

RESUMO - O arroz é plantado em praticamente todos os estados do país, em latitudes que variam desde 5° Norte até 33° Sul, sendo uma das culturas mais afetadas por condições climáticas adversas. Neste capítulo objetivou-se caracterizar a influência do fotoperíodo, da temperatura, da radiação solar, da chuva e das necessidades de água sobre o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do arroz, sendo também destacadas algumas maneiras de minimizar os efeitos adversos desses fatores. Em princípio, o fotoperíodo não é um fator limitante quando o arroz é cultivado na época normal, primavera/verão. Entretanto, pode tornar-se um problema, caso as cultivares não sejam adaptadas para semeaduras em outras épocas do ano. O mesmo princípio é válido para os efeitos da temperatura sobre o arroz de terras altas na região dos Cerrados. Para o arroz irrigado do Rio Grande do Sul, a ocorrência de baixas temperaturas durante o período reprodutivo é um dos problemas mais importantes e o risco de ocorrência de frio é maior na região sul do estado. A quantidade de radiação solar disponível durante o ciclo da cultura, em princípio, não é um fator limitante para o arroz de terras altas, principalmente considerando os níveis médios atuais de produtividade, que estão em torno de 2.434 kg ha⁻¹. Entretanto, para o arroz irrigado deve ser buscada maior eficiência de utilização da radiação solar, caso se pretenda atingir produtividades superiores a 5.000 kg ha⁻¹, conforme as obtidas, em média, nos últimos anos, no Rio Grande do Sul. Para o arroz de terras altas, particularmente na região dos Cerrados, a deficiência hídrica é o principal problema. Ela é causada pela ocorrência de estiagens prolongadas, veranicos, associada aos baixos níveis de fertilidade e às práticas inadequadas de preparo do solo. A deficiência hídrica é a principal responsável pela baixa produtividade e instabilidade de produção do arroz de terras altas. O zoneamento agroclimático vem sendo considerado uma importante ferramenta para minimizar esse problema, pela identificação das regiões e/ou épocas de semeadura com menores riscos de ocorrência de deficiência hídrica.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o arroz é uma das culturas mais influenciadas pelas condições climáticas. Em geral, quando as exigências da cultura são satisfeitas, obtêm-se bons níveis de produtividade. Entretanto, quando isso não ocorre, pode-se esperar frustrações de safras, que serão proporcionais à duração e à intensidade das condições meteorológicas adversas. Essa cultura é submetida a condições climáticas bastante distintas, pelo fato de ser plantada em praticamente todos os estados, em latitudes que variam desde 5° Norte até 33° Sul.



Dentre os problemas de origem climática da cultura do arroz no Brasil, destacam-se a ocorrência de baixas temperaturas durante o período reprodutivo do arroz irrigado nos estados do sul, em particular no Rio Grande do Sul, e a ocorrência de estiagens, veranicos, na região dos Cerrados, causando deficiência hídrica no arroz de terras altas. Neste capítulo são abordados os principais elementos climáticos que afetam a produtividade da cultura do arroz, como o fotoperíodo, a temperatura, a radiação solar, a chuva e os requerimentos de água da planta de arroz. Também são destacadas as questões da deficiência hídrica e do zoneamento agroclimático. Em cada um desses tópicos, procurou-se caracterizar as exigências da cultura em função dos sistemas de cultivo em várzeas e em terras altas, seus efeitos sobre a produtividade e as alternativas para minimizar a influência adversa desses fatores. Será dada maior ênfase ao Rio Grande do Sul e à região dos Cerrados, pelo fato de representarem as principais regiões produtoras de arroz do país, respectivamente, em várzeas e em terras altas.

FOTOPERÍODO

A duração do dia, definida como o intervalo entre o nascer e o pôr-do-sol, é conhecida como **fotoperíodo**. A resposta da planta ao fotoperíodo é denominada **fotoperiodismo**. Sendo o arroz uma planta de dias curtos, dias de curta duração, 10 horas, encurtam o seu ciclo, antecipando a floração.

Yoshida (1981) caracteriza bem os principais aspectos relacionados à sensibilidade da cultura do arroz ao fotoperíodo. Os pontos que merecem destaque são: a) a fase de desenvolvimento vegetativo do arroz pode ser dividida em **fase vegetativa básica (BVP)** e **fase sensível ao fotoperíodo (PSP)**. A PSP de cultivares insensíveis ao fotoperíodo é menor do que 30 dias; a das cultivares sensíveis ao fotoperíodo é maior do que 31 dias; b) o **fotoperíodo ótimo** é considerado o comprimento do dia no qual a duração da emergência até a floração é mínima. O fotoperíodo ótimo, para a maioria das cultivares, é entre 9 e 10 horas; c) o **fotoperíodo crítico** é o maior fotoperíodo no qual a planta irá florescer ou o fotoperíodo além do qual a planta não irá florescer; d) a reação das plantas de arroz ao fotoperíodo pode ser classificada em: d.1) **Insensível**: quando a PSP é curta, inferior a 30 dias, e a BVP varia de curta a longa; d.2) **Pouco sensível**: aumento acentuado no ciclo da planta quando o fotoperíodo é maior do que 12 horas; a duração da PSP pode exceder 30 dias, mas a floração irá ocorrer em qualquer fotoperíodo longo; d.3) **Muito sensível**: grande aumento no ciclo com o incremento no fotoperíodo; não há florescimento além do fotoperíodo crítico; a BVP é, normalmente, pequena, não mais do que 40 dias.



Ainda de acordo com Ycshida (1981), dentre as principais implicações agrônômicas do fotoperiodismo sob condições tropicais, destacam-se as seguintes: a) as cultivares insensíveis ao fotoperíodo podem florescer e amadurecer durante todo o ano, desde que não haja limitações quanto à temperatura e ao suprimento de água. Assim, o uso dessas cultivares permite um planejamento mais flexível de utilização da área, propiciando mais de um cultivo de arroz por ano ou a rotação com outras culturas; b) as cultivares sensíveis ao fotoperíodo podem ser úteis em determinadas situações de ambiente, como é o caso do arroz flutuante, em certos países da Ásia, em que o arroz é semeado antes das enchentes e colhido cerca de 180 - 200 dias após a semeadura, quando as águas baixam de nível. Essas cultivares também podem ser úteis como um mecanismo de escape, quando há o retardamento do início da estação chuvosa. Na maior parte da Ásia tropical, o início da estação chuvosa é imprevisível, variando de um ano para o outro. Assim, quando semeada tardiamente, uma cultivar sensível ao fotoperíodo permite ser colhida na época normal, desconsiderando o encurtamento dos períodos de crescimento.

Alluri & Vergara (1975) mostram que cultivares de arroz de terras altas sensíveis ao fotoperíodo, de ciclo médio ou longo, são mais indicadas do que cultivares de ciclo curto, para localidades com regime bimodal de chuvas, como é o caso das áreas situadas no norte da Tailândia e do Sri Lanka. Nesse estudo, a cultivar brasileira IAC 1246 foi considerada insensível ao fotoperíodo.

O arroz é cultivado em praticamente todos os estados do Brasil, em latitudes que variam desde 5° Norte até 33° Sul. Naturalmente, há diferenças acentuadas na duração máxima do dia, que varia de aproximadamente 12 horas, próximo ao Equador, até mais de 14 horas, no extremo sul do país. Apesar disso, existem relativamente poucos estudos relacionados com o fotoperíodo. Aparentemente, os primeiros resultados práticos foram relatados por Mota & Gomes (1971), indicando que as cultivares IR 8 e IR 5, desenvolvidas no International Rice Research Institute - IRRI, nas Filipinas, quando semeadas em Pelotas, RS, mostraram ciclos excessivamente longos devido ao fotoperíodo de mais de 14 horas, característico na estação de cultivo de arroz na região. Novas cultivares, especialmente selecionadas no IRRI para estas condições fotoperiódicas, foram introduzidas na região, mostrando boa adaptabilidade e alta produtividade. Esse fato motivou pesquisadores da Universidade Federal de Pelotas - UFPel, da Embrapa e do Instituto Riograndense do Arroz - Irga, a fazerem novas introduções, que resultaram no lançamento de diversas cultivares hoje utilizadas no Rio



Grande do Sul, tais como: BR-Irga 409, BR-Irga 410, BR-Irga 412, BR-Irga 413, BR-Irga 414, Embrapa 6-Chuí, Embrapa 7-Taím e Irga 416 (Mota & Zahler, 1994).

Na região central do Brasil, Bueno et al. (1981) verificaram que a necessidade ótima de luz é de 9 e 10 horas e que as cultivares em uso eram insensíveis ao fotoperíodo. Na região amazônica são utilizadas cultivares sensíveis ao fotoperíodo, devido ao período chuvoso ser muito prolongado (Fageria, 1989).

De um modo geral, pode-se dizer que, para as principais regiões produtoras do país, o fotoperíodo não chega a ser um fator limitante, observando-se as épocas recomendadas de semeadura. Isso porque, no processo de adaptação e/ou criação de novas cultivares são selecionadas aquelas que apresentam comprimentos de ciclo compatíveis com as características fotoperiódicas da região. Entretanto, o fotoperíodo pode ser um fator limitante, quando se pretende produzir arroz fora das épocas tradicionais de cultivo.

TEMPERATURA

Exigências da cultura

A temperatura é um dos elementos climáticos de maior importância para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura do arroz. Cada fase fenológica tem a sua temperatura crítica ótima, mínima e máxima (Tabela 5.1).

Tabela 5.1. Temperaturas críticas mínima, máxima e ótima para o crescimento e o desenvolvimento do arroz.

Fases de desenvolvimento	Temperatura crítica (°C) ⁽¹⁾		
	Mínima	Máxima	Ótima
Germinação	10	45	20 - 35
Emergência e estabelecimento da plântula	12 - 13	35	25 - 30
Desenvolvimento da raiz	16	35	25 - 28
Alongamento da folha	7 - 12	45	31
Perfilhamento	9 - 16	33	25 - 31
Diferenciação do primórdio floral	15	35	25 - 30
Emergência da panícula	15 - 20	38	25 - 28
Antese	22	35	30 - 33
Maturação	12 - 18	30	20 - 25

⁽¹⁾ Refere-se à temperatura média diária do ar, com exceção para germinação.

Fonte: Yoshida (1981).



A temperatura ótima para o desenvolvimento do arroz situa-se entre 20 e 35°C (Yoshida, 1981). Em geral, a cultura exige temperaturas relativamente elevadas da germinação à maturação, uniformemente crescentes até a floração, antese, e decrescentes, porém sem abaixamentos bruscos, após a floração. As faixas de temperatura ótima variam de 20 a 35°C para a germinação, de 30 a 33°C para a floração e de 20 a 25°C para a maturação (Tabela 5.1). O arroz não tolera temperaturas excessivamente baixas nem excessivamente altas. Entretanto, a sensibilidade da cultura varia, tanto para baixa como para alta, em função da fase fenológica.

A planta é mais sensível às baixas temperaturas na fase de pré-floração ou, mais especificamente, na microsporogênese (Satake, 1976). Para fins práticos, Yoshida (1981) sugere que o período de 14 a 7 dias antes da emissão das panículas, período esse conhecido como *emborrachamento*, seja considerado como o mais sensível às baixas temperaturas. A segunda fase mais sensível é a floração. Com base nos dados apresentados na Fig. 5.1 verifica-se que, para uma mesma temperatura, a porcentagem de esterilidade de espiguetas é mais alta durante a pré-floração do que durante a floração.

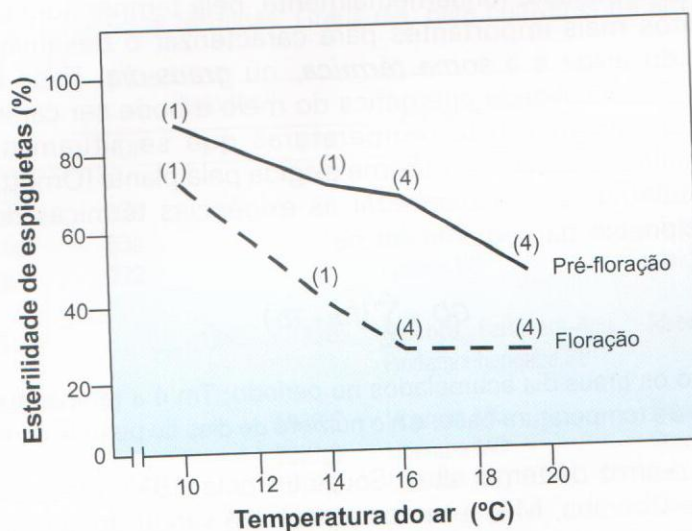


Fig. 5.1. Efeito da temperatura do ar a 10, 12, 14, 16 e 19,5°C, durante as fases de pré-floração e floração, sobre a fertilidade de dez genótipos de arroz irrigado. Embrapa-CPATB, RS – 1984.
() N° de genótipos.

Fonte: Terres & Galli (1985).

Nishiyama et al. (1969) mostram que a faixa crítica de temperatura para induzir esterilidade no arroz é de 15 a 17°C para os genótipos altamente tolerantes ao frio e de 17 a 19°C para os genótipos sensíveis. Com base nesses resultados, Satake (1976) infere que devem ocorrer



altos índices de esterilidade para esses dois grupos de genótipos abaixo das temperaturas críticas de 15 e 20°C.

Existe uma grande diferença entre genótipos em relação à tolerância ao frio, sendo que, em geral, as cultivares do grupo *Japonica* são mais tolerantes do que as do grupo *Indica*. Entretanto, foi verificado em alguns trabalhos que algumas cultivares do grupo *Indica* são tão ou mais tolerantes às baixas temperaturas, durante o emborrachamento, que as cultivares mais tolerantes do grupo *Japonica* (Yoshida, 1981).

A ocorrência de altas temperaturas diurnas, superiores a 35°C, também pode causar esterilidade de espiguetas. A fase mais sensível do arroz a altas temperaturas é a floração. A segunda fase mais sensível é a pré-floração ou, mais especificamente, cerca de nove dias antes da emissão das panículas. Da mesma forma que para temperaturas baixas, há grandes diferenças entre genótipos quanto à tolerância à temperaturas altas (Yoshida, 1981).

Para cultivares insensíveis ao fotoperíodo, assumindo-se um suprimento adequado de água, a duração do período da emergência à floração é determinada, fundamentalmente, pela temperatura do ar. Um dos conceitos mais importantes para caracterizar o desenvolvimento da cultura do arroz é a **soma térmica**, ou **graus-dia**. Esse conceito expressa a disponibilidade energética do meio e pode ser caracterizado como o acúmulo diário de temperaturas que se situam acima da condição mínima e abaixo da máxima exigida pela planta (Ometto, 1981). O método utilizado para caracterizar as exigências térmicas da cultura pode ser expresso da seguinte forma:

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_m - T_b)$$

onde: **GD** são os graus-dia acumulados no período; **T_m** é a temperatura média diária (°C); **T_b** é a temperatura-base; e **n** o número de dias do período considerado.

Para o arroz de terras altas, Souza & Costa (1992) mostraram que, na região de Uberaba, MG, a temperatura-base variou de acordo com a cultivar. Os valores encontrados foram 10, 12, 14 e 15°C, respectivamente, para as cultivares IAC 47, IAC 164, IAC 165 e IAC 25.

Para a cultivar IAC 4440 de arroz irrigado, em três regiões do Estado de São Paulo, Alves et al. (2000) mostraram que a temperatura base variou de acordo com os subperíodos do ciclo da planta, tendo sido encontrados os seguintes valores: semeadura-germinação: 18,8°C; germinação-florescimento: 12,8°C; florescimento-colheita: 12,5°C; e semeadura-colheita: 11,8°C.



