

Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência - diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho

Isabel Lago^{1*}, Nereu Augusto Streck², Melissa Pizaroglo de Carvalho³, Lovane Klein Fagundes³, Gizelli Moiano de Paula¹, Sidinei José Lopes²

RESUMO

A temperatura é o principal elemento meteorológico que afeta o desenvolvimento do arroz. O efeito da temperatura sobre o desenvolvimento vegetal é comumente representado pela soma térmica, sendo necessário para o seu cálculo, o conhecimento da temperatura base (Tb). O objetivo neste trabalho foi estimar a Tb para o subperíodo emergência - diferenciação da panícula, para nove genótipos de arroz cultivado e dois biótipos de arroz vermelho. Um experimento a campo foi conduzido durante três anos agrícolas (2003/2004, 2004/2005 e 2005/2006), com várias épocas de semeadura em cada ano, em Santa Maria, RS, Brasil. As plantas de arroz foram cultivadas em vasos de 12 litros, preenchidos com solo do local, enterrados e mantidos com uma lâmina de água de 5 a 7 cm a partir do momento em que atingiram três folhas expandidas. Foram usados nove genótipos de arroz cultivado (IRGA 421, IRGA 416, IRGA 417, IRGA 420, BRS 7 TAIM, BR-IRGA 409, EPAGRI 109, EEA 406 e um híbrido) e dois biótipos de arroz vermelho (casca amarela aristado (AVCAA) e casca preta aristado (AVCPA)). A Tb foi estimada por dez métodos descritos na literatura. Os valores de Tb foram diferentes, dependendo do método de cálculo e variaram, considerando as médias de todos os métodos, de 6,9 (BRS 7 TAIM) a 10,9°C (IRGA 421) entre os genótipos de arroz cultivado, e de 9,9 (AVCPA) a 10,5°C (AVCAA), para os biótipos de arroz vermelho.

Palavras-chave: desenvolvimento, fenologia, soma térmica.

ABSTRACT

Estimating base temperature of the emergence – panicle differentiation phase in cultivated rice and red rice

Temperature is the major meteorological factor that drives development in rice. The effect of temperature on plant development is often represented by the thermal time concept, where base temperature (Tb) is needed for the calculation of thermal time. The objective of this study was to estimate the base temperature (Tb) of the emergence – panicle differentiation phase in nine cultivated rice genotypes and two red rice biotypes. A three-year field experiment (2003/2004, 2004/2005, and 2005/2006) with several sowing dates each year was conducted in Santa Maria, RS, Brazil. Plants

Recebido para publicação em maio de 2008 e aprovado em maio de 2009

¹ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Centro de Ciências Rurais (CCR), Departamento de Fitotecnia (DF), Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Av. Roraima, 1000, Campus Universitário. 97105-900, Santa Maria, RS. *Autora correspondente: E-mail: isalago08@yahoo.com.br, gizellidepaula@gmail.com

² UFSM, CCR, DF, Av. Roraima, 1000, Campus Universitário. 97105-900, Santa Maria, RS. E-mail: nstreck1@smail.ufsm.br, sjlopes@ceta.ccr.ufsm.br

³ UFSM, CCR, DF, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Av. Roraima, 1000, Campus Universitário. 97105-900, Santa Maria, RS. E-mail: pizaroglo@bol.com.br, lovklein@yahoo.com.br

were grown in 12-liter pots filled with local soil, buried, and kept with a 5 to 7 cm water layer from the time plants had three expanded leaves. Nine cultivated rice genotypes (IRGA 421, IRGA 416, IRGA 417, IRGA 420, BRS 7 TAIM, BR-IRGA 409, EPAGRI 109, EEA 406 and a hybrid) and two red rice biotypes (awned yellow hull and awned black hull) were used. Base temperature was estimated with ten methods described in the literature. The T_b was different depending upon the calculation method and, on the average of all methods, varied from 6.9°C (BRS 7 TAIM) to 10.9°C (IRGA 421) among the cultivated rice genotypes and from 9.9°C (awned black hull) to 10.5°C (awned yellow hull) for the red rice biotypes.

Key words: development, phenology, thermal time.

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das principais culturas de verão do Estado do Rio Grande do Sul, que é o maior produtor de arroz da Federação, representando 77% do arroz irrigado colhido no País (Azambuja *et al.*, 2004). Anualmente são cultivados em torno de um milhão de hectares, no Rio Grande do Sul, com uma produtividade média de 6,7 t ha⁻¹ (IRGA, 2007). Esta produtividade, no entanto, está abaixo do potencial da cultura obtido em áreas experimentais que, para cultivares modernos, como o IRGA 410, IRGA 417 e IRGA 420 alcançam 11 a 12 t ha⁻¹ (Mariot *et al.*, 2003; Lopes *et al.*, 2005). Dentre os fatores que contribuem para que o rendimento do arroz irrigado seja menor que o rendimento potencial, no Rio Grande do Sul, destaca-se a presença do arroz vermelho (*Oryza sativa* L.), considerada a principal planta daninha de lavouras orizícolas (Marchezan *et al.*, 2004).

