo do sorgo granífero as áreas com solos que apresentam profundidade inferior a 0,5 m ou com solos de ocorrência em várzeas inundadas com baixa capacidade de drenagem, ou ainda muito pedregosos, isto é, solos nos quais calhaus e matacões ocupem mais de 15% da massa e/ou da superfície do terreno.
- c) Não são indicadas para o cultivo de sorgo granífero as áreas de preservação obrigatória, de acordo com a legislação vigente. Segundo o Novo Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012), são consideradas áreas rurais consolidadas aquelas com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio.
- d) Todas as atividades econômicas e de uso e ocupação do solo devem seguir as diretrizes estabelecidas no Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) de cada estado.
- e) Como o **Zarc** está direcionado ao plantio de sequeiro, as lavouras irrigadas não estão restritas aos períodos de plantio indicados nas Portarias, cabendo observar as indicações de instituições de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) oficial para as condições específicas de cada agroecossistema.
- f) Ficam indicadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático - **Zarc**, para a cultura do sorgo granífero nos estados, as cultivares registradas no SISZARC da Secretaria de Política Agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - SPA/Mapa, atendidas as indicações das regiões de adaptação, em conformidade com as recomendações dos obtentores/detentores (mantenedores) vegetais no Brasil. Informações específicas sobre as cultivares indicadas devem ser obtidas com os respectivos obtentores/mantenedores.
- g) Devem ser utilizadas no plantio sementes produzidas em conformidade com a Legislação Brasileira sobre Sementes e Mudas (Lei nº 10.711, de 5 de agosto de 2003, e Decreto nº 5.153, de 23 de agosto de 2004).

Conclusões

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (**Zarc**) é dinâmico e está sempre em processo de aperfeiçoamento. Os resultados são impactados pelos ganhos advindos da melhoria dos sistemas de produção e qualidade genética das cultivares em uso. Na maioria das culturas destinadas à produção de grãos tem sido verificada a tendência de redução do ciclo de crescimento e aumento na tolerância ao impacto de estresses relacionados ao clima. A melhoria da qualidade e quantidade das séries meteorológicas impacta diretamente na qualidade do processo de modelagem. Ainda são pouco conhecidos os impactos climáticos sobre as alterações nas fases de crescimento do sorgo granífero, especialmente em relação às baixas temperaturas. O mesmo se dá em relação à dinâmica da água nos solos. Os estudos de impacto das condições climáticas sobre a produtividade do sorgo granífero são fundamentais para a definição das perdas acarretadas por estresses climáticos. A inclusão de restrições térmicas e excedente hídrico permitiu identificar áreas de riscos de perdas em função da intolerância da cultura às baixas temperaturas e aos riscos de ataques de doenças em função do excesso de umidade. A opção de fazer o zoneamento específico para sorgo granífero permitiu o uso de parâmetros relacionados com uma menor demanda hídrica em relação aos materiais de grande porte. O sorgo granífero apresenta melhor potencial para cultivo em áreas sem restrições térmicas, causadas pelas baixas temperaturas, e maior aptidão para cultivos em segunda safra em áreas de maiores riscos de déficit hídrico. O estado do Mato Grosso do Sul apresenta menores riscos climáticos para plantios mais tardios em relação aos demais estados da região Centro-Oeste. A época ideal de cultivo do sorgo granífero no Brasil é altamente impactada pelas condições climáticas locais.

Referências

- ACOMPANHAMENTO da Safra Brasileira [de] Grãos, v. 7, safra 2019/20, junho 2020: nono levantamento. Brasília, DF: Conab, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 10 ago. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Uso da água na agricultura de sequeiro no Brasil (2013-2017)**. Brasília, DF, 2020. 63 p.
- BANDEIRA, A. H.; MEDEIROS, S. L. P.; EMYGDIO, B. M.; BIONDO, J. C.; SILVA, N. G.; LEAL, L. T. Temperatura base inferior e exigência térmica de genótipos de sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 240-250, 2016.
- BARROS, G. S. de C. Medindo o crescimento do agronegócio: bonança externa e preços relativos. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Org.). **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília, DF: Ipea, 2016. p. 219-249.
- BATISTA, P. S. C. **Tolerância ao estresse hídrico em sorgo granífero**. 2018. 87 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.
- BHATTARAI, B.; SINGH, S.; WEST, C. P.; RITCHIE, G. L.; TROSTLE, C. L. Water depletion pattern and water use efficiency of forage sorghum, pearl millet, and corn under water limiting condition. **Agricultural Water Management**, v. 238, n. 1, article 106213, 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento Agrícola**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/zoneamento-agricola>>. Acesso em: 20 set. 2020.