Para as cultivares de arroz irrigado de ciclos curto, médio e longo, na região de Pelotas, RS, Infeld et al. (1998) encontraram, para o período compreendido entre a emergência e a diferenciação do primórdio floral, o valor de temperatura base de 11°C para os três grupos de cultivares.

Observa-se, na Tabela 5.2, que as exigências térmicas das cultivares de arroz de terras altas e irrigado variam de acordo com a data de semeadura, com o período considerado e com o ciclo das cultivares. A soma térmica necessária para completar o ciclo (emergência-maturação) das cultivares de arroz de terras altas varia entre 1.029,7 GD para a cultivar IAC 165 e 2.021,0 GD para a cultivar IAC 47. Para a cultivar IAC 4440 de arroz irrigado, a soma térmica é de 1985 GD (Alves et al., 2000).

No Rio Grande do Sul, a soma térmica, da emergência até a diferenciação do primórdio floral, tem sido utilizada para determinar a época de aplicação da adubação nitrogenada em cobertura (Infeld et al., 1998). Esses autores mostraram que a soma térmica é de 536, 638 e 772 GD, respectivamente, para as cultivares de ciclo curto, médio e longo (Tabela 5.2).

Tabela 5.2. Exigências térmicas, Graus-dia, para cultivares de arroz irrigado e de terras altas.

Cultivar	Períodos ⁽¹⁾			Localidades	Autores
	E-DP	E-F	E-M		
Arroz Irrigado					
ciclo curto ⁽²⁾	536			Pelotas,RS	Infeld et al. (1998)
ciclo médio ⁽³⁾	638			Pelotas,RS	Infeld et al. (1998)
ciclo longo ⁽⁴⁾	772			Pelotas,RS	Infeld et al. (1998)
IAC 4440		1246	1985	Mococa, Pariquera-Açu, Pindamonhangaba,SP	Alves et al. (2000)
Arroz de Terras Altas					
IAC 25			1099,5	Uberaba,MG	Souza & Costa (1992)
IAC 47			2021,0	Uberaba,MG	Souza & Costa (1992)
IAC 164			1467,0	Uberaba,MG	Souza & Costa (1992)
IAC 165			1029,7	Uberaba,MG	Souza & Costa (1992)
Guarani			1603,6 ⁽⁵⁾	Goiânia,GO	Lobato & Silva (1995)
			1539,9 ⁽⁶⁾		
Rio Paranaíba			1850,1 ⁽⁵⁾	Goiânia,GO	Lobato & Silva (1995)
			1819,7 ⁽⁶⁾		

⁽¹⁾ E = Emergência; DP = Diferenciação do Primórdio Floral; F = Floração; M = Maturação

⁽²⁾ Labelle; Belle Patna; Bluebelle.

⁽³⁾ Lebonnet, BR-Irga 409, BR-Irga 410, EEA 406, Dawn, Formosa.

⁽⁴⁾ Caloro, Irga 408, Bonnet 73, CICA 9, Bluebonnet 50.

⁽⁵⁾ Plantio em novembro;

⁽⁶⁾ Plantio em dezembro.



Influência da temperatura no ecossistema várzeas

Dentre as distintas regiões produtoras de arroz irrigado no Brasil, o Estado do Rio Grande do Sul é, seguramente, onde a ocorrência de baixas temperaturas exerce a maior influência na produtividade da cultura. A sua influência mais marcante ocorre na germinação, na emergência das plântulas e, principalmente, durante a fase reprodutiva.

Terres (1991) relata que a ocorrência de chuvas no final de setembro ou início de outubro, além de dificultar o preparo do solo para a implantação da cultura do arroz, contribui para diminuir a temperatura do solo e do ar. Devido a isso, a germinação da semente e/ou, a emergência das plântulas pode ser retardada em mais de 20 dias, notadamente nas cultivares mais sensíveis. Em geral, as folhas das plântulas tornam-se cloróticas e apresentam uma taxa de crescimento muito baixa.

Esse problema pode ser agravado caso se pretenda antecipar a semeadura. A recomendação da pesquisa é que, na medida do possível, sejam utilizadas cultivares com um bom vigor inicial e que a semeadura seja iniciada no decêndio em que a temperatura média do solo, a 5cm de profundidade, for maior ou igual a 20°C (Steinmetz et al., 2001c). Os resultados de Kwon et al. (1996) indicam que semeaduras efetuadas com temperaturas do solo inferiores a 20°C podem favorecer o desenvolvimento de algumas plantas daninhas, como o capim-arroz (*Echinochloa crusgalli*), por exemplo, pela sua maior tolerância ao frio e maior rapidez na emergência, em relação ao arroz.

Um dos problemas mais sérios da cultura do arroz no Rio Grande do Sul e, em particular, na região sul do estado, é a ocorrência de baixas temperaturas durante o período reprodutivo da cultura, que podem causar decréscimos de até 25% na produtividade, podendo chegar, em algumas lavouras, a 50% (Terres et al., 1994). Para o planejamento das atividades relacionadas com a cultura do arroz, é importante conhecer as características das massas de ar que causam o abaixamento da temperatura, a frequência de ocorrência desses eventos e os níveis de risco nas distintas regiões produtoras.

Campos & Steinmetz (2001) relatam que a ocorrência de temperaturas mínimas inferiores a 15°C, nos meses de janeiro e fevereiro, na região de Pelotas, está associada à penetração de anticiclones polares, caracterizados por massas de ar frio e seco, que se estabeleceram após a passagem de duas ou mais frentes frias sobre a região estudada.



Num trabalho em parceria, utilizando a mesma metodologia, Buriol et al. (1991) e Steinmetz et al. (2001b) calcularam as probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas do ar, inferiores ou iguais a 13, 15 e 17°C, nos decêndios dos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, nas principais regiões produtoras de arroz irrigado do Rio Grande do Sul. Encontra-se na Fig. 5.2 a probabilidade de ocorrência de três ou mais dias com temperatura menor ou igual a 15°C em oito localidades.

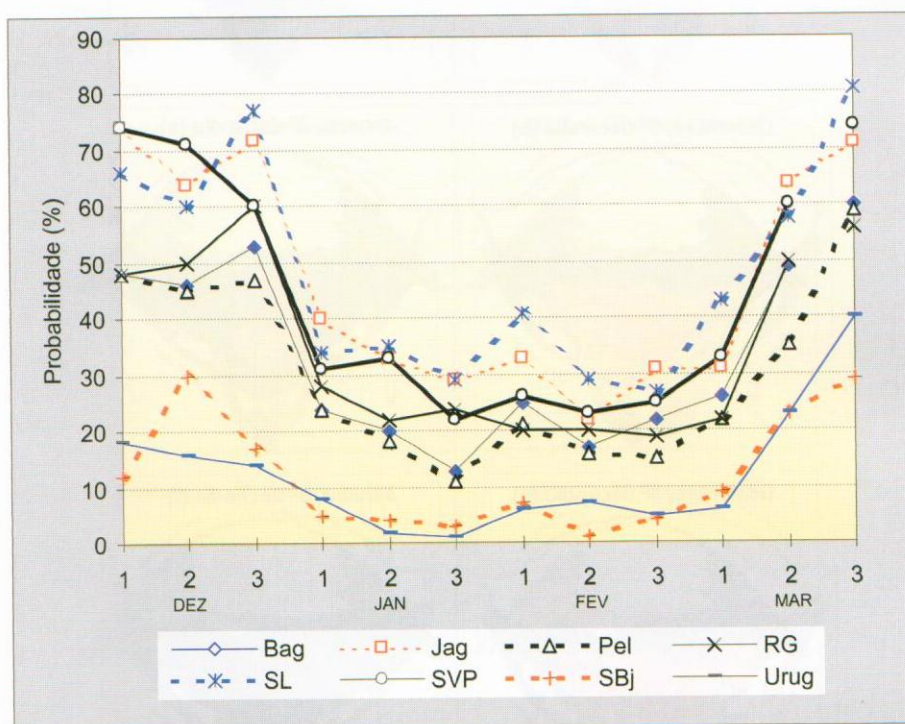


Fig. 5.2. Probabilidade de ocorrência de três ou mais dias com temperatura mínima do ar menor ou igual a 15°C, nos decêndios de dezembro, janeiro, fevereiro e março, nas localidades de Bagé (Bag), Jaguarão (Jag), Pelotas (Pel), Rio Grande (RG), Santana do Livramento (SL), Santa Vitória do Palmar (SVP), São Borja (SBj) e Uruguaiana (URUG) no Rio Grande do Sul.

Fonte: Steinmetz et al. (2001b).

Os dados obtidos nesses dois trabalhos foram especializados por Steinmetz et al. (2001a), com o auxílio de técnicas de geoprocessamento (Fig. 5.3 e 5.4). Pelos resultados verifica-se que o período de menor risco de ocorrência de $t \leq 15^\circ\text{C}$ compreende os decêndios dos meses de janeiro e fevereiro e o 1º decêndio de março, mas há uma variabilidade acentuada entre as distintas regiões produtoras de arroz irrigado no estado (Fig. 5.2, Fig. 5.3d a 5.3f e Fig. 5.4a a 5.4d). Nesse período, predominam as classes de probabilidade 1, 2 e 3.



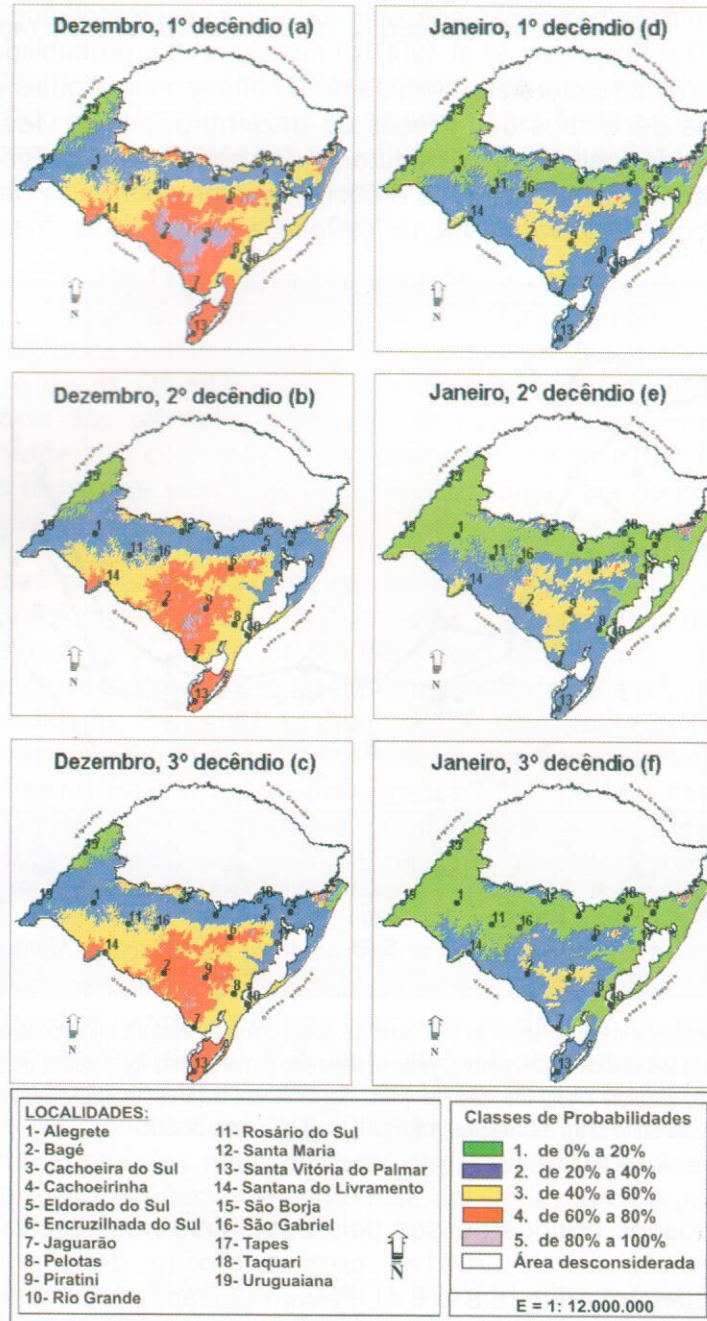


Fig. 5.3. Mapeamento das probabilidades de ocorrência de três ou mais dias com temperatura mínima do ar menor ou igual a 15°C, nos decêndios de dezembro e janeiro, nas principais regiões produtoras de arroz irrigado no Rio Grande do Sul.

Fonte: Steinmetz et al. (2001a).

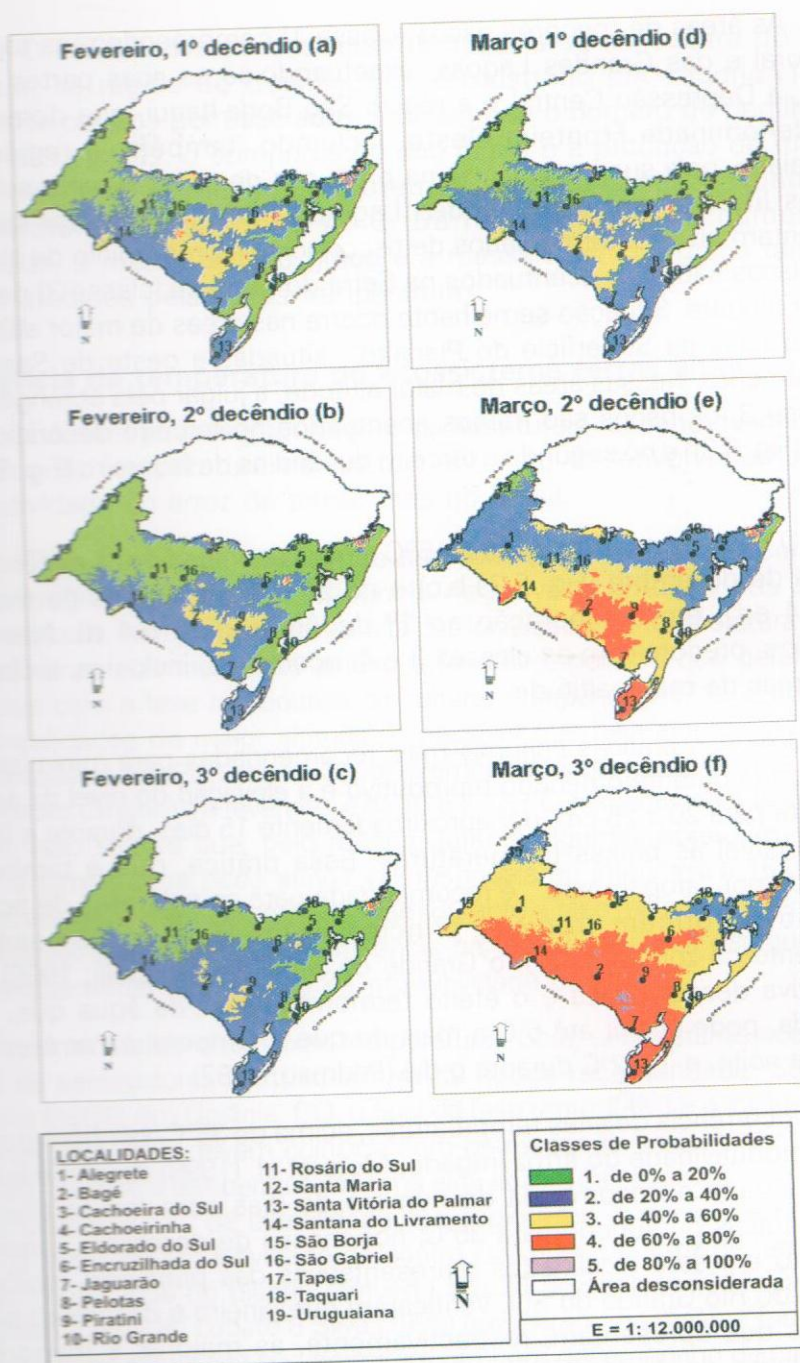


Fig. 5.4. Mapeamento das probabilidades de ocorrência de três ou mais dias com temperatura mínima do ar menor ou igual a 15°C , nos decêndios de fevereiro e março, nas principais regiões produtoras de arroz irrigado no Rio Grande do Sul.
Fonte: Steinmetz et al. (2001a).