A duração do ciclo de desenvolvimento desempenha um papel importante na determinação do rendimento da cultura do arroz (Horie, 1994; Fukai, 1999). A diferenciação da panícula é um importante momento, no ciclo de desenvolvimento do arroz, pois esse estágio de desenvolvimento marca a transição do período vegetativo para o período reprodutivo e modifica-se a relação fonte-dreno na planta, já que ocorre a translocação de fotoassimilados para o crescimento da estrutura reprodutiva (panícula). Sob o ponto de vista de manejo da cultura do arroz, é neste momento que deve ser aplicada a segunda adubação nitrogenada de cobertura (SOSBAI, 2005).

O desenvolvimento das plantas e a produtividade da cultura do arroz dependem do genótipo e das condições ambientais durante o desenvolvimento. Entre os fatores ambientais, a temperatura é o principal elemento meteorológico que afeta o desenvolvimento da planta de arroz (Gao *et al.*, 1992; Infeld *et al.*, 1998). A maneira mais simples e frequentemente usada para descrever o efeito da temperatura sobre o desenvolvimento vegetal é a soma térmica, cuja unidade é °C dia (Gilmore & Rogers, 1958; McMaster & Smika, 1988). Na clássica equação de cálculo dos graus-dia, subtrai-se, da temperatura média do ar

(diária ou horária), a temperatura base da espécie (Arnold, 1959). Assim, a escolha de uma temperatura base adequada é fundamental para uma maior precisão nas estimativas da duração dos subperíodos de desenvolvimento.

A temperatura base (T_b) é definida como o valor da temperatura do ar abaixo da qual o desenvolvimento da planta é paralisado ou ocorre em taxas muito reduzidas, que, para fins de cálculo, podem ser desprezadas (Yang *et al.*, 1995; Lozada & Angelocci, 1999; Barbano *et al.*, 2002). O conceito de T_b pode ser descrito tanto fisiologicamente como estatisticamente. Fisiologicamente, é assumido que o desenvolvimento da cultura cessa quando a temperatura está abaixo de um determinado valor. No entanto, determinar fisiologicamente a T_b é uma tarefa difícil e cada fase do desenvolvimento pode ter uma T_b diferente. Estatisticamente, a T_b é aquela que resulta na menor variação dos graus-dia acumulados para uma determinada fase (Yang *et al.*, 1995).

Na maioria dos casos a T_b é determinada por métodos estatísticos com base em dados de observações fenológicas e de temperatura média do ar. Os métodos estatísticos, mais comumente utilizados são: desvio padrão em dias e graus-dia, coeficiente de variação em dias e graus-dia, coeficiente de regressão e intersecção das abscissas (Arnold, 1959; Yang *et al.*, 1995; Infeld *et al.*, 1998; Lozada & Angelocci, 1999; Andrade *et al.*, 2005; Barbano *et al.*, 2002). Esses métodos estatísticos são uma ferramenta importante na estimativa da T_b , porém, em virtude das aproximações existentes, poderão ocorrer diferenças entre a T_b fisiológica e a T_b determinada estatisticamente (Arnold, 1959). Assim, a utilização dos valores de T_b obtidos estatisticamente deve ser feita com cautela, com o conhecimento do seu significado e dos erros que podem conter (Lozada & Angelocci, 1999; Andrade *et al.*, 2005).

A T_b dos vegetais, geralmente, apresenta-se diferente entre espécies e entre genótipos dentro da mesma espécie e ainda pode variar em função do subperíodo de desenvolvimento em que a cultura encontra-se (Streck *et al.*, 2003; Streck *et al.*, 2007). Em arroz, Infeld *et al.* (1998)

determinaram estatisticamente a Tb de 14 cultivares de arroz, representando os grupos de maturação precoce, média e tardia, como sendo em torno de 11°C. No entanto, no estudo de Infeld *et al.* (1998) foram usados apenas dois cultivares (IRGA 409 e IRGA 410), os quais são ainda usados no cultivo de arroz no Rio Grande do Sul.

Como, atualmente, existem muitos genótipos de arroz recomendados para diferentes regiões do Brasil e novos genótipos são lançados anualmente (SOSBAI, 2005), a estimativa da Tb desses genótipos é um tema atual e constante para a pesquisa, o que motivou a realização deste trabalho. Além disso, o arroz vermelho, que é da mesma espécie do arroz cultivado (*Oryza sativa* L.) e a principal planta daninha das lavouras orizícolas do Rio Grande do Sul, é caracterizado por biótipos distintos em função da possibilidade de cruzamento com o arroz cultivado (Gealy *et al.*, 2003). Assim, oportuno também é estender a estimativa da Tb para biótipos de arroz vermelho, pois não foram encontrados na literatura valores de Tb para esse tipo de arroz.