CECCON, G.; MAKINO, P. A.; ALVES, V. B.; FACHINELLI, R.; LUZ, R. A. Produtividade de cultivares de sorgo sacarino em diferentes épocas de semeadura e tipos de solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 2, p. 69-75, abr./jun. 2018.

DUARTE, B. D. A dinâmica agricultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. 1, n. 3, p. 131-132, jul./set. 2018.

FAO. **FAOStat - Food and agriculture data**: crops. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

FONSECA NETO, J. **Evapotranspiração, crescimento e produção do sorgo em cultivo irrigado na região do baixo Açu - RN**. 2013. 87 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semiárido - UFRS, Mossoró, RN, 2013.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. Clima. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 2). Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 24 ago. 2020.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Ecofisiologia e cultivo do sorgo. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 8. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 2).

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. de; MAY, A.; FILHO, O. F. de L.; SANTOS, F. C. dos; MOREIRA, J. A. A.; LEITE, C. E. do P.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FREITAS, R. S. de. Exigências edafoclimáticas e fisiologia da produção. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA, R. (Ed.). **Sorgo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2014. p. 58-88.

MAULANA, F. **Analysis of cold tolerance in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]**. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Kansas State University, Manhattan, 2011.

MENEZES, C. B. de; COELHO, A. M.; SILVA, A. F. da; SILVA, D. D. da; MENDES, S. M.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; RODRIGUES, J. A. S. É possível aumentar a produtividade de sorgo granífero no Brasil? In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 32., 2018, Lavras. **Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil**: livro de palestras. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2018. cap. 4, p. 106-139.

MIRANDA, R. O agronegócio da soja no Brasil: do estado ao capital privado. **Novos Rumos Sociológicos**, v. 1, n. 2, p. 122-141, 2014.

MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p.

MONTEIRO, J. E. B. A. Zoneamentos de uso agrícola. In: LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. P. (Ed.). **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas**: cenário histórico, divisão política, características demográficas, socioeconômicas e ambientais. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, cap. 7, p. 179-190. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1122544>>. Acesso em: 30 set. 2020.

OLIVEIRA, A. F. M.; SILVA, J. E.; SOBRINHO, J. B. R.; MEDEIROS, J. F.; NETO, J. F. Necessidades hídricas e desenvolvimento do sorgo nas condições do semiárido brasileiro. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2., 2014, Fortaleza. **Anais...** Piracicaba: INOVAGRI: INCT-EI: INCTSA, 2014. p. 1388-1393.

PICCINNI, G.; KO, J.; MAREK, T.; HOWELL, T. Determination of growth-stage-specific crop coefficients (KC) of maize and sorghum. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 12, p. 1698-1704, 2009.

SANTANA, M. C. B.; EDSON ALVES BASTOS, E. B.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; TARDIN, F. D.; MENEZES, C. B. Produtividade de grãos e parâmetros fisiológicos de sorgo granífero sob deficiência hídrica e irrigação plena. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 361-372, 2017.

SILVA, A. G.; ROCHA, V. S. Avaliação dos estágios fenológicos de cultivares de sorgo forrageiro em diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 2, p. 113-121, 2006.

SILVA, M. L. **Avaliação de genótipos de sorgo forrageiro na zona da mata de Alagoas**. 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2011.

TYAGI, N. K.; SHARMA, D. K.; LUTHRA, S. K. Evapotranspiration and crop coefficients of wheat and sorghum. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 126, n. 4, p. 215-222, 2000.

XAVIER, A. C.; KINGB, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016.

Embrapa

Milho e Sorgo

DOCUMENTOS 254



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