As áreas de menores riscos (classe 1) compreendem as regiões do Litoral e das Grandes Lagoas, excetuando-se as suas partes mais ao sul, a Depressão Central e a região São Borja-Itaqui, que doravante será denominada Fronteira Oeste, incluindo, também, a região de Uruguaiana, pela sua importância na produção de arroz. A parte sul das regiões litorâneas e das Grandes Lagoas, bem como a Campanha apresentam níveis intermediários de risco, pois há predomínio da classe 2. Os riscos são mais acentuados na Serra do Sudeste (classe 3) devido à maior altitude. Situação semelhante ocorre nas áreas de maior altitude das "Coxilhas da Superfície do Planalto", situadas a oeste de Santana do Livramento. Nessas áreas de maior altitude, a julgar pela abrangência da classe 3, os riscos são menos acentuados no terceiro decêndio de janeiro (Fig. 5.3f) e no segundo e terceiro decêndios de fevereiro (Fig. 5.4b e 5.4c).

O risco de ocorrência de $t \leq 15^{\circ}\text{C}$ é mais acentuado nos decêndios do mês de dezembro (Fig. 5.3a,b,c) e no 2º e 3º decêndios de março (Fig. 5.4 e,f), em comparação ao 1º decêndio (Fig. 5.4 d). Nesses decêndios, predominam as classes 3 e 4, ocorrendo, inclusive, a classe 5 nas áreas de maior altitude.

Uma das práticas culturais mais recomendadas para minimizar o efeito do frio durante o período reprodutivo é a elevação do nível da água na lavoura para 20 a 25 cm, por aproximadamente 15 dias, durante a fase mais sensível às baixas temperaturas. Essa prática, que é também conhecida por "afogamento", é recomendada para as cultivares de porte moderno de origem tropical, principalmente quando semeadas tardiamente na zona sul do Rio Grande do Sul (Terres & Galli, 1985). A justificativa dessa prática é o efeito termorregulador da água que, se estagnada, pode atingir até 6°C a mais do que a temperatura ambiente, durante a noite, e 1 a 2°C durante o dia (Pedroso, 1982).

A ocorrência de altas temperaturas, acima de 35°C , também pode afetar a produtividade do arroz irrigado. Mota et al. (1999) determinaram a probabilidade de ocorrência do número de dias com temperaturas máximas iguais ou superiores a 35°C , nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro em sete localidades representativas das principais regiões orizícolas do Rio Grande do Sul. Verificaram que janeiro e dezembro são os meses que apresentam, respectivamente, as maiores e menores probabilidades de dias com temperaturas iguais ou superiores a 35°C . Observaram também, que as regiões com maior ocorrência de dias com essas temperaturas são as regiões orizícolas da Fronteira Oeste, da Depressão Central e da Campanha.



O efeito adverso das altas temperaturas na cultura do arroz irrigado, na região de Goiânia, GO, é mostrado por Fageria (1984). Os dados obtidos por esse autor indicam que o número de perfilhos, a altura das plantas, o comprimento das raízes e a produção de matéria seca da parte aérea decresceram significativamente quando a temperatura foi superior a 40°C. Da mesma forma, o número de panículas, a massa de 100 grãos e a massa total dos grãos também foram afetados pelas altas temperaturas.

Influência da temperatura no ecossistema terras altas

Existem poucas informações na literatura a respeito da influência adversa da temperatura no crescimento, no desenvolvimento e na produtividade do arroz de terras altas no Brasil.

Para as épocas normais de semeadura, na região dos Cerrados, em princípio, não ocorre influência negativa acentuada das baixas temperaturas. Isso porque, na maioria das localidades, a temperatura média das mínimas nos meses de janeiro e fevereiro, período que geralmente coincide com a fase reprodutiva da cultura, é superior a 17°C. Entretanto, nas localidades de maior altitude, é possível que haja alguma influência dessa variável. Em Planaltina, GO, por exemplo, a temperatura mínima média, nos meses de janeiro e fevereiro, é de 16,6 e 17,3°C, respectivamente (Fageria, 1984). Isso sugere que, pelo menos durante algumas horas, em alguns dias, a temperatura pode atingir valores iguais ou inferiores a 15°C. Caso esses valores de temperatura ocorram durante a fase mais crítica da planta, é provável que haja alguma influência na esterilidade das espiguetas e, conseqüentemente, redução na produtividade do arroz.

A influência das baixas temperaturas pode ser bastante acentuada para as semeaduras efetuadas fora da época recomendada. Segundo Fageria (1984), em Goiânia, GO, o final da fase reprodutiva e o início da fase de maturação não devem coincidir com os meses de maio, junho, julho e agosto, quando a temperatura mínima está abaixo da requerida pela cultura. Altas porcentagens de esterilidade das espiguetas e, conseqüentemente, baixos níveis de produtividade de quatro cultivares de arroz de terras altas foram registrados no plantio efetuado em 30 de abril de 1981. Para essa mesma localidade, Lobato & Silva (1995) mostraram, da mesma forma, que as condições climáticas não permitem um bom desempenho da cultura do arroz de terras altas fora da época convencional de semeadura (outubro-dezembro), mesmo contando-se com a possibilidade de se fazer irrigação suplementar. Nas semeaduras efetuadas entre fevereiro e setembro, a cultura do arroz apresentou alongamento do ciclo, diminuição do porte da



planta, do índice de área foliar e da produtividade, devido à ocorrência de baixas temperaturas e à influência do fotoperíodo sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Pouco se conhece sobre a influência das altas temperaturas na cultura do arroz de terras altas. Fageria (1984) sugere que a alta temperatura não é problema, porque a média das máximas, de três localidades do Estado de Goiás, não atinge os valores superiores ao requerido pela cultura. Entretanto, é de se esperar que em algumas localidades, especialmente em situações de deficiência hídrica acentuada, as plantas possam ser afetadas por altas temperaturas. Essa hipótese necessita ainda ser comprovada por meio de estudos específicos.

RADIAÇÃO SOLAR

Aspectos físicos

A maior parte da radiação emitida pelo sol tem comprimentos de onda entre 0,3 e 3 micra (μ) e é conhecida como *radiação de onda curta*. A terra, por outro lado, emite radiação com comprimentos de onda entre 3 e 50 μ , chamada *radiação de onda longa*.

A radiação solar de onda curta que atinge a superfície da terra, também conhecida como *radiação global*, é formada por dois componentes: a *radiação direta*, fração da radiação global que não interagiu com a atmosfera, e a *radiação difusa*, fração da radiação global que interagiu com os constituintes da atmosfera e foi re-irradiada em todas as direções. A proporção da radiação difusa em relação à global é máxima nos instantes próximos ao nascer e ao pôr do sol e nos dias completamente nublados, quando toda a radiação global é difusa.

No processo de fotossíntese, as plantas utilizam apenas uma fração da radiação incidente, no comprimento de onda entre 0,4 e 0,7 μ , denominada de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). A RFA pode ser considerada como sendo de aproximadamente 50% da radiação global incidente (Monteith, 1972). Na região de Pelotas, RS, esse valor é de 47% (Assis & Mendez, 1989).

Exigência nas distintas fases fenológicas da planta

A exigência de radiação solar pela cultura do arroz varia de uma fase fenológica para a outra (Tabela 5.3).



Tabela 5.3. Efeitos do sombreamento na produtividade e seus componentes da cultivar de arroz irrigado IR 747-B2-6, em diferentes fases do desenvolvimento.

Radiação Solar (%)	Produtividade (t ha ⁻¹)	Índice de Colheita	Fertilidade de espiguetas (%)	Massa de 1.000 grãos (g)	Espiguetas (n° m ² x 10 ⁻³)
Fase vegetativa					
100	7,11	0,49	88,9	20,0	41,6
75	6,94	0,48	89,9	19,9	40,6
50	6,36	0,51	89,5	19,9	38,3
25	6,33	0,51	84,3	19,8	38,1
Fase reprodutiva					
100	7,11	0,49	88,9	20,0	41,6
75	5,71	0,47	87,8	20,3	30,3
50	4,45	0,40	89,4	19,5	24,4
25	3,21	0,36	89,4	19,1	16,5
Fase maturação					
100	7,11	0,49	88,9	20,0	41,6
75	6,53	0,49	81,1	20,0	41,1
50	5,16	0,44	64,5	19,5	40,6
25	3,93	0,38	54,9	19,1	41,7

Fonte: Yoshida & Parao (1976).

Sombreamento durante a fase vegetativa tem pouca influência sobre a produtividade e seus componentes. A produtividade é fortemente influenciada, contudo, quando o sombreamento ocorre durante as fases reprodutiva e de maturação, reduzindo, respectivamente, o número de espiguetas e a porcentagem de grãos (Yoshida & Parao, 1976).

A importância relativa da radiação solar nas distintas fases fenológicas, em termos de produtividade de grãos, é mostrada na Fig. 5.5. Os maiores incrementos na produtividade, para níveis crescentes de radiação solar, são obtidos, respectivamente, durante as fases reprodutiva e de maturação. A fase vegetativa apresenta uma baixa resposta à radiação solar. Observa-se que produtividades em torno de 5.000 kg ha⁻¹ podem ser alcançadas com níveis de radiação solar de aproximadamente 300 cal cm⁻² dia⁻¹ durante a fase reprodutiva. Durante a fase de maturação, produtividades ligeiramente superiores poderiam ser alcançadas com níveis semelhantes de radiação solar.

Com base nesses resultados, Yoshida (1981) sugere que a radiação solar exerce um papel mais destacado, quando se buscam



produtividades superiores a 5.000 kg ha^{-1} . Isso indica que a pesquisa deve procurar alternativas que aumentem a eficiência no aproveitamento da radiação solar pela planta de arroz, caso se almeje alcançar produtividades bem superiores a 5.000 kg ha^{-1} , que é a média obtida nos últimos anos no Rio Grande do Sul.

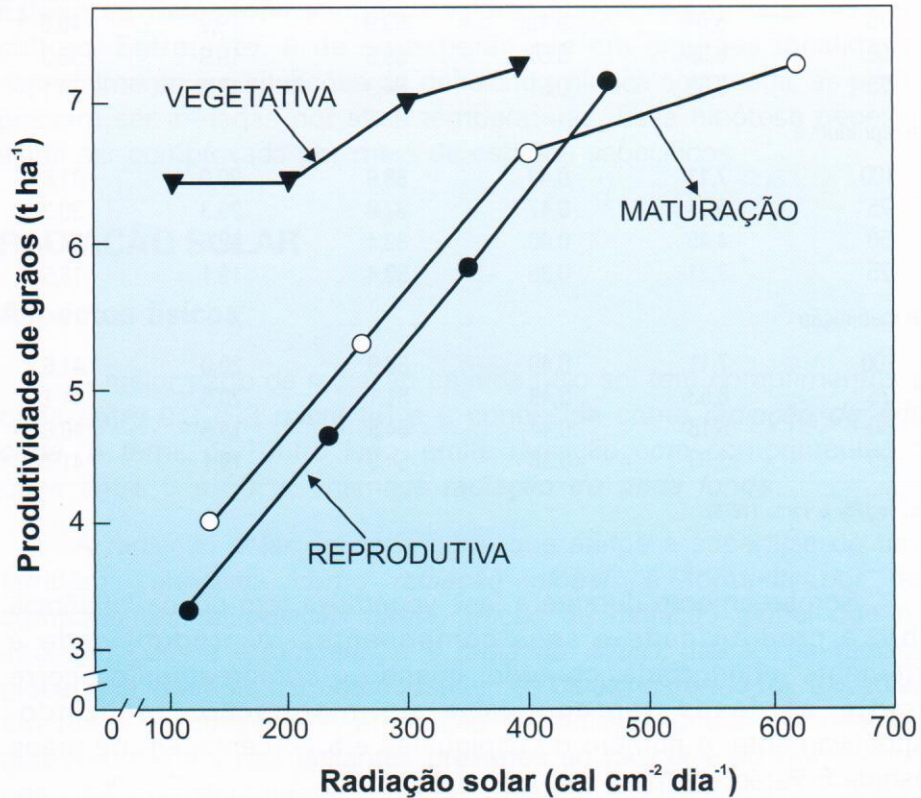


Fig. 5.5. Efeito da radiação solar em diferentes fases de desenvolvimento sobre a produtividade da cultivar IR 747B2-6.

Fonte: Adaptada de Yoshida & Parao (1976).

Influência do tipo de planta na interceptação da radiação solar

A radiação solar que incide sobre o dossel vegetativo pode ser refletida, absorvida ou transmitida. Steinmetz et al. (1993), usando um conjunto de tubos solarímetros dispostos acima e abaixo do dossel vegetativo, conforme indicado no diagrama esquemático da Fig. 5.6, caracterizaram a evolução dos componentes do balanço de radiação global de uma parcela de arroz irrigado (Fig. 5.7).



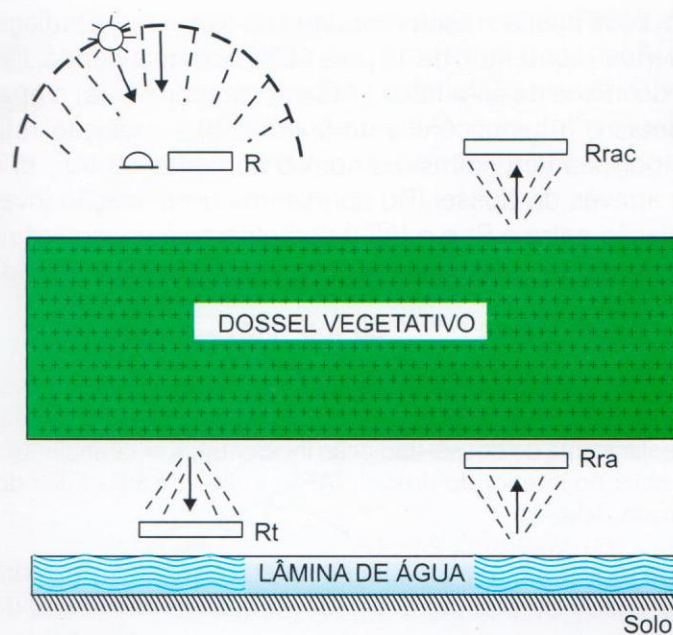


Fig. 5.6. Esquema de medidas do balanço de radiação solar na cultura do arroz irrigado em que: R =radiação solar global e os índices rac =refletida pela água e pela cultura (albedo), ra =refletida pela água e t =transmitida através do dossel vegetativo.

Fonte: Steinmetz et al. (1993).

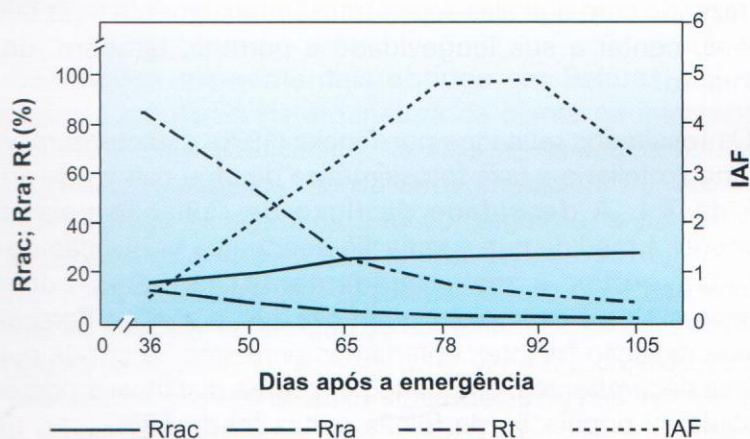


Fig. 5.7. Evolução do índice de área foliar (IAF) e dos componentes do balanço de radiação na cultura do arroz irrigado, cultivar BR-Irga 414, em que: R =radiação solar global e os índices rac =refletida pela água e pela cultura (albedo), ra =refletida pela água e t =transmitida através do dossel vegetativo.