O objetivo neste trabalho foi estimar a temperatura base para o subperíodo emergência-diferenciação da panícula, para nove genótipos de arroz cultivado e dois biótipos de arroz vermelho, utilizando diferentes métodos de estimativa.

MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento a campo foi conduzido durante três anos agrícolas (2003/2004, 2004/2005 e 2005/2006), na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil (latitude: 29° 43' S, longitude: 53° 43' W e altitude: 95 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa, subtropical úmido sem estação seca definida com verões quentes (Moreno, 1961). O solo do local é uma transição entre a Unidade de Mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho distrófico arênico) e a Unidade de Mapeamento Santa Maria (Argissolo Bruno Acinzentado alítico típico) (EMBRAPA, 1999).

As plantas de arroz foram cultivadas em vasos de 30 cm de diâmetro e 26 cm de altura, com capacidade de 12 litros preenchidos com solo do local e enterrados, deixando-se uma borda de 5 cm acima do nível do solo. O espaçamento entre os vasos (de centro a centro dos vasos) foi de 1,5 m x 0,8 m. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída de um vaso com 10 plantas. As plantas foram cultivadas em vasos, pois estudos anteriores com trigo, uma espécie similar ao arroz em hábito de crescimento e morfologia da planta, mostrou que o desenvolvimento não foi afetado pela restrição do volume de solo para enraizamento, com a redução do tamanho dos potes

(Peterson *et al.*, 1984). Além disso, outros experimentos com a cultura do arroz também vem sendo realizados em vasos, como por exemplo, o trabalho de Sangoi *et al.* (2008), com cultivo de arroz no sistema pré-germinado.

As datas de semeadura foram: 01/09/2003, 20/10/2003, 21/11/2003, 05/01/2004 e 29/01/2004, no ano agrícola 2003/2004; 02/09/2004, 07/10/2004, 04/11/2004, 03/12/2004 e 02/03/2005, no ano agrícola 2004/2005 e 26/09/2005, 25/11/2005 e 02/02/2006, no ano agrícola 2005/2006, totalizando 13 épocas. Foram selecionadas estas datas para se obterem semeaduras antes, durante e depois da época de semeadura, recomendada para a Região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, que é de 01 de outubro a 10 de dezembro (SOSBAI, 2005), e assim ter as plantas desenvolvendo-se em diferentes condições de temperatura, o que é importante neste tipo de estudo.

Os genótipos utilizados foram IRGA 421, IRGA 416, IRGA 417, IRGA 420, BRS 7 TAIM, BR-IRGA 409, EPAGRI 109 e um híbrido ainda não lançado pelo Instituto Rio-Grandense do Arroz - IRGA (doravante referido como híbrido), pertencentes a subespécie *indica* e tipo de arquitetura moderno (porte baixo e folhas eretas), e o genótipo EEA 406, que é da subespécie *japonica* e tipo de arquitetura tradicional (porte alto e folhas decumbentes). Esses genótipos são recomendados para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina e apresentam variação considerável de ciclo, de muito precoce (IRGA 421) a tardio (EPAGRI 109) (SOSBAI, 2005). Também foram utilizados dois biótipos de arroz vermelho, um biótipo de casca amarela aristado (AVCAA) e um de casca preta aristado (AVCPA), que são frequentemente encontrados em lavouras de arroz na Depressão Central do RS, e cujas sementes foram oriundas de uma planta de cada biótipo de uma lavoura de arroz no campo experimental do IRGA em Cachoeirinha, RS. Os dois biótipos de arroz vermelho têm como características morfológicas folhas longas, decumbentes e estatura elevada, características similares 'as do cultivar EEA 406.

O manejo das plantas foi realizado com base nas recomendações técnicas para a cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2005). A adubação foi realizada a partir da análise química do solo. Usaram-se 20g/vaso de fertilizante, da fórmula 7-11-9, na semeadura, e a adubação de cobertura de nitrogênio, na dose de 8,5g/vaso de uréia, foi aplicada duas vezes, a primeira no início do perfilhamento e a segunda na diferenciação da panícula.

Foram semeadas 30 sementes por vaso. O dia da emergência foi considerado quando 50% das plântulas estavam com o prófalo visível acima do nível do solo. No estádio V3 (Counce *et al.*, 2000), foi realizado um raleio das plantas, deixando-se 15 plantas por vaso, resultando numa densidade de plantas de aproximadamente 200 plantas m⁻², que é uma densidade comumente usada em lavouras comerciais de arroz no Rio Grande do Sul.

A irrigação foi realizada deixando-se uma lâmina de água de 5 a 7 cm nos vasos, a partir do estágio V3 da escala de Counce *et al.* (2000).

A data de ocorrência do estágio R1 (diferenciação da panícula) da escala de Counce *et al.* (2000) foi determinada. O R1 foi identificado amostrando-se quatro plantas (uma planta por vaso) de cada genótipo diariamente. Nessas plantas procedeu-se o corte longitudinal do colmo principal para identificar, a olho nu, o ponto de algodão, definido como sendo a panícula com até 2mm de comprimento (Stansel, 1975). Quando 50% (2 das 4) das plantas estavam no R1, esse dia foi anotado como a data de ocorrência do R1 para o genótipo.

A temperatura base foi estimada pelos métodos tradicionais utilizados por Arnold (1959) e por Yang *et al.* (1995), que são: menor desvio padrão em graus-dia (DP_{gdd}); menor desvio padrão em dias (DP_{dia}); coeficiente de variação em graus-dia (CV_{gdd}); coeficiente de variação em dias (CV_{dia}); coeficiente de regressão (CR) e X-intercepto (X-int.). Também foram usados, para estimar a temperatura base, os métodos DP_{gdd} , DP_{dia} , CV_{gdd} e CR, com as modificações propostas por Yang *et al.* (1995). Os métodos tradicionais utilizados por Arnold (1959) e por Yang *et al.* (1995) serão referidos, ao longo do texto, como “métodos tradicionais”, e os métodos com as modificações propostas por Yang *et al.* (1995) como “métodos modificados”.

Métodos tradicionais de estimativa da T_b , utilizados por Arnold (1959) e por Yang *et al.* (1995):

Método do menor desvio padrão em graus-dia:

$$DP_{gdd} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (GDD_i - MGDD)^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Método do menor desvio padrão em dias:

$$DP_{dia} = \frac{DP_{gdd}}{T - T_b} \quad (2)$$

Método do coeficiente de variação em graus-dia:

$$DP_{dia} = \frac{DP_{gdd}}{T - T_b} \quad (3)$$

Método do coeficiente de variação em dias:

$$CV_{dia} = \left(\frac{DP_{dia}}{\bar{X}_d} \right) \cdot 100\% \quad (4)$$

Método do coeficiente de regressão:

$$GDD_i = a + bT_i \quad (5)$$

Método do X-Intercepto:

$$r = a + bT_i \quad T_b = -a/b \quad (6)$$

Modificações em alguns métodos tradicionais propostas por Yang *et al.* (1995):

Método do menor desvio padrão em graus-dia:

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^n T_i d_i \sum_{i=1}^n d_i - n \sum_{i=1}^n d_i^2 T_i}{(\sum_{i=1}^n d_i)^2 - n \sum_{i=1}^n d_i^2} \quad (7)$$

Método do menor desvio padrão em dias:

$$T_b = T - \frac{(\sum_{i=1}^n t_i d_i)^2 - n \sum_{i=1}^n t_i^2 d_i^2}{n \sum_{i=1}^n d_i^2 t_i - n \sum_{i=1}^n t_i d_i \sum_{i=1}^n d_i} \quad (8)$$

Método do coeficiente de variação em graus-dia:

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^n T_i d_i^2 \sum_{i=1}^n T_i d_i - \sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_i^2 d_i^2}{\sum_{i=1}^n d_i^2 \sum_{i=1}^n T_i d_i - \sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_i d_i^2} \quad (9)$$

Método do coeficiente de regressão:

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \cdot \sum_{i=1}^n d_i T_i - n \sum_{i=1}^n d_i T_i^2}{\sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_i - n \sum_{i=1}^n d_i T_i} \quad (10)$$

nos quais, DP_{gdd} é o desvio padrão em graus-dia; GDD_i são os graus-dia acumulados no subperíodo EM-R1 da i-ésima data de semeadura; $MGDD$ é o valor médio dos graus-dia acumulados no subperíodo EM-R1, obtido a partir da média de todos os GDD_i ; n é o número de semeaduras; DP_{dia} é o desvio padrão em dias; T é a temperatura média do subperíodo EM-R1 (°C); T_b é a temperatura base (°C); CV_{gdd} é o coeficiente de variação em graus-dia; CV_{dia} é o coeficiente de variação em dias; d_i é a duração média em dias do subperíodo EM-R1; a e b são parâmetros da equação; T_i é a temperatura média do subperíodo EM-R1 da i-ésima data de semeadura (°C); r é a taxa de desenvolvimento do subperíodo EM-R1 da i-ésima dada de semeadura; d_i número de dias requerido para completar o subperíodo EM-R1 da i-ésima semeadura e t_i é $T - T_i$ (°C).