Fonte: Steinmetz et al. (1993).



Com base nesses resultados, verifica-se que: a) a radiação refletida pelo dossel (R_{rac}) aumentou de 15 para 28%, acompanhando, inicialmente, a evolução do índice de área foliar (IAF) e, posteriormente, o aparecimento das espiguetas e a senescência da cultura; b) a radiação refletida pela água (R_{ra}), por sua vez, diminuiu com o aumento do IAF; c) a radiação transmitida através do dossel (R_t) apresentou uma relação inversa com o IAF. Essa relação entre a R_t e o IAF é semelhante à encontrada por outros autores e pode ser expressa pela seguinte equação (Monsi & Saeki, 1953):

$$I/I_0 = e^{-K \text{ IAF}} \quad \text{ou} \quad \log_e I/I_0 = -K \text{ IAF}$$

em que: I = Intensidade da radiação solar abaixo do dossel vegetativo ou de uma determinada camada do dossel onde o IAF tenha sido medido; I_0 = intensidade da radiação solar acima do dossel (radiação incidente); K = coeficiente de extinção da radiação solar no interior do dossel; IAF = índice de área foliar do dossel ou de uma camada dele.

Observa-se por essa equação que a extinção da radiação solar numa comunidade de plantas depende, fundamentalmente, do IAF e do coeficiente K , e que pode ser expressa por uma função exponencial. O coeficiente K está intimamente relacionado com a estrutura da planta e, em particular, com a orientação das folhas. Para o arroz, os seus valores podem variar de 0,3, em plantas com folhas eretas, a 0,8, em plantas com folhas decumbentes (Hayashi & Ito, 1962; Tanaka et al., 1976, citados por Yoshida, 1983). Um ângulo foliar adequado permite que uma maior quantidade de radiação atinja as folhas inferiores do dossel, fazendo com que elas sejam fotossinteticamente mais eficientes, além de aumentar a sua longevidade e permitir, também, um maior perfilhamento.

Os resultados relatados por Tanaka (1976) caracterizam a relação entre o ângulo foliar e a taxa fotossintética de uma cultura de arroz com um IAF de 7,1. A densidade de fluxo de radiação solar diminui gradualmente à medida que a radiação penetra na população de plantas com folhas eretas e mais rapidamente naquelas com folhas decumbentes. Como exemplo, o autor cita que, durante a floração, cerca de 90% da radiação foi interceptada nos primeiros 30 cm da população com folhas decumbentes, enquanto na mesma distância a porcentagem interceptada na população de folhas eretas foi de 50%.

134

Verifica-se, na Fig. 5.8, que a fotossíntese na população com folhas eretas aumenta com a densidade de fluxo de radiação, sem que se atinja o ponto de saturação, enquanto na população com folhas decumbentes o aumento de fotossíntese ocorre apenas até o nível de



0,6 cal.cm⁻².min⁻¹, havendo saturação de luz acima desse valor. Nesse experimento, a produtividade de grãos na população de folhas decumbentes foi 33% menor do que na de folhas eretas. O autor sugere que a utilização de populações de plantas com folhas eretas, é uma das principais características que apontam para o aumento da produtividade de grãos.

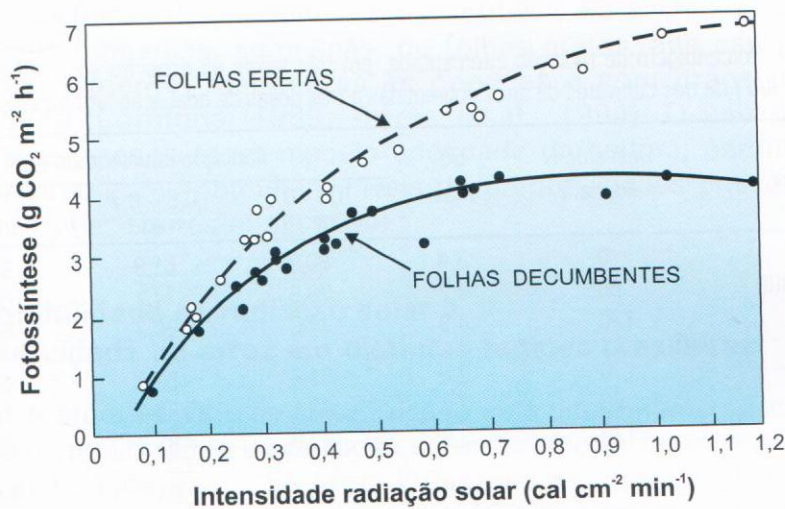


Fig. 5.8. Relação entre a intensidade da radiação solar e a taxa de fotossíntese em populações de arroz com folhas eretas e decumbentes.

Fonte: Adaptada de Tanaka (1976).

Resultados experimentais obtidos em Pelotas, RS, também caracterizam a influência da arquitetura da planta na interceptação da radiação solar e na produtividade. Verifica-se, na Tabela 5.4, que, para as três cultivares estudadas, houve um aumento do IAF em função da dose de adubação nitrogenada. Por conseguinte, a porcentagem de radiação interceptada, nas três faixas de comprimento de onda, aumentou com o IAF nas três cultivares. O fato de a porcentagem de interceptação diminuir, no sentido do aumento do comprimento de onda, indica que as radiações na faixa do azul, 0,4 a 0,5 μ , e do verde, 0,6 a 0,7 μ , são mais fortemente absorvidas pelas folhas verdes do que a radiação no início do infravermelho, 0,7 a 0,8 μ .

É mostrado na Tabela 5.5 o aspecto relativo à arquitetura das plantas. A cultivar BR-Irga 409 é de porte baixo, <80 cm, e de folhas predominantemente eretas; a Bluebelle é de porte médio, 80-100 cm, com folhas medianamente eretas e a EEA 406 é de porte alto, >100 cm, com



folhas predominantemente decumbentes. Em função disso, em uma mesma dose de nitrogênio, a densidade de fluxo de radiação solar na base da planta, independentemente da faixa espectral, é maior nas cultivares de folhas eretas do que na de folhas decumbentes. Essa característica, juntamente com o maior número de perfilhos por planta, podem ser responsáveis pelo maior número de panículas por área para a cultivar de folhas eretas.

Tabela 5.4. Percentagem de radiação interceptada, em três faixas do espectro solar, e índice de área foliar (IAF) de três cultivares de arroz submetidas a três doses de adubação nitrogenada.

Cultivares	Doses de N (kg ha ⁻¹)	IAF máx.	Radiação interceptada (%)		
			0,4 – 0,5 micra	0,6 – 0,7 micra	0,7 – 0,8 micra
BR-Irga-409	0	3,4	60,2	61,9	54,4
	60	4,2	76,5	74,1	64,4
	120	4,9	77,0	80,2	69,8
Bluebelle	0	2,6	61,6	52,7	47,6
	60	2,7	70,1	57,1	48,9
	120	3,9	83,6	85,6	68,7
EEA-406	0	3,9	68,7	64,7	51,6
	60	5,4	79,9	76,0	65,6
	120	7,6	98,2	95,9	85,5

Fonte: Mueller et al. (1979).

Tabela 5.5. Número de panículas por metro quadrado e produtividade de três cultivares de arroz com diferentes arquiteturas em três doses de nitrogênio.

Cultivares	Doses de N (kg ha ⁻¹)	Panículas (n° m ⁻²)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
BR-Irga-409	0	470	5002
	60	524	5561
	120	508	5727
Bluebelle	0	401	4998
	60	427	5448
	120	463	6321
EEA-406	0	343	5531
	60	356	5866
	120	341	4611

Fonte: Mueller (1980).



Um aumento expressivo na produtividade do arroz irrigado tem sido observado nos últimos anos no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, os dois principais estados produtores de arroz irrigado do Brasil. A produtividade média do Rio Grande do Sul aumentou de 3.800 kg ha⁻¹, no período 1970/80, para 5.100 kg ha⁻¹, no período 1991/93 (Terres et al., 1994). Esse aumento de produtividade é atribuído, principalmente, à substituição das cultivares tradicionais, de porte alto, com folhas decumbentes e susceptíveis ao acamamento, por cultivares modernas, semi-anãs, de folhas eretas, alta capacidade de perfilhamento, resistentes às doenças e com grãos de boa qualidade (Carmona, 1989; Terres et al., 1994). O uso dessas cultivares, associado ao manejo adequado da cultura, permite que alguns produtores obtenham níveis de produtividades em torno de 10.000 kg ha⁻¹ (Terres et al., 1994).

Disponibilidade de radiação solar e produtividade do arroz em distintas regiões brasileiras

A produtividade do arroz irrigado está diretamente relacionada com a disponibilidade de radiação solar durante as fases reprodutiva e de maturação (Fig. 5.5). Mota (1994) verificou que a variação da produtividade do arroz, caracterizada pelos coeficientes de correlação parcial, depende em 93% da radiação solar, 83% das horas de frio em março e 42% das horas de frio em fevereiro. Na série de dados analisados, as produtividades mais altas, 5.800 kg ha⁻¹, foram obtidas quando a disponibilidade de radiação solar nos meses de fevereiro e março foi superior a 550 cal cm⁻² dia⁻¹.

No Rio Grande do Sul, a disponibilidade média normal de radiação solar é variável nas distintas regiões produtoras, sendo que os níveis mais altos são observados na Zona Sul e na Fronteira Oeste (Fig. 5.9). Essa é, seguramente, uma das razões pelas quais as produtividades médias na Fronteira Oeste são, geralmente, superiores às demais regiões do estado. Na Zona Sul, onde Santa Vitória do Palmar é o município de maior importância na produção de arroz, altas produtividades são obtidas em anos em que não há ocorrência de frio.

Infelizmente, existe pouca informação a respeito da disponibilidade de energia solar e da sua relação com a produtividade do arroz na região central do Brasil. A análise dos dados médios normais de radiação solar da localidade de Formosa, GO (Fageria, 1984) mostra que os níveis de radiação solar média dos meses de fevereiro e março,



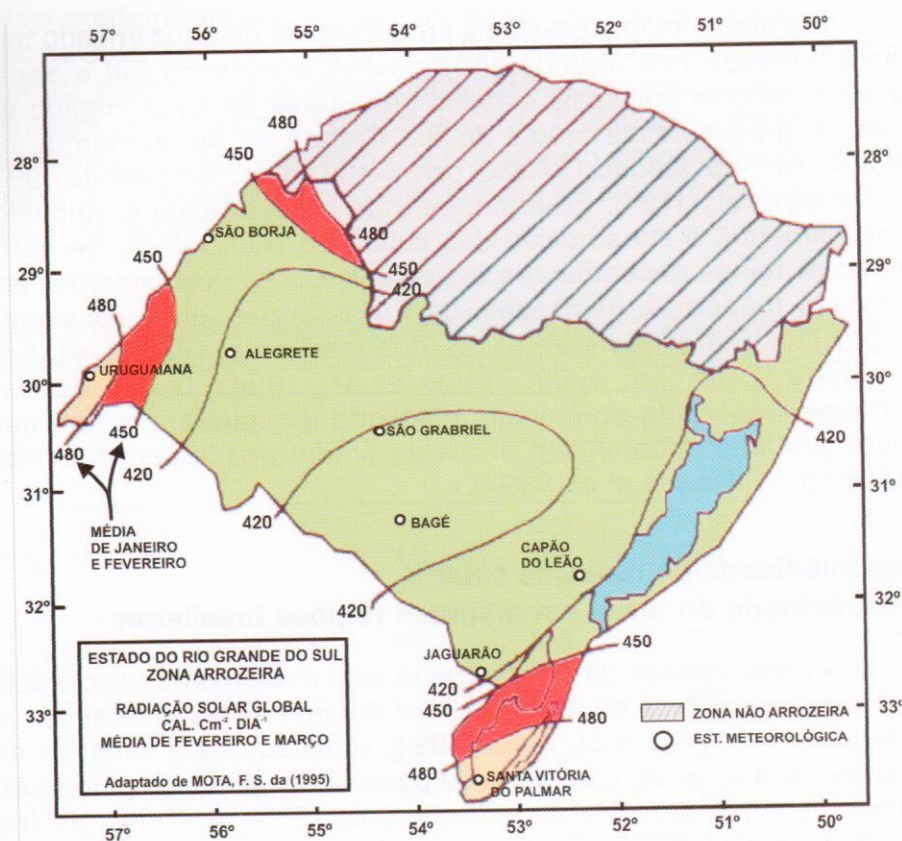
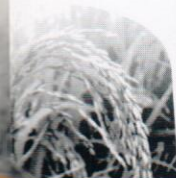


Fig. 5.9. Níveis de radiação solar global (média de fevereiro e março, exceto para a região de Uruguaiana, em que se considerou a média de janeiro e fevereiro) nas distintas regiões produtoras de arroz irrigado do Rio Grande do Sul.

Fonte: Adaptada de Mota (1995).

395 $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, são inferiores aos valores médios registrados no Rio Grande do Sul, no mesmo período. Portanto, é de se esperar que, para cultivares com o mesmo potencial produtivo, os níveis de produtividade sejam um pouco inferiores aos do Rio Grande do Sul. Entretanto, deve-se ressaltar que, com a disponibilidade de radiação solar de Formosa, GO, em torno de 400 $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, pode-se esperar níveis de produtividade em torno 6.500 kg ha^{-1} , assumindo-se que as cultivares utilizadas apresentem respostas à radiação solar semelhantes às utilizadas por Yoshida & Parao (1976), cujos dados são apresentados na Fig. 5.5. Níveis de radiação solar semelhantes aos de Formosa, também não seriam limitantes ao arroz de terras altas, pois, nesse ecossistema, a produtividade média é de aproximadamente 2.434 kg ha^{-1} (Mendez del Villar et al., 2002).



A análise da disponibilidade de radiação solar durante o ciclo da cultura do arroz de terras altas, em distintas regiões produtoras do Brasil, mostra que o nível mais alto ocorre na localidade de Xanxerê, SC, ($538 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), e os mais baixos são registrados em Sena Madureira, AC ($395 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e em Porto Velho, RO ($397 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Nas demais localidades, a radiação solar varia de 450 a $520 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Upland..., 1984). Considerando-se que o número de espiguetas aumenta com a radiação solar até $500 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Yoshida & Parao, 1976), as produtividades em Sena Madureira e Porto Velho poderão ser afetadas por esse fator.

Uma avaliação preliminar sobre a quantidade de energia solar disponível nas distintas regiões produtoras de arroz do país sugere que esse fator pode tornar-se limitante quando se pretende obter níveis de produtividade superiores a 5.000 kg ha^{-1} .

CHUVA E NECESSIDADE DE ÁGUA

Consumo de água

Segundo Bernardes (1956), a necessidade de água para o arroz irrigado, no Estado do Rio Grande do Sul, varia de 1.150 mm para cultivares de ciclo curto a 1.700 mm para cultivares de ciclo longo. Nesse estado, de acordo com Sachet (1977), a evapotranspiração representa cerca de 70% da necessidade de água para a irrigação, o que varia, entretanto, com o solo utilizado.