Os dados de temperatura mínima e máxima diária do ar, insolação e densidade de fluxo da radiação solar durante o período experimental foram coletados na Esta-

ção Climatológica Principal, pertencente ao 8° DISME/INMET, localizada a aproximadamente 100 metros da área experimental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações nas condições meteorológicas durante o período experimental são apresentadas na Tabela 1. Durante esse período, a temperatura mínima média mensal variou de 9,4°C, no mês de maio de 2006, a 20,7°C, no mês de janeiro de 2006; a temperatura máxima média mensal variou de 19,7°C, no mês de setembro de 2005, a 31,9°C, no mês de janeiro de 2006; a insolação variou de 4,4 horas, nos meses de setembro de 2004 e outubro de 2005, a 9,5 horas, no mês de fevereiro de 2003, e a densidade de fluxo da radiação solar variou de 8,6 MJ m⁻² dia⁻¹, nos meses de maio de 2004 e 2005, a 21,3 MJ m⁻² dia⁻¹, no mês de dezembro de 2005.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores de Tb para o subperíodo emergência-diferenciação da panícula (EM-R1), estimados pelos métodos tradicionais e pelos métodos modificados. Quando os valores de Tb estimados foram menores que 0°C ou maiores que 20°C, foram apresentados apenas como < 0°C e > 20°C, respectivamente, e considerou-se que estes valores não são biologicamente realísticos, pois diferem consideravelmente dos valores relatados para arroz por outros autores, que se situam na faixa de 8°C a 12°C (Gao *et al.*, 1992; Infeld *et al.*, 1998; Alves *et al.*, 2000) e, por isso, não foram usados no cálculo da média. Isso foi verificado para o genótipo EEA 406 em todos os métodos tradicionais e nos métodos CV_{gdd} e CR modificados e para o genótipo EPAGRI 109 e para o biótipo AVCPA no método tradicional DP_{gdd}. Além disso, o método DP_{dia} modificou estimou valores de Tb elevados (de 18,4 a 21,6°C), o que biologicamente não faz sentido

Tabela 1. Médias mensais das temperaturas mínimas e máximas, da insolação e da densidade de fluxo da radiação solar durante o período experimental nos anos agrícolas 2003-2004, 2004-2005 e 2005-2006 em Santa Maria, RS, Brasil

Ano agrícola	Mês	Temperatura (°C)		Insolação (h dia ⁻¹)	Densidade de fluxo da radiação solar (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
		Mínima	Máxima		
2003-2004	Setembro	10,9	22,6	5,2	12,3
	Outubro	14,9	26,9	6,9	16,4
	Novembro	16,6	28,0	7,3	18,0
	Dezembro	17,3	27,6	9,0	19,4
	Janeiro	19,8	31,7	8,8	20,5
	Fevereiro	17,9	30,0	9,5	19,8
	Março	17,3	30,1	7,2	15,9
	Abril	16,4	28,1	6,0	12,1
	Maio	10,9	19,8	5,9	8,6
	Média	15,7	27,2	7,3	15,9
2004-2005	Setembro	13,8	24,5	4,4	11,4
	Outubro	12,2	25,6	8,7	18,8
	Novembro	15,7	27,4	7,0	17,7
	Dezembro	17,8	30,4	9,0	20,9
	Janeiro	19,8	33,4	9,0	20,7
	Fevereiro	19,1	31,0	7,1	17,4
	Março	18,0	31,0	6,5	15,7
	Abril	15,1	25,1	4,4	10,4
	Maio	13,8	23,2	4,2	8,6
	Média	16,1	28,0	6,7	15,7
2005-2006	Setembro	10,9	19,7	4,6	11,4
	Outubro	14,5	23,1	4,4	13,0
	Novembro	15,7	29,4	8,4	19,4
	Dezembro	17,3	30,3	9,4	21,3
	Janeiro	20,7	31,9	7,7	19,2
	Fevereiro	19,0	31,2	8,5	19,1
	Março	18,1	30,3	7,4	16,2
	Abril	14,2	26,0	6,8	13,0
	Maio	9,4	20,5	5,2	9,5
	Média	15,5	26,9	6,9	15,8

para arroz. Ressalta-se que no trabalho original de Yang *et al.* (1995), a equação apresentada no corpo do trabalho é diferente da equação apresentada no Apêndice do trabalho. Em função disso, foram também calculadas as Tbs com a equação apresentada no Apêndice de Yang *et al.* (1995) e os valores de Tb obtidos foram ainda maiores (de 34,5 a 45,8°C), motivo pelo qual não foram considerados no cálculo das médias apresentadas na Tabela 2.

Observam-se variações da Tb tanto entre os métodos de cálculo, quanto entre os genótipos de arroz irrigado e biótipos de arroz vermelho (Tabela 2). Os valores de Tb estimados pelos métodos tradicionais, DP_{dia}, CV_{gdd}, CV_{dia}, CR e X-int, e pelos métodos modificados, CV_{gdd} e CR, foram similares entre si dentro de cada genótipo. Entretanto, o método DP_{gdd} diferiu, consideravelmente, dos demais estimando valores maiores de Tb para todos os genótipos de arroz irrigado e biótipos de arroz vermelho, tanto quanto aos estimados pelos métodos tradicionais como pelos métodos modificados. Maiores valores de Tb estimados pelo método DP_{gdd} também foram relatados por Yang *et al.* (1995) para feijão vagem, feijão caupi e milho doce, e por Andrade *et al.* (2005) para três cultivares de milho. Yang *et al.* (1995) obtiveram valores maiores para a Tb, usando o método DP_{gdd}. Os autores atribuíram o fato a diferenças no processo utilizado para a escolha de Tb, adotado nesse procedimento.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de coeficiente de determinação (r²), coeficiente de correlação (r) e o valor da probabilidade da regressão (p) entre a temperatura média e a duração da fase EM-R1. A correlação entre

a temperatura média e a duração da fase EM-R1 foi negativa para todos os genótipos, o que significa que, a medida que aumenta temperatura média, a duração da fase EM-R1 diminui. Os genótipos que tiveram menores valores de r² e r foram os que apresentaram os valores de Tb mais afastados da faixa esperada para a cultura. O genótipo EEA 406 foi o que apresentou r² e r mais baixos (r² = 0,22 e r = -0,47) e p não significativo (p = 0,2410), o que poderia explicar o fato de a estimativa da Tb ter resultado em valores sem sentido biológico em todos os métodos (Tabela 2). Uma possível explicação para os valores de Tb (> 20°C) estimados pelo método do DP_{gdd} para o cultivar EPAGRI 109 e o biótipo AVCPA é que estes apresentaram valores de r² e r maiores (r² = 0,57, r = -0,75 e r² = 0,60, r = -0,77, respectivamente) apenas que o genótipo EEA 406.

Em função da variabilidade das Tbs estimadas, optou-se por fazer a média das Tbs excluindo-se os valores < 0°C, > 20°C e os valores estimados pelo método DP_{dia} modificado por Yang *et al.* (1995) (Tabela 2). Os resultados dessa média indicam valores variando de 6,4°C (BRS 7 TAIM) a 10,7°C (IRGA 421), pelos métodos tradicionais, e de 7,9°C (BRS 7 TAIM) a 11,2°C (IRGA 421), pelos métodos modificados. Ademais, para todos os cultivares de arroz e biótipos de arroz vermelho, as Tbs estimadas foram maiores pelos métodos modificados do que com os métodos tradicionais.

Analisando-se os valores de Tb (média de todos os métodos) entre os genótipos, nota-se que 5 dos 9 genótipos apresentam Tb entre 9,0°C e 10,0°C. Dois genótipos tiveram Tb estimada fora desta faixa; BRS 7 TAIM (6,9°C) e Híbrido (8,0°C). Os biótipos de arroz verme-

Tabela 2. Valores de temperatura base (°C) para o subperíodo emergência - diferenciação da panícula estimados pelos métodos tradicionais usados por Arnold (1959) e/ou Yang *et al.* (1995) e pelos métodos modificados por Yang *et al.* (1995)

Genótipo	Métodos tradicionais						Média	Métodos modificados				Média	Média dos métodos
	DP _{gdd}	DP _{dia}	CV _{gdd}	CV _{dia}	CR	X-int.		DP _{gdd}	DP _{dia}	CV _{gdd}	CR		
Genótipos de arroz irrigado													
IRGA 421	12,0	10,5	10,5	10,5	10,5	10,3	10,7	12,1	21,4 ⁺	10,8	10,6	11,2	10,9
IRGA 416	11,5	8,5	8,0	8,5	8,0	8,4	8,8	11,7	21,3 ⁺	8,7	8,6	9,7	9,1
IRGA 417	11,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,8	9,1	11,5	21,4 ⁺	9,2	9,0	9,9	9,3
IRGA 420	12,5	8,5	8,5	8,5	8,0	8,0	9,0	12,6	21,4 ⁺	8,8	8,5	10,0	9,3
BRS 7 TAIM	12,0	5,5	5,5	5,5	5,0	4,9	6,4	12,1	21,1 ⁺	6,1	5,6	7,9	6,9
BR-IRGA 409	12,5	9,0	9,0	9,0	8,5	8,5	9,4	12,3	21,5 ⁺	9,3	9,0	10,2	9,7
EPAGRI 109	>20,0 ⁺	10,0	10,0	10,0	9,5	9,0	9,7	15,0 ⁺	21,6 ⁺	10,2	9,7	10,0	9,8
EEA 406	>20,0 ⁺	<0,0 ⁺	<0,0 ⁺	<0,0 ⁺	<0,0 ⁺	<0,0 ⁺	-	17,4 ⁺	18,4 ⁺	<0,0 ⁺	<0,0 ⁺	-	-
Híbrido	12,0	7,0	6,5	7,0	6,5	6,8	7,6	12,0	19,7 ⁺	7,3	7,2	8,8	8,0
Biótipos de arroz vermelho													
AVCAA	14,0	9,5	9,5	9,5	9,0	9,2	10,1	13,8	20,3 ⁺	9,9	9,7	11,1	10,5
AVCPA	>20,0 ⁺	10,0	10,0	10,0	9,5	9,4	9,8	14,8 ⁺	20,4 ⁺	10,3	10,1	10,2	9,9