Motta et al. (1990) mostram que a evapotranspiração média diária normal do arroz no Rio Grande do Sul, no período em que é praticada a irrigação por inundação, varia de 6,7 a 7,7 mm. A necessidade de água para a irrigação depende da evapotranspiração, da quantidade de chuva ocorrida e da época de semeadura, variando de 655,4 mm, em Uruguaiiana, a 801,6 mm, em Santa Vitória do Palmar, para semeaduras de 15 de setembro e 15 de novembro, respectivamente, em um sistema estático de irrigação por inundação (Motta et al., 1990). Esses autores mostram que a quantidade de água necessária no sistema estático, água parada, é de apenas 42% dos dois litros por segundo e por hectare utilizados pelos orizicultores no sistema dinâmico, água corrente. Os autores sugerem que poderia haver economia de água se fosse utilizado o sistema estático ou uma combinação de ambos, se a temperatura da água da lavoura for elevada.



Marcolin et al. (1999) mostram que o consumo de água durante o ciclo da cultivar BR-Irga 410, em Cachoeirinha, foi maior no sistema de cultivo convencional (741,5 mm), em relação ao pré-germinado (723,3 mm) e ao direto (694,5 mm). Os valores de vazão média são inferiores aos obtidos por Motta et al. (1990), o que foi atribuído à sistematização do solo, que permitiu melhorar o manejo da irrigação e reduzir as perdas.

Eberhardt (1993) estudou os efeitos de métodos de preparo do solo para o sistema pré-germinado, em Itajaí, SC, tendo obtido os seguintes resultados: a) o consumo de água durante o ciclo da cultivar EMPASC 104 variou de 570,1 mm a 797,2 mm, para os tratamentos com formação de lama, sendo o consumo médio de 681,2 mm; b) para o tratamento com semeadura em solo seco, o consumo de água durante o ciclo foi de 834,4 mm, portanto, 22% superior ao consumo médio dos tratamentos com formação de lama.

A necessidade de água do arroz irrigado, na região de Goiânia, GO, varia muito em função do tipo de várzea em que as medições são efetuadas. Foram determinados valores de 1.322 mm (Embrapa, 1984) a 3.165 mm (Stone et al., 1980). Para essa mesma região, Stone et al. (1990) relatam que, em condições de sequeiro, o consumo de água das cultivares IAC 47 e CICA 4, no ano de 1979, foi de 600 mm. Em 1986, o consumo de água da cultivar IAC 47 foi de 676 mm, com um consumo diário de 5,3 mm. Essa mesma cultivar, em Uberaba, MG, consumiu 715 mm, com uma média diária entre 5 e 6 mm.

Influência da chuva no suprimento de água e na produtividade do arroz irrigado

No Rio Grande do Sul, os totais médios anuais de chuva variam de 1.168 a 2.468 mm, sendo que, na maior parte das regiões produtoras de arroz irrigado, a quantidade de chuva é inferior a 1.400 mm. Em geral, os meses de maio, junho e setembro são os mais chuvosos e os de novembro, dezembro e fevereiro os menos chuvosos (Embrapa, 1988).

De acordo com os dados obtidos por Motta et al. (1990) em sete localidades representativas das principais regiões produtoras de arroz do Rio Grande do Sul, considerando-se três épocas de semeadura, verifica-se que a precipitação pluvial durante o período de irrigação corresponde, em média, a 46% do total da água consumida pela evapotranspiração.



Em geral, a quantidade de chuva ocorrida durante o ano é suficiente para repor o volume dos mananciais de água de irrigação, lagoas, barragens e rios. Entretanto, em alguns anos, de acordo com Mota & Zahler (1994), a ocorrência do fenômeno "Anti-El Niño" ou La Niña, provoca estiagens em agosto e setembro. De acordo com os autores, esse fenômeno ocorre quando as águas do Oceano Pacífico, na costa oeste da América do Sul, ficam de 2 a 3°C mais frias do que o normal, fazendo com que as frentes frias sejam enfraquecidas e desviadas antes de entrarem no Rio Grande do Sul. Com isso, dependendo da severidade da deficiência hídrica, há falta de água para irrigar as lavouras de arroz. O resultado é a quebra inevitável da safra, que pode atingir de 13 a 32% da produtividade. Entretanto, tais ocorrências são raras, tendo acontecido apenas quatro vezes no período de 1920 a 1988 (Mota & Zahler, 1994).

Mota (1999) mostrou que a ocorrência do fenômeno La Niña aumentou a necessidade de irrigação do arroz, de dezembro a fevereiro, em média 9,0%, sendo que, nos eventos mais fortes, o aumento foi de 43,8%, em média. Por outro lado, a ocorrência do El Niño diminuiu a necessidade de irrigação do arroz, no período de dezembro a fevereiro, em média 4,3%; nos eventos mais fortes a diminuição foi de 36,5%, em média.

Carmona & Berlato (2002) mostraram que, em 60% dos eventos La Niña, a produtividade do arroz irrigado no Rio Grande do Sul ficou acima da média histórica. Em função disso, Berlato & Fontana (2003) deduzem que o ideal é que um evento La Niña ocorra após um evento El Niño, pois, nessa situação, o suprimento de água para a irrigação fica garantido pelo fato de os reservatórios (barragens) entrarem na primavera com máximo armazenamento. Além das referências previamente citadas, mais informações sobre a influência dos fenômenos El Niño e La Niña no suprimento de água e na produtividade do arroz irrigado no Rio Grande do Sul podem ser obtidos em Carmona & Berlato (2002) e em Steinmetz (2004).

Influência da chuva no suprimento de água do arroz de terras altas

As características do regime pluvial, expressas pela quantidade e a distribuição das chuvas durante o ciclo da planta de arroz de terras altas, são os fatores mais limitantes na produtividade de grãos.

Steinmetz et al. (1988) fizeram a caracterização do regime pluvial de 80 localidades representativas das principais regiões produtoras de arroz de terras altas do Brasil e verificaram que existe uma acentuada



diferença entre as localidades, tanto em relação ao total anual das chuvas quanto à sua distribuição ao longo do ano. Os valores extremos do total anual de chuvas foram de 2.262,5 mm em Taperinha, município de Santarém, PA e de 847,7 mm em Taboca do Brejo Velho, município de Santana do Brejo, PA.

A localidade de Santo Antônio de Goiás,GO (Fig. 5.10), apresenta um regime pluvial característico da região dos Cerrados. Do total anual de 1.434 mm, cerca de 92% das chuvas ocorrem no período de outubro a abril, concordando com os dados publicados por Espinoza et al. (1982). De maio a setembro ocorre uma estação seca bem definida com índices de pluviosidade muito baixos.

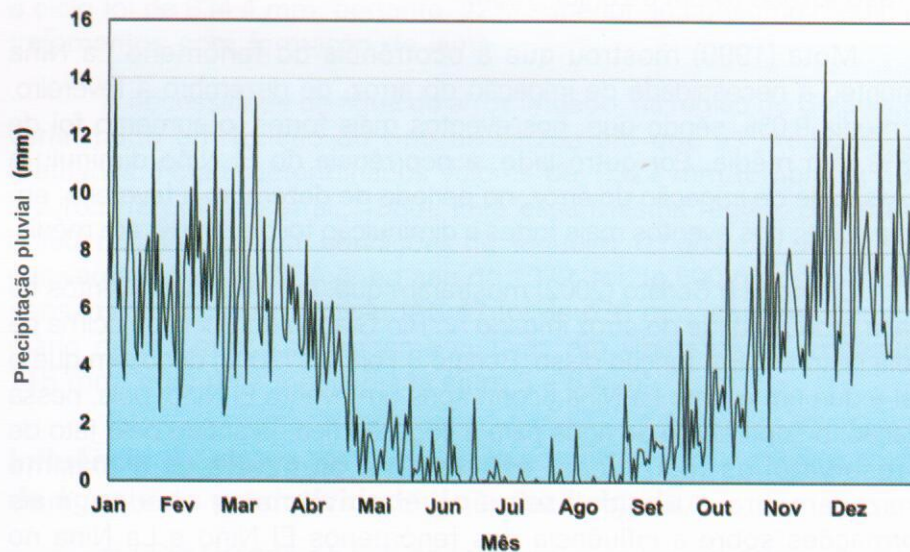


Fig. 5.10. Distribuição pluvial diária referente ao município de Santo Antônio de Goiás.

Fonte: Silva et al. (2003).

Steinmetz et al. (1984) caracterizaram a existência de regiões consideradas como "favorecidas" e "não favorecidas", para a produção de arroz em terras altas sem irrigação, com base no estudo da distribuição freqüencial das chuvas, em 20 localidades do Brasil. Foi considerado como "**período favorável de chuva**", quando a probabilidade de ocorrência de 50 mm ou mais de chuva, em dez dias, era maior do que 66,7%. Observou-se, pelos resultados, que o número e a época de ocorrência dos períodos favoráveis de chuva são bastante variáveis entre as localidades, conforme ilustrado na Fig. 5.11, para quatro localidades



situadas nos Cerrados. Em função do maior número de períodos favoráveis de chuva, durante a época de cultivo do arroz de terras altas, infere-se que o risco climático na localidade de Goiás é menor do que nas outras três localidades.

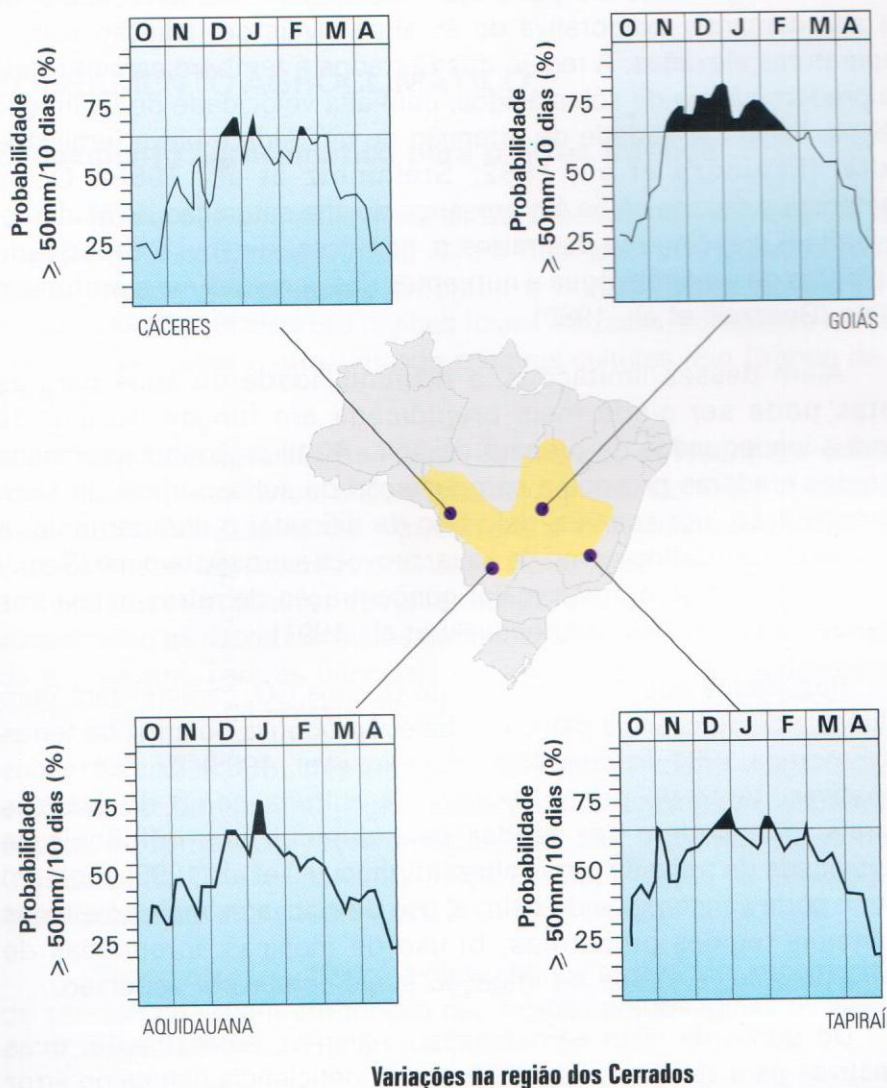


Fig. 5.11. Níveis de probabilidade de ocorrência de 50 mm, ou mais, de chuva em períodos de 10 dias, durante o período de cultivo do arroz de terras altas, em quatro localidades na região dos Cerrados. Os períodos favoráveis de chuva, áreas em negrito, correspondem ao nível de 66,7% de probabilidade de se ter quantidades de chuva maiores ou iguais a 50 mm em dez dias.

Fonte: Adaptada de Steinmetz et al. (1984).



Deficiência hídrica

Em algumas regiões produtoras de arroz de terras altas, em particular na região dos Cerrados, é comum a ocorrência de estiagens de uma, duas ou até três semanas, os veranicos, durante a estação chuvosa. Em geral, esses períodos de estiagem são caracterizados pela alta demanda evaporativa do ar, altos níveis de radiação solar e temperaturas elevadas. A região dos Cerrados é também caracterizada pela predominância de solos ácidos, com alta velocidade de infiltração de água, baixa capacidade de retenção de umidade e baixa fertilidade natural (Espinoza et al., 1982; Steinmetz et al., 1986). Outra característica desses solos é a presença de alta saturação de alumínio, que limita o crescimento das raízes e, com isso, diminui a capacidade das plantas de retirarem água e nutrientes das camadas mais profundas do solo (Guazzelli et al., 1980).

Além dessas limitações, a disponibilidade de água para as plantas pode ser ainda mais prejudicada em função do uso de métodos inadequados de preparo do solo. A utilização indiscriminada de grades aradoras provoca a compactação da subsuperfície do solo. A compactação, por sua vez, pelo fato de dificultar o enraizamento, a infiltração e o armazenamento de água, provoca a erosão laminar (Seguy et al., 1984) e faz com que a maior concentração de raízes esteja nos primeiros 10 cm do solo (Kluthcouski et al., 1991).

Resultados obtidos na região de Goiânia,GO, caracterizam bem a influência da deficiência hídrica na fase reprodutiva do arroz de terras altas (Embrapa, 1984; Fageria, 1984; Pinheiro et al., 1985). Existem várias alternativas, tanto do ponto de vista da cultura, como de práticas culturais, que podem ser usadas para diminuir sua influência na produtividade do arroz de terras altas. Kluthcouski et al. (1995) sugerem que isso pode ser conseguido pelo: a) uso de cultivares mais adaptadas às distintas regiões produtoras; b) uso de técnicas apropriadas de preparo do solo; e c) uso da irrigação suplementar por aspersão.

Do ponto de vista agroclimático, existem, basicamente, duas alternativas para se diminuir a influência da deficiência hídrica no arroz de terras altas: a) identificação das épocas de semeadura com menores riscos de ocorrência de deficiência hídrica durante o ciclo e, principalmente, durante a fase reprodutiva da cultura; b) identificação, por meio do zoneamento agroclimático, das regiões com menores riscos de ocorrência de deficiência hídrica. Steinmetz et al. (1988)



utilizaram um modelo de simulação de balanço hídrico e séries longas de dados climáticos para caracterizar as épocas de semeadura mais apropriadas, para cultivares de ciclo curto e médio, em 20 localidades do Estado de Goiás. Utilizando a mesma metodologia, Sandanielo et al. (1992) definiram as melhores épocas de semeadura para 33 localidades do Estado do Mato Grosso.

ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO

Zoneamento agroclimático para o arroz irrigado

Numa das primeiras versões do zoneamento climático do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, foram definidas três grandes regiões denominadas Preferencial, Tolerada e Inapta (Mota et al., 1974). Posteriormente, as mesmas regiões foram utilizadas, agregando-se novas informações sobre o arroz irrigado e outras culturas (Rio Grande do Sul, 1994).