DP_{gdd} = Método do menor desvio-padrão em graus-dia; DP_{dia} = Método do menor desvio-padrão em dias; CV_{gdd} = Método do coeficiente de variação em graus-dia; CV_{dia} = Método do coeficiente de variação em dias; CR = Método do coeficiente de regressão; X-int. = Método do x-intercepto. AVCAA = arroz vermelho casca amarela aristado, AVCPA = arroz vermelho casca preta aristado, ⁺Valores não usados para calcular a média.

Tabela 3. Coeficientes de determinação (r^2), coeficiente de correlação (r) e valor da probabilidade da regressão (p) entre a temperatura média do ar e a duração média do subperíodo emergência – diferenciação da panícula em cada época de semeadura

Genótipo	r^2	r	p
Genótipos de arroz irrigado			
IRGA 421	0,83	-0,91	0,0001
IRGA 416	0,76	-0,87	0,0001
IRGA 417	0,78	-0,88	0,0001
IRGA 420	0,68	-0,82	0,0006
BRS 7 TAIM	0,60	-0,77	0,0021
BR-IRGA 409	0,72	-0,85	0,0002
EPAGRI 109	0,57	-0,75	0,0047
EEA 406	0,22	-0,47	0,2410
Híbrido	0,67	-0,82	0,0133
Biótipos de arroz vermelho			
AVCAA	0,66	-0,81	0,0137
AVCPA	0,60	-0,77	0,0240

AVCAA = arroz vermelho casca amarela aristado, AVCPA = arroz vermelho casca preta aristado

lho apresentaram valores de Tb de 9,9°C (AVCPA) e 10,5°C (AVCAA). Esses valores de Tb estimados para todos os genótipos cultivados usados neste estudo (exceto EEA 406) são próximos, porém, mais baixos (principalmente os valores de Tb estimados para o BRS 7 TAIM e para o Híbrido), do que valores encontrados na literatura. Por exemplo, Gao *et al.* (1992) relataram valores de Tb de 10°C para cultivares da subespécie *japonica* e 12°C para cultivares da subespécie *indica*. Infeld *et al.* (1998) relatam valores de 11,1°C, 10,8°C e 11,3°C, durante o subperíodo emergência a diferenciação do primórdio floral para cultivares de ciclo precoce, médio (dentre eles BR-IRGA 409 e EEA 406 que foram usados neste estudo) e tardio, respectivamente. Já Alves *et al.* (2000) relatam uma Tb de 12,8°C para a fase de germinação. Os valores de Tb estimados (média dos métodos) para o genótipo IRGA 421 (10,9°C) e para o biótipo de arroz vermelho AVCAA (10,5°C) são os que estão mais próximos aos valores de Tb reportados na literatura. Os menores valores de Tb para o cultivar BR-IRGA 409, obtidos neste estudo, comparados com o valor de 10,8°C encontrado por Infeld *et al.* (1998) talvez possa ter ocorrido por causa das diferenças de temperatura a que as plantas foram expostas em Santa Maria (neste estudo) e Pelotas. Nos ensaios em Santa Maria, houve várias épocas de semeadura, cedo e tardiamente, que resultaram em temperaturas menores durante a fase EM-R1, em comparação com as dos ensaios em Pelotas (Infeld *et al.*, 1998). Essa possibilidade pode confirmar a hipótese de aclimatação, proposta por Kirby (1995) para trigo. Na hipótese de aclimatação, a planta adapta-se à temperatura na emergência da cultura e isso explicaria a diminuição da Tb estimada, com a diminuição da temperatura do ar por ocasião da emergência das plantas.