Em 1995, teve início o Projeto de Redução de Riscos Climáticos na Agricultura, que originou o Zoneamento Agrícola do Brasil, coordenado pelo então Ministério da Agricultura e do Abastecimento, cujas características são descritas por Assad (1999) e por Rossetti (1999). Uma síntese desse trabalho, envolvendo 25 artigos científicos sobre o zoneamento de riscos climáticos ou zoneamento agroclimático por épocas de semeadura, para as principais culturas do Brasil, foi publicado num número especial da Revista Brasileira de Agrometeorologia (2001).

Em 1996, por demanda do projeto previamente citado, foi elaborado o Zoneamento Agroclimático do Arroz Irrigado, contendo as épocas de semeadura recomendadas para todos os municípios do Rio Grande do Sul (Steinmetz et al., 1996). Essa publicação foi atualizada em 1999 (Steinmetz et al., 1999) e em 2001 (Steinmetz et al., 2001c).

Steinmetz et al. (2001c) verificaram que os períodos recomendados de semeadura variam em função das regiões e sub-regiões do estado e do ciclo das cultivares (Fig. 5.12 e Tabela 5.6).

Foram estabelecidos oito grandes grupos de períodos de semeadura, sendo quatro para cultivares de ciclo médio e quatro para cultivares de ciclo curto. Para as cultivares de ciclo médio, o período de semeadura pode estender-se de 21 de setembro a 20 de novembro, nas regiões mais quentes (Fronteira Oeste e Alto Vale do Uruguai), e de 21 de



outubro a 20 de novembro nas regiões mais frias (Serra do Nordeste e Planalto Superior). Para as cultivares de ciclo curto, nessas mesmas regiões, esses períodos são, respectivamente, 11 de outubro a 10 de dezembro e 1º a 30 de novembro (Fig. 5.12).

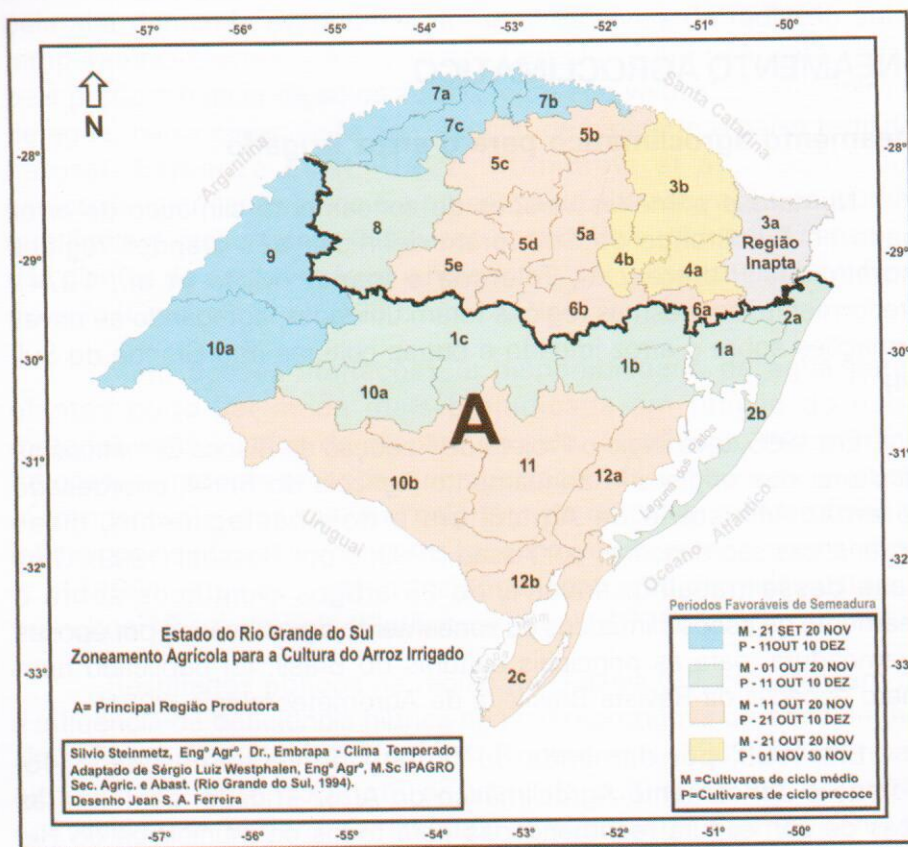


Fig. 5.12. Épocas de semeadura recomendadas para o arroz irrigado, cultivares de ciclos médio, M, e curto, P, no Estado do Rio Grande do Sul. Os números e letras correspondem às regiões e sub-regiões agroecológicas.

Fonte: Steinmetz et al. (2001c).

Encontram-se na Tabela 5.7 as informações relativas aos primeiros 20 dos 497 municípios do Rio Grande do Sul. Como exemplo, o município de Agudo pertence à sub-região 1c, e os períodos recomendados de semeadura vão de 01 de outubro a 20 de novembro para as cultivares de ciclo médio, e de 11 de outubro a 10 de dezembro para as cultivares de ciclo curto.



Tabela 5.6. Períodos recomendados de semeadura para cultivares de arroz irrigado, de ciclos curto e médio, nas regiões e sub-regiões agroecológicas do Estado do Rio Grande do Sul.

Região agroecológica	Sub-região Agroecológica	Período de Semeadura	
		Ciclo curto	Ciclo médio
7- Alto Vale do Uruguai	7a, 7b, 7c	11 de outubro a	21 de setembro a
9- São Borja - Itaqui		10 de dezembro	20 de novembro
10- Campanha	10a		
1- Depressão Central	1a, 1b, 1c		
2- Litoral	2a, 2b		
8- Missioneira de Santo Ângelo- São Luiz Gonzaga		11 de outubro a	01 de outubro a
		10 de dezembro	20 de novembro
10- Campanha	10a		
2- Litoral	2c		
5- Planalto Médio	5a, 5b, 5c, 5d, 5e		
6- Encosta Inferior da Serra do Nordeste	6a, 6b		
10- Campanha	10b	21 de outubro a	11 de outubro a
11- Serra do Sudeste		10 de dezembro	20 de novembro
12- Região das Grandes Lagoas	12a, 12b		
3- Planalto Superior	3b	01 de novembro a	21 de outubro a
4- Serra do Nordeste	4a, 4b	30 de novembro	20 de novembro
3- Planalto Superior	3a	Cultivo não recomendado	

Fonte: Steinmetz & Braga (2001).

Tabela 5.7. Exemplos de períodos de semeadura recomendados para os primeiros 20, dos 497 municípios do Rio Grande do Sul.

Municípios	Região e Sub-Região ⁽¹⁾	Período de semeadura	
		Ciclo médio	Ciclo curto
1. Aceguá	10b	11 out – 20 nov	21 out – 10 dez
2. Água Santa	5a	11 out – 20 nov	21 out – 10 dez
3. Agudo	1c	1 out – 20 nov	11 out – 10 dez
4. Ajuricaba	5c	11 out – 20 nov	21 out – 10 dez
5. Alecrim	7a	21 set – 20 nov	11 out – 10 dez
6. Alegrete	10a	21 set – 20 nov	11 out – 10 dez
7. Alegria	7c	21 set – 20 nov	11 out – 10 dez
8. Almirante Tamandaré do Sul	5c	11 out – 20 nov	21 out – 10 dez
9. Alpestre	7a	21 set – 20 nov	11 out – 10 dez
10. Alto Alegre	5d	11 out – 20 nov	21 out – 10 dez
11. Alto Feliz	6a	11 out – 20 nov	21 out – 10 dez
12. Alvorada	1a	1 out – 20 nov	11 out – 10 dez
13. Amaral Ferrador	11	11 out – 20 nov	21 out – 10 dez
14. Ametista do Sul	7a	21 set – 20 nov	11 out – 10 dez
15. André da Rocha	3b	21 out – 20 nov	1 nov – 30 nov
16. Anta Gorda	4b	21 out – 20 nov	1 nov – 30 nov
17. Antônio Prado	4a	21 out – 20 nov	1 nov – 30 nov
18. Arambaré	12a	11 out – 20 nov	21 out – 10 dez
19. Araricá	1a	1 out – 20 nov	11 out – 10 dez
20. Aratiba	7b	21 set – 20 nov	11 out – 10 dez

⁽¹⁾ Regiões e sub-regiões agroecológicas caracterizadas na Fig. 5.12.

Fonte: Steinmetz et al. (2001c).



Zoneamento agroclimático para o arroz de terras altas

Os primeiros estudos sobre zoneamento agroclimático para o arroz de terras altas no Brasil utilizavam o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (Camargo et al., 1977; Minas Gerais, 1980). Por serem em base mensal, esses estudos não permitem uma interpretação adequada dos efeitos dos veranicos. Embora alguns estudos tenham sido desenvolvidos para períodos menores, de dez dias, estes consideraram apenas a probabilidade de ocorrência de uma determinada quantidade de chuva (Alfonsi et al., 1979; Arruda et al., 1979; Steinmetz et al., 1984).

Steinmetz et al. (1988) elaboraram uma classificação agroclimática preliminar para o arroz de terras altas no Brasil a partir dos resultados de simulações do balanço hídrico, para períodos de cinco dias, de 80 localidades (Fig. 5.13). Foram consideradas cinco classes, variando de *altamente favorecida* até *altamente desfavorecida*, baseadas no índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) durante a floração e durante o ciclo da cultura. Essas classes foram estabelecidas considerando-se os valores de ISNA para a melhor época de semeadura em cada localidade. O termo ISNA é sinônimo da relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima (ET_r/ET_m). Dentre outros resultados, os autores mostram que para valores semelhantes de água disponível no solo (AD), ocorre um incremento no risco de deficiência hídrica nos sentidos norte-sul e noroeste-nordeste do país.

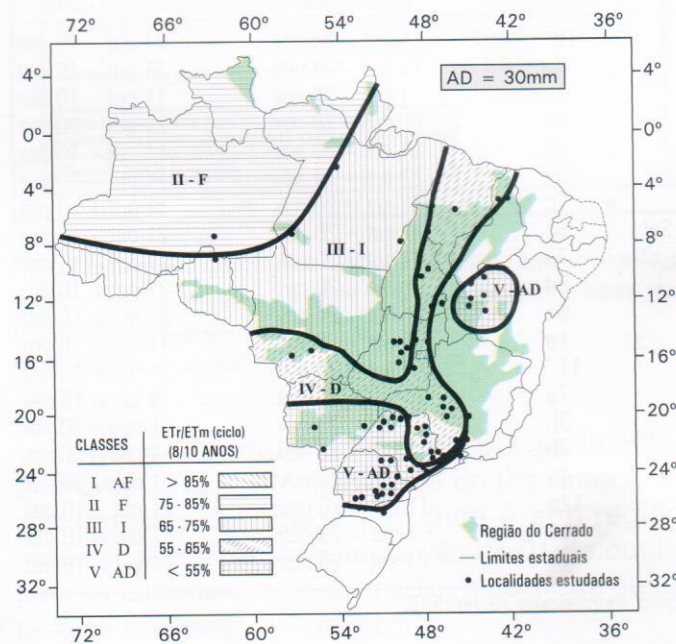


Fig. 5.13. Classificação agroclimática preliminar do arroz de terras altas no Brasil considerando-se uma cultivar de ciclo curto, 110 dias, e 30 mm de água disponível no solo (AD). Classe I=AF (Altamente Favorecida). Classe V=AD (Altamente Desfavorecida). Fonte: Steinmetz et al. (1988).

Considerando-se o valor de AD=50 mm (Fig. 5.14), observa-se que as áreas da região norte, estendendo-se até o noroeste, são classificadas como *altamente favorecidas (I-AF)* ou *favorecidas (II-F)*, enquanto as do sul enquadram-se nas classes *intermediária* ou *desfavorecida (III-IV)* e as da nordeste, em particular algumas localidades da Bahia, pertencem à classe *altamente desfavorecida (V-AD)*. A classificação agroclimática de uma dada localidade é fortemente influenciada pela quantidade de água disponível no solo. Assim, por exemplo, com AD=30 mm, a maior parte dos Cerrados é classificada como *intermediária* ou *desfavorecida* (Fig. 5.13). Com AD=50 mm, essa mesma região seria classificada como *favorecida* ou *intermediária* (Fig. 5.14) e *altamente favorecida* e *favorecida* com AD=90 mm (Fig. 5.15).

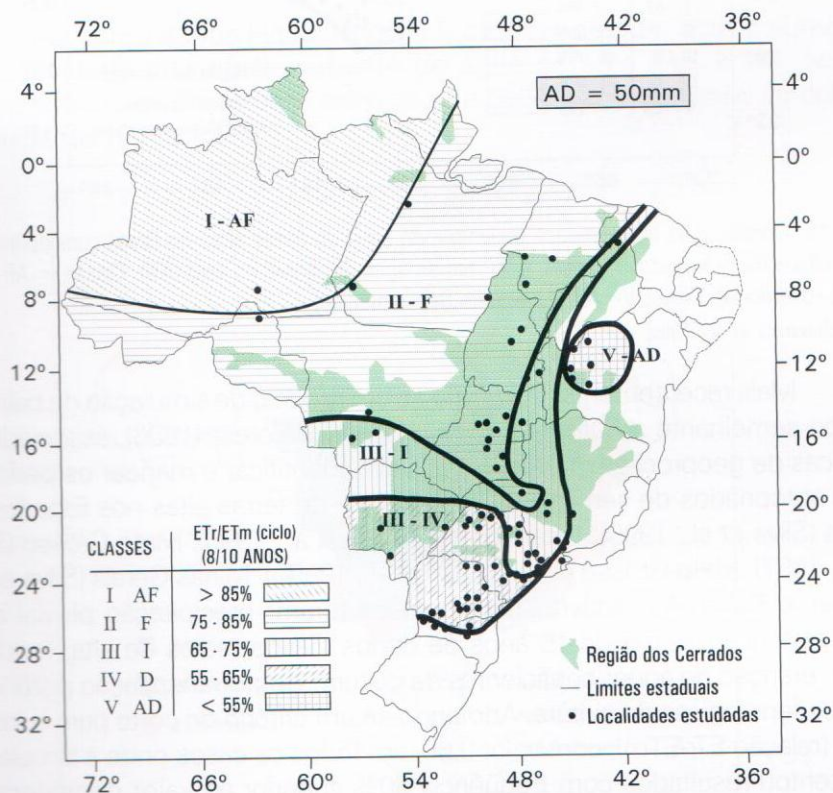


Fig. 5.14. Classificação agroclimática preliminar do arroz de terras altas no Brasil considerando-se uma cultivar de ciclo curto, 110 dias, e 50 mm de água disponível no solo (AD). Classe I=AF (Altamente Favorecida). Classe V=AD (Altamente Desfavorecida).

Fonte: Steinmetz et al. (1988).



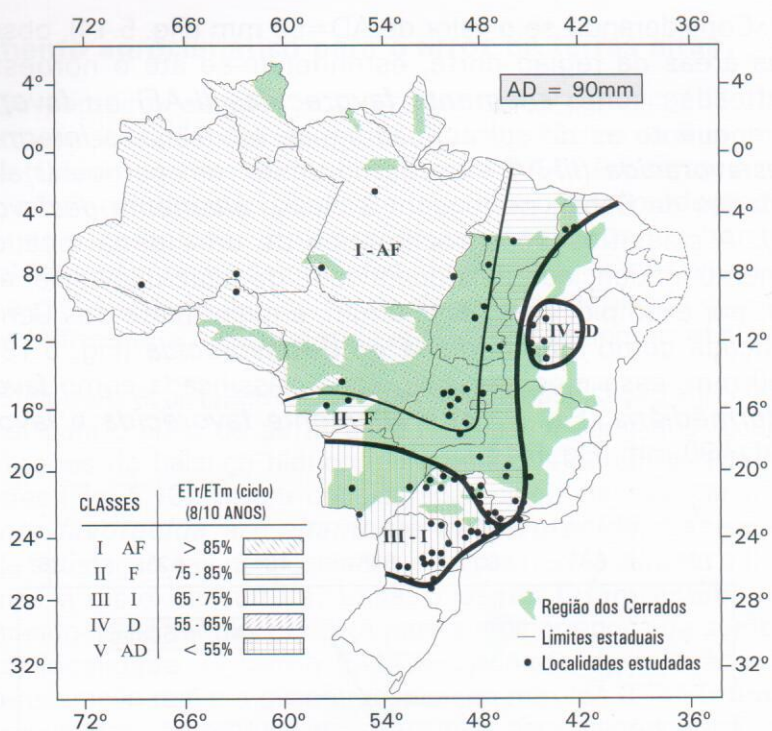


Fig. 5.15. Classificação agroclimática preliminar do arroz de terras altas no Brasil considerando-se uma cultivar de ciclo curto, 110 dias, e 90 mm de água disponível no solo (AD). Classe I=AF (Altamente Favorecida). Classe V=AD (Altamente Desfavorecida).