Comparando-se a Tb estimada para os dois biótipos de arroz vermelho e a Tb dos genótipos cultivados, nota-se que, com exceção do IRGA 421, todos os demais genótipos cultivados tiveram menor Tb em relação aos biótipos de arroz vermelho (Tabela 2). Estes resultados podem indicar vantagens dos genótipos cultivados em relação ao arroz vermelho, principalmente em semeaduras cedo, na primavera, onde as temperaturas são amenas. Entre os dois biótipos de arroz vermelho, o AVCPA teve, em média, nos dois grupos de métodos (tradicionais e modificados), menor Tb do que o AVCAA. Diferenças de Tb entre biótipos de arroz vermelho podem estar associados com o grau de introgressão gênica com genótipos cultivados, que pode diferir entre biótipos.

A estimativa de valores de Tb, como os obtidos para o genótipo EEA 406, em todos os métodos, e para o genótipo EPAGRI 109 e o biótipo AVCPA, pelos métodos DP_{gdd} tradicional e modificado, pode ser explicada pelo fato de os métodos estatísticos apresentarem em sua estrutura somente as variáveis duração do subperíodo e temperatura do ar, sendo baseados na pressuposição da linearidade do método dos graus-dia. Assim, a Tb estimada será mais precisa ou próxima do valor fisiológico, quando houver uma correlação elevada entre a temperatura média do ar e a duração do subperíodo de desenvolvimento estudado (Andrade *et al.*, 2005), o que nem sempre é uma pressuposição realística (Streck, 2002; Streck *et al.*, 2003; 2007). Segundo Massignam & Angelocci (1993) e Yang *et al.* (1995), outros elementos meteorológicos, como fotoperíodo, temperatura do solo e radiação solar podem afetar o desenvolvimento e, assim, interferir na estimativa da Tb. Como a variação do fotoperíodo, durante o período experimental, chegou a 3,7 horas, e alguns genótipos de arroz apresentam certa resposta fotoperiódica (Gao *et al.*, 1992), é possível que o fotoperíodo tenha contribuído para não se conseguir estimar a Tb do cultivar EEA 406. Além disso, é possível também que alguma variação das Tbs estimadas possa ser influenciada pela existência de uma temperatura base superior. No entanto, como nenhum dos métodos usados por diferentes autores leva em consideração tal possibilidade, é difícil qualquer inferência em tal direção.

CONCLUSÕES

A temperatura base estimada para um mesmo genótipo varia entre métodos de cálculo.

Nas condições de fotoperíodo em que o estudo foi realizado e, de acordo com o método de cálculo empregado, a temperatura base do subperíodo emergência-diferenciação da panícula varia, em média, de 6,9°C a 10,9°C entre os genótipos de arroz cultivado e de 9,9 a 10,5°C entre os biótipos de arroz vermelho.

REFERÊNCIAS

- Alves VC, Pedro Jr MJ, Sentelhas PC & Azzini LE (2000) Exigências térmicas do arroz irrigado 'IAC 4440'. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 8: 171-174.
- Andrade RG, Sedyama GC, Zolnier S & Costa LC (2005) Avaliação de métodos para estimativa da temperatura-base para as culturas de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Brasileira de Agrometeorologia, 13: 316-325.
- Arnold CY (1959) The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Journal of the American Society for Horticultural Science, 74: 430-445.
- Azambuja IHV, Verneti Jr. FJ & Magalhães Jr. AM (2004) Aspectos socioeconômicos da produção do arroz. In: Gomes AS & Magalhães Jr. AM Arroz irrigado no Sul do Brasil. Ied. Brasília, EMBRAPA. p. 23-44.
- Barbano MT, Wutke EB, Brunini O, Ambrosano EJ, Castro JL, Gallo PB, Pereira JCVN A & Martins ALM (2002) Temperatura-base e soma térmica para cultivares de ervilha (*Pisum sativum* L.). Revista Brasileira de Agrometeorologia, 10: 75-82.
- Counce PA, Keisling TC & Mitchell AJ (2000). A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. Crop Science, 40: 436-443.
- EMBRAPA (1999) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, EMBRAPA – SPI, EMBRAPA – CNPS. 412p.
- Fukai S (1999) Phenology in rainfed lowland rice. Field Crops Research, 64: 51-60.
- Gao L, Jin Z, Huang Y & Zhang L (1992) Rice clock model – a computer model to simulate rice development. Agricultural and Forest Meteorology, 60: 1-16.
- Gealy DR, Mitten DH & Rutger JN (2003) Gene flow between red rice (*Oryza sativa* L.) and herbicide-resistant (*O. sativa*): implications for weed management. Weed Technology, 17: 627-625.
- Gilmore EC Jr. & Rogers JS (1958) Heat units as a method of measuring maturity in corn. Agronomy Journal, 50: 611-615.
- Horie T (1994) Crop ontogeny and development. In: Physiology and determination of crop yield. Madison, ASA, SSSA