Fonte: Steinmetz et al. (1988).

Mais recentemente, utilizando-se um modelo de simulação de balanço hídrico semelhante ao utilizado por Steinmetz & Forest (1986), associado às técnicas de geoprocessamento, foi possível identificar e mapear os períodos mais apropriados de semeadura para o arroz de terras altas nos Estados de Goiás (Silva et al., 1995), Tocantins (Meireles et al., 1995), Mato Grosso (Silva et al., 1997), Mato Grosso do Sul (Silva et al., 1999b), Minas Gerais (Silva et al., 1999a), e Bahia. As variáveis consideradas foram: precipitação pluvial com série histórica mínima de 15 anos de dados diários; solos de alta, média e baixa retenção de água; coeficientes de cultura; evapotranspiração potencial; e fases fenológicas da cultura. Adotando-se um critério de corte para o índice ISNA (relação ETr/ETm), com valor 0,65, em todos os casos onde a simulação apresentou resultados com frequência 80% superior ao valor considerado, a data foi considerada boa para semeadura.

150

Observa-se nas Fig. de 5.16 a 5.19, envolvendo vários períodos de semeadura, diferentes solos e cultivares de ciclos distintos, como é heterogênea a demanda pluvial e como este fato, associado às condições

de armazenamento de água no solo, resulta em variação espacial do risco climático para o arroz de terras altas.

Para solos com capacidade de armazenamento de água de 30 mm, cultivar de 110 dias de ciclo e plantio entre 01 e 10 de novembro, observa-se, na Fig. 5.16, que regiões situadas no Pantanal e sul do Mato Grosso do Sul, norte de Minas Gerais, sul do Tocantins e o Estado da Bahia apresentam condições de alto risco climático para o cultivo do arroz de terras altas, enquanto regiões localizadas no Estado do Mato Grosso, centro-norte do Mato Grosso do Sul e sul de Minas Gerais apresentam condições de baixo risco climático.

Considerando-se a semeadura de 01 a 10 de novembro, cultivar de ciclo de 110 dias e solo com capacidade de armazenamento de água de 50 mm, verifica-se, na Fig. 5.17, que cerca de 70% da área apresenta condição de baixo risco climático ao cultivo do arroz de terras altas.

Ao comparar as Fig. 5.16 e 5.17, observa-se que, com o aumento da capacidade de armazenamento de água no solo (Fig. 5.17), ocorre um acréscimo de áreas com condição de baixo risco climático ao cultivo do arroz de terras altas.

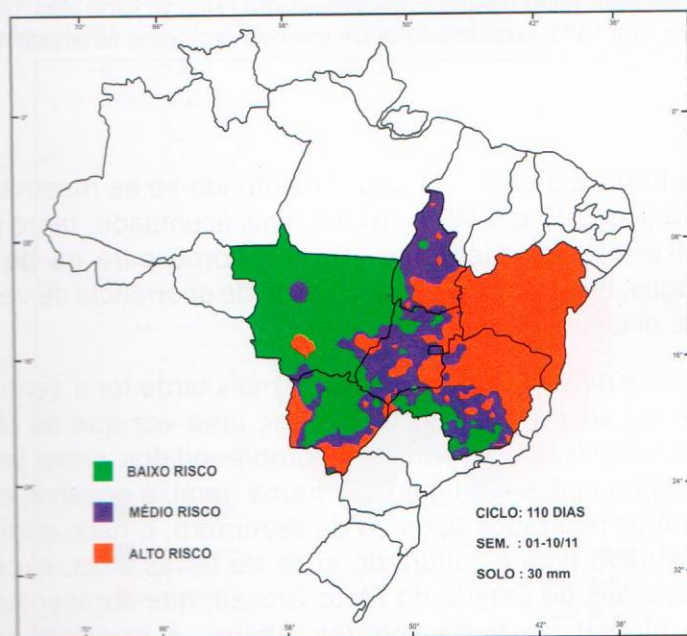


Fig. 5.16. Espacialização de riscos climáticos para semeadura do arroz de terras altas, ciclo de 110 dias, no período de 01 a 10/11, considerando-se um solo com capacidade de armazenamento de água de 30 mm.

Fonte: Silva & Assad (2001).



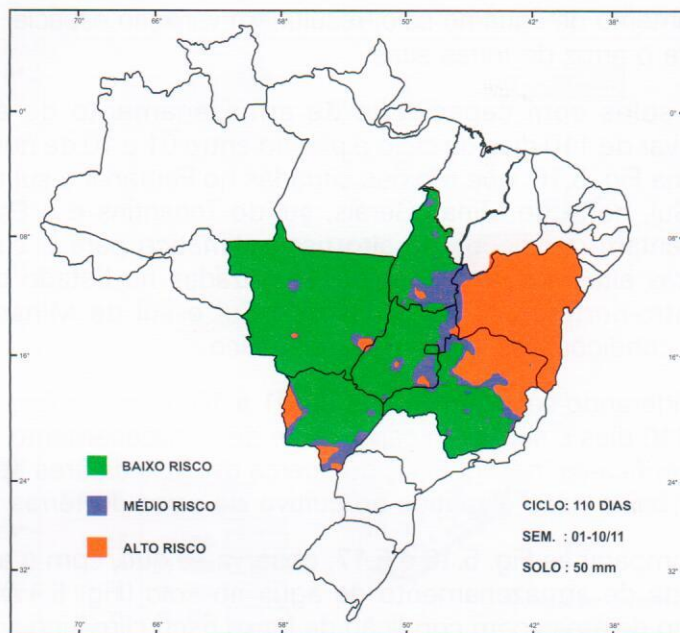


Fig. 5.17. Espacialização de riscos climáticos para semeadura do arroz de terras altas, ciclo de 110 dias, no período de 01 a 10/11, considerando-se um solo com capacidade de armazenamento de água de 50 mm.

Fonte: Silva & Assad (2001).

Variando o ciclo para 135 dias e mantendo-se as mesmas datas de semeadura (Fig. 5.17 e 5.18), o risco é mais acentuado, tanto para os solos de baixa retenção de água, 30 mm, como para os de média retenção de água, 50 mm. Nesse caso, o risco de ocorrência de veranicos no estágio de enchimento de grãos é maior.

O risco de perda se acentua quanto mais tarde for a semeadura, independente do solo e do ciclo da cultivar, uma vez que as chances de ocorrerem veranicos nos períodos compreendidos entre janeiro e fevereiro são acentuadas na região. De forma geral, é possível concluir que, para plantios realizados após 20 de dezembro, o risco climático é bastante acentuado para a cultura do arroz de terras altas, exceto em algumas localidades do Estado do Mato Grosso, que apresentam uma distribuição pluvial bastante regular. Assim, é possível realizar semeadura do arroz de terras altas até meados de janeiro em regiões localizadas, principalmente, no centro-norte do Estado de Mato Grosso.



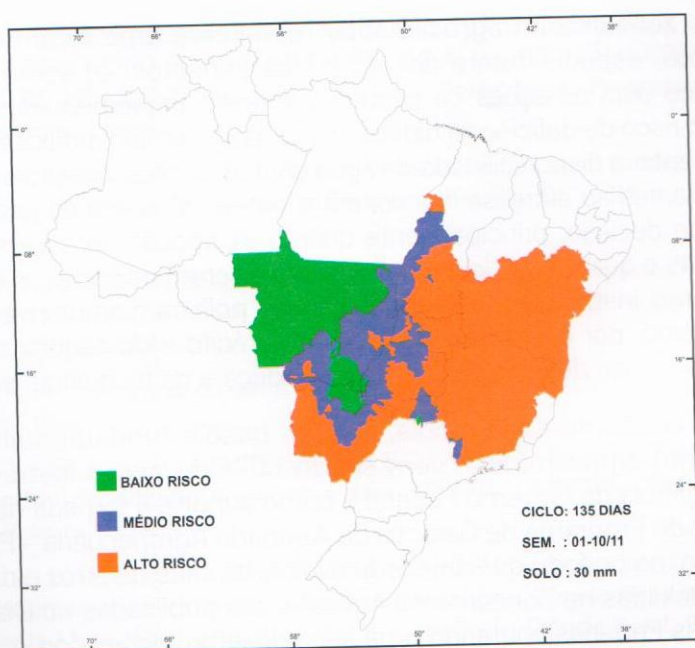


Fig. 5.18. Espacialização de riscos climáticos para semeadura do arroz de terras altas, ciclo de 135 dias, no período de 01 a 10/11, considerando-se um solo com capacidade de armazenamento de água de 30 mm.
Fonte: Silva & Assad (2001).

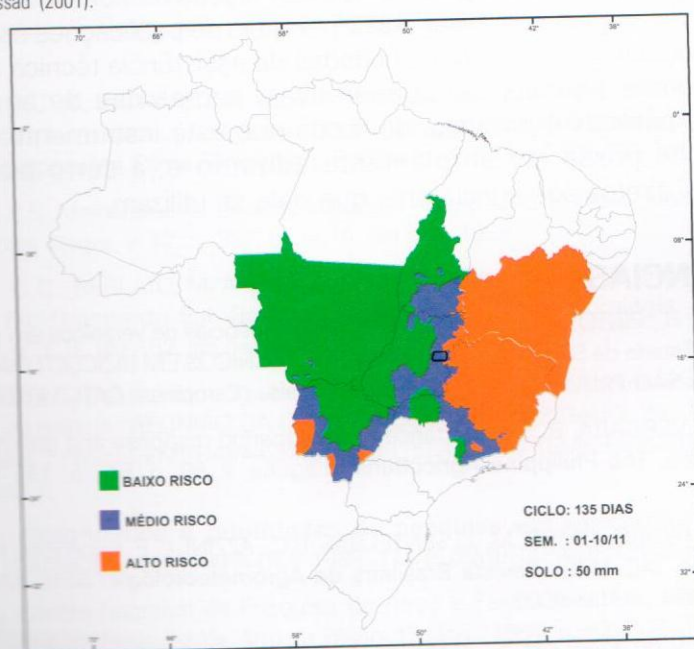


Fig. 5.19. Espacialização de riscos climáticos para semeadura do arroz de terras altas, ciclo de 135 dias, no período de 01 a 10/11, considerando-se um solo com capacidade de armazenamento de água de 50 mm.
Fonte: Silva & Assad (2001).



O zoneamento agroclimático representa uma ferramenta muito importante, especialmente devido a três aspectos: a) serve como um diagnóstico para as ações de pesquisa a serem implementadas visando a diminuir o risco de deficiência hídrica, como, por exemplo, práticas de manejo para aumentar a disponibilidade de água para as plantas, criação de cultivares mais tolerantes ao estresse hídrico, entre outras; b) auxilia os produtores na tomada de decisão, principalmente quanto às épocas de semeadura mais apropriadas e quanto ao ciclo das cultivares a serem utilizadas; e c) pode ser usado como instrumento de orientação da política governamental para a cultura, como, por exemplo, orientação do crédito e do seguro agrícola em função dos níveis de risco de deficiência hídrica e da tecnologia empregada.

O Zoneamento Agrícola, que se baseia fundamentalmente no zoneamento agroclimático, vem sendo utilizado como instrumento de Política Agrícola do Governo Federal e como suporte à tomada de decisões no âmbito do Programa de Garantia da Atividade Agropecuária – PROAGRO. A cada ano, no período que antecede o início da safra do arroz e das demais culturas incluídas no Zoneamento Agrícola, são publicadas no Diário Oficial da União as Portarias contendo uma série de informações como: cultivares inscritas no Registro Nacional de Cultivares (RNC), no âmbito do Zoneamento Agrícola; épocas recomendadas de semeadura em nível de município; e tipos de solo aptos para o plantio. As informações do Zoneamento Agrícola estão sendo amplamente divulgadas, por meio de publicações e via Internet, às associações de produtores, entidades de assistência técnica e extensão rural, agentes financeiros, cooperativas, secretarias de agricultura e entidades públicas e privadas, de modo que este instrumento de avanço tecnológico possa ser amplamente adotado e, a curto prazo, trazer benefícios diretos aos agricultores que dele se utilizam.

REFERÊNCIAS

- ALFONSI, R. R.; PINTO, H. S.; ARRUDA, H. V. de. Freqüências de veranicos em regiões rizícolas do Estado de São Paulo. In: REUNIÃO DE TÉCNICOS EM RIZICULTURA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1., 1979, Campinas. **Anais...** Campinas: CATI, 1979. p. 147-151.
- ALLURI, K.; VERGARA, B. S. Importance of photoperiod response and growth duration in upland rice. **The Philippine Agriculturist**, Laguna, v. 59, n. 5/6, p. 147-158, Oct./Nov. 1975.
- ALVES, V. C.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; SENTELHAS, P. C.; AZZINI, L. E. Exigências térmicas do arroz irrigado 'IAC 4440'. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 171-174, jul./dez. 2000.
- ARRUDA, H. V. de; PINTO, H. S.; ALFONSI, R. R. Probabilidade de estiagens nos meses de janeiro e fevereiro na região de Campinas. In: REUNIÃO DE TÉCNICOS EM RIZICULTURA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1., 1979, Campinas. **Anais...** Campinas: CATI, 1979. p. 143-145.



- ASSAD, E. D. Metodologias para zoneamento de riscos climáticos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Programa e resumo dos anais**. Florianópolis: SBA, 1999. p. 79-85.
- ASSIS, F. N. de; MENDEZ, M. E. G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 24, n. 7, p. 797-800, jul. 1989.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña**: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110 p.
- BERNARDES, B. C. Irrigação do arroz. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v. 10, n. 17, p. 371-382, set. 1956.
- BUENO, L. G.; ROLIM, R. B.; MONTEIRO, P. M. F. O.; NEIVA, L. C. S.; STEINDORFF, A. P. **Estudos de fotoperiodismo em arroz e soja**. Goiânia: EMGOPA, 1981. 82 p. (EMGOPA. Boletim Técnico, 9).
- BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F. M.; HOFFMANN, A. Ocorrência e duração das temperaturas mínimas diárias do ar prejudiciais à fecundação das flores do arroz em Santa Maria, RS. I. probabilidades de ocorrência. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 23-34, jan./abr. 1991.
- CAMARGO, A. P. de; ALFONSI, R. R.; PINTO, H. S.; CHIARINI, J. V. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em áreas de Cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4., 1976, Brasília, DF. **Bases para utilização agropecuária**: anais. São Paulo: USP, 1977. p. 89-120.
- CAMPOS, C. R. J. de; STEINMETZ, S. Aspectos sinóticos da ocorrência de temperaturas baixas durante a fase reprodutiva do arroz irrigado na região sul do Rio Grande do Sul: estudo de casos. *Agropecuária Clima Temperado*, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 121-133, jun. 2001.
- CARMONA, P. S. Melhoramento de arroz irrigado na Região Sul do Brasil. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v. 42, n. 387, p. 14-16, set./out. 1989.
- CARMONA, L. C.; BERLATO, M. A. El Niño e La Niña e o rendimento do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 147-152, jan./jun. 2002.
- EBERHARDT, D. S. Consumo de água em lavoura de arroz irrigado sob diversos métodos de preparo do solo. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 20., 1993, Pelotas. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1993. p. 173-176. (EMBRAPA-CPACT. Documentos, 1).
- EMBRAPA. **Diagnóstico e prioridades de pesquisa em agricultura irrigada: região sul**. Brasília, DF: EMBRAPA-DEP, 1988. 174 p. (EMBRAPA-DEP. Documentos, 34).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Relatório científico**: Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. Goiânia, 1984. p. 92-113.
- ESPINOZA, W.; AZEVEDO, L. G. de; JARRETA JUNIOR, M. **O clima da região dos Cerrados em relação à agricultura**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1982. 37 p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 9).



- FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz**. Rio de Janeiro: Campus; Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1984. 341 p.
- FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos de culturas**. Brasília, DF: EMBRAPA-DPU, 1989. 425 p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 18).
- GUAZZELLI, R. J.; PINHEIRO, B. da S.; BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; STEINMETZ, S.; CASTRO, T. de A. P. e; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Melhoramento vegetal para resistência à seca nas condições do Cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 5., 1979, Brasília, DF. **Cerrado: uso e manejo: anais**. Brasília, DF: EMBRAPA-CPAC, 1980. p. 731-747.
- INFELD, J. A.; SILVA, J. B. da; ASSIS, F. N. de. Temperatura-base e graus-dia durante o período vegetativo de três grupos de cultivares de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 187-191, jul./dez. 1998.
- KLUTHCOUSKI, J.; PINHEIRO, B. da S.; YOKOYAMA, L. P. O arroz nos sistemas de cultivo do cerrado. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE, 9.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 5., 1994, Goiânia. **Arroz na América Latina: perspectivas para o incremento da produção e do potencial produtivo**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. v. 1, p. 95-115. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 60).
- KLUTHCOUSKI, J.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; RAISSAC, M. M. de; MOREIRA, J. A. A. O arroz nos sistemas agrícolas do cerrado. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 3., 1987, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1991. p. 282-330. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 25).
- KWON, Y. W.; KIM, D. S.; PARK, S. W. Effect of soil temperature on the emergence-speed of rice and barnyardgrasses under dry direct-seeding conditions. **Korean Journal of Weed Science**, Seoul, v. 16, n. 2, p. 81-87, 1996.
- LOBATO, E. J. V.; SILVA, S. C. da. **Parâmetros meteorológicos, fenologia e produtividade do arroz de sequeiro sob condições de cerrado**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. 11 p. (EMBRAPA-CNPAP. Comunicado Técnico, 30).
- MARCOLIN, E.; CORRÊA, N. I.; LOPES, M. S.; MACEDO, V. R. M.; MARQUES, J. B. B. Determinação do consumo de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 263-265.
- MEIRELES, E. J. L.; SILVA, S. C. da; ASSAD, E. D.; LOBATO, E. J. V.; BEZERRA, H. da S.; EVANGELISTA, B. A.; MOREIRA, L.; CUNHA, M. A. C. da. **Zoneamento agroclimático para o arroz de sequeiro no Estado do Tocantins**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. 72 p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 58).
- MENDEZ DEL VILLAR, P.; FERREIRA, C. M.; GAMEIRO, A. H.; ALMEIDA, P. N. A. **Arroz de terras altas em Mato Grosso: evolução tecnológica e dinâmica territorial**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 23 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 143).
- MINAS GERAIS. Secretaria de Estado da Agricultura. **Zoneamento agroclimático do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1980. 114 p.
- MONSI, M.; SAEKI, T. Über den lictfaktor in den pflanzengesellschaften und sein bedeutung für die stoffproduktion. **Japanese Journal of Botany**, Tokyo, v. 14, n. 1, p. 22-52, 1953.



- MONTEITH, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, Oxford, v. 9, n. 3, p. 747-766, Dec. 1972.
- MOTA, F. S. da. Disponibilidade de radiação solar e risco de frio no período reprodutivo do arroz irrigado em diferentes regiões do Rio Grande do Sul. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v. 48, n. 424, p. 8-10, nov./dez. 1995.
- MOTA, F. S. da. Influência da radiação solar e do "frio" no período reprodutivo sobre o rendimento do arroz irrigado em Pelotas e Capão do Leão. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v. 47, n. 413, p. 22-23, mar./abr. 1994.
- MOTA, F. S. da. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre o rendimento e a necessidade de irrigação do arroz na região de Pelotas (RS). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. *Anais...* Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 169-172.
- MOTA, F. S. da; GOMES, A. S. Adaptação de cultivares de arroz de alto rendimento no Rio Grande do Sul. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 23, n. 2, p.147-156, abr. 1971.
- MOTA, F. S. da; ZAHLER, P. J. M. *Clima, agricultura e pecuária no Rio Grande do Sul*. Pelotas: Mundial, 1994. p. 23-30.
- MOTA, F. S. da; BEIRSDORF, M. I. C.; ACOSTA, M. J. C.; MOTTA, W. A.; WESTPHALEN, S. L. *Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Pelotas: IPEAS, 1974. v. 2, 122 p. (IPEAS. Circular Técnica, 50).
- MOTA, F. S. da; ROSSKOFF, J. L. da C.; SILVA, J. B. da. Probabilidade de ocorrência de dias com temperaturas iguais ou superiores a 35°C no florescimento do arroz no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 147-149, jan./jun. 1999.
- MOTTA, F. S. da; ALVES, E. G. P.; BECKER, C. T. Informação climática para planejamento da necessidade de água para irrigação do arroz no Rio Grande do Sul. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v. 43, n. 392, p. 3-6, set./out. 1990.
- MUELLER, S. *Influência da adubação nitrogenada sobre o rendimento e outros parâmetros de três cultivares de arroz irrigado (Oryza sativa L.)*. 1980. 191 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- MUELLER, Z.; ASSIS, F. N. de; GOMES, A. S. Radiação solar, arquitetura de planta e doses de nitrogênio em arroz irrigado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO 9., 1979, Pelotas. *Anais...* Porto Alegre: IRGA, 1979. p. 66-68.
- NISHIYAMA, I.; ITO, N.; HAYASE, H.; SATAKE, T. Protecting effect of temperature and depth of irrigation water from sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage of rice plants. *Proceedings of the Crop Science Society of Japan*, v. 38, n. 3, p. 554-555, Sept. 1969.
- OMETTO, J. C. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425 p.
- PEDROSO, B. A. *Arroz irrigado: obtenção e manejo de cultivares*. Porto Alegre: Sagra, 1982. 175 p.
- PINHEIRO, B. da S.; STEINMETZ, S.; STONE, L. F.; GUIMARÃES, E. P. Tipo de planta, regime hídrico e produtividade do arroz de sequeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 20, n. 1, p. 87-95, jan. 1985.



REVISTA BRASILEIRA DE AGROMETEOROLOGIA. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, v. 9, n. 3, dez. 2001. Número especial.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura e Abastecimento.

Macrozoneamento agroecológico e econômico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento; Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1994. 2 v.

ROSSETTI, L. A. Segurança e zoneamento agrícola no Brasil. Novos rumos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Programa e resumo dos anais.** Florianópolis: SBA, 1999. p. 57-78.

SACHET, Z. P. **Consumo de água de duas cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) em três tratamentos de irrigação.** 1977. 90 p. Tese (Mestrado em Hidrologia Aplicada) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANDANIELO, A.; SILVA, S. C. da; STEINMETZ, S. **Recomendações de épocas de plantio para o arroz de sequeiro em Mato Grosso.** Cuiabá: EMPAER-MT, 1992. 49 p. (EMPAER-MT. Boletim de Pesquisa, 1).

SATAKE, T. Sterile-type cool injury in paddy rice plants. In: IRRI. **Climate and rice.** Los Baños, 1976. p. 281-300.

SEGUY, L.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J. G. da; BLUMENSCHNEIN, F. N.; DALL'ACQUA, F. M. **Técnicas de preparo do solo:** efeitos na fertilidade e na conservação do solo, nas ervas daninhas e na conservação de água. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1984. 26 p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular Técnica, 17).

SILVA, S. C. da; ASSAD, E. D. Zoneamento de riscos climáticos para o arroz de sequeiro nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 536-543, dez. 2001.

SILVA, S. C. da; ASSAD, E. D.; LOBATO, E. J. V.; SANO, E. E.; STEINMETZ, S.; BEZERRA, H. da S.; CUNHA, M. A. C. da; SILVA, F. A. M. da. **Zoneamento agroclimático para o arroz de sequeiro no Estado de Goiás.** Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1995. 80 p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 43).

SILVA, S. C. da; MEIRELES, E. J. L.; ASSAD, E. D.; XAVIER, L. de S.; CUNHA, M. A. C. da. **Caracterização do risco climático para a cultura do arroz de terras altas no Estado de Mato Grosso.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1997. 72 p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 76).

SILVA, S. C. da; MEIRELES, E. J. L.; ASSAD, E. D.; XAVIER, L. de S.; CUNHA, M. A. C. da. **Zoneamento agroclimático para o cultivo do arroz de terras altas no Estado de Minas Gerais.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999a. 64 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 97).

SILVA, S. C. da; MEIRELES, E. J. L.; XAVIER, L. de S.; BARSÍ, R. de O.; ALVES, S. de F. **Zoneamento agroclimático para o cultivo do arroz de terras altas no Estado de Mato Grosso do Sul.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 1999b. 67 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 91).



SILVA, S. C. da; SANTANA, N. M. P. de; CARDOSO, G. M.; PELEGRINI, J. C. **Informações meteorológicas para pesquisa e planejamento agrícola, referentes ao município de Santo Antônio de Goiás, GO: 2002.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 30 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 145).

SOUZA, A. de; COSTA, J. M. N. da. Temperatura base para cálculo de graus-dia para cultivares de arroz no Triângulo Mineiro. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 45, n. 400, p. 24-28, jan./fev. 1992.

STEINMETZ, S. Influência do clima na cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃE JÚNIOR, A. M. de (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 45-74.

STEINMETZ, S.; BRAGA, H. J. Zoneamento de arroz irrigado por épocas de semeadura nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 429-438, dez. 2001.

STEINMETZ, S.; FOREST, F. **Caracterização das épocas de plantio mais apropriadas para o arroz de sequeiro no Estado de Goiás.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1986. 33 p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular Técnica, 22).

STEINMETZ, S.; REYNIERS, F. N.; LIU, W. T. H. Favorable rainfall periods in upland rice regions of Brazil. In: UPLAND RICE WORKSHOP, 1982, Bouaké, Ivory Coast. **An overview of upland rice research: proceedings.** Los Baños: IRRI, 1984. p. 275-281.

STEINMETZ, S.; MORAES, J. F. V.; OLIVEIRA, I. P. de; MORAIS, O. P.; MOREIRA, J. A.; PRABHU, A. S.; FERREIRA, E.; SILVEIRA FILHO, A. Upland rice environments in Brazil and the fitness of improved technologies. In: INTERNATIONAL UPLAND RICE CONFERENCE, 2., 1985, Jakarta, Indonesia. **Progress in upland rice research: proceedings.** Manila: IRRI, 1986. p. 15-24.

STEINMETZ, S.; REYNIERS, F. N.; FOREST, N. **Caracterização do regime pluviométrico e do balanço hídrico do arroz de sequeiro em distintas regiões produtoras do Brasil: síntese e interpretação dos resultados.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1988. 66 p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 23).

STEINMETZ, S.; SOUZA, R. de O.; GOMES, A. da S. Balanço de radiação solar na cultivar BR-Irga 414 em semeadura direta. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 20., 1993, Pelotas. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1993. p. 104-106. (EMBRAPA-CPACT. Documentos, 1).

STEINMETZ, S.; INFELD, J. A.; MALUF, J. R. T.; SOUZA, P. R. de; BUENO, A. C. **Zoneamento agroclimático da cultura do arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul: recomendação de épocas de semeadura por município.** Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1996. 30 p. (EMBRAPA-CPACT. Documentos, 19).

STEINMETZ, S.; INFELD, J. A.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; OLIVEIRA, J. C. S. de; AMARAL, A. G.; FERREIRA, J. S. A. **Zoneamento agroclimático do arroz irrigado por épocas de semeadura no Estado do Rio Grande do Sul.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. 28 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 56).

STEINMETZ, S.; ASSIS, F. N. de; BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; AMARAL, A. G.; FERREIRA, J. S. A. Regionalização do risco de ocorrência de temperaturas mínimas do ar prejudiciais à fecundação das flores de arroz no estado do Rio Grande do Sul. **Agropecuária Clima Temperado**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 79-91, junho, 2001a.



STEINMETZ, S.; ASSIS, F. N. de; BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; DIDONÉ, I. A.; OLIVEIRA, H. T. de; SIMONETI, C. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas do ar prejudiciais à fecundação das flores de arroz em distintas regiões produtoras do estado do Rio Grande do Sul. **Agropecuária Clima Temperado**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 63-77, jun. 2001b.

STEINMETZ, S.; INFELD, J. A.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; MARIOT, C. H. P.; AMARAL, A. G.; FERREIRA, J. S. A. **Zoneamento agroclimático do arroz irrigado por épocas de semeadura no Estado do Rio Grande do Sul (versão 3)**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001c. 31 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 81).

STONE, L. F.; PINHEIRO, B. da S.; SILVEIRA, P. M. da. Sprinkler-irrigated rice under Brazilian conditions. **International Rice Commission Newsletter**, Roma, v. 39, p. 37-40, 1990.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da; AQUINO, A. R. L. **Demanda de água da cultura de arroz irrigado**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1980. 44 p. (EMBRAPA-CNPAF. Comunicado Técnico, 5).

TANAKA, I. Climatic influence on photosynthesis and respiration of rice. In: IRRI. **Climate and rice**. Los Baños, 1976. p. 223-247.

TERRES, A. L. Melhoramento de arroz irrigado por tolerância ao frio no Rio Grande do Sul, Brasil. In: REUNION SOBRE MEJORAMIENTO DE ARROZ EN EL CONO SUR, 1989, Goiânia. **Mejoramiento de arroz**. Montevideo: IICA, 1991. p. 91-103. (IICA. Dialogo, 33).

TERRES, A. L.; GALLI, J. Efeitos do frio em cultivares de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária de Terras Baixas e Clima Temperado. **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 83-94.

TERRES, A. L.; RIBEIRO, A. S.; MACHADO, M. O. Progress in breeding for cold-tolerant semidwarf rice in Rio Grande do Sul, Brazil. In: TEMPERATE RICE CONFERENCE, 1994, Yanco. **Proceedings...** Riverina: Charles Sturt University, 1994. v. 1, p. 43-50.

UPLAND rice in Brazil: EMBRAPA. In: UPLAND RICE WORKSHOP, 1982, Bouaké, Ivory Coast. **An overview of upland rice research: proceedings**. Los Baños: IRRI, 1984. p. 121-134.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: IRRI, 1981. 269 p.

YOSHIDA, S. Rice. In: IRRI. **Potential productivity of field crops under different environments**. Los Baños, 1983. p. 103-127.

YOSHIDA, S.; PARAO, F. T. Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. In: IRRI. **Climate and rice**. Los Baños, 1976. p. 471-494.



A Cultura do Arroz no Brasil

2ª Edição
Revista e ampliada



Alberto Baêta dos Santos
Luís Fernando Stone
Noris Regina de Almeida Vieira
Editores técnicos

Embrapa

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

A Cultura do Arroz no Brasil

2ª Edição
Revista e ampliada

Alberto Baêta dos Santos
Luís Fernando Stone
Noris Regina de Almeida Vieira
Editores técnicos

Embrapa Arroz e Feijão
Santo Antônio de Goiás, GO
2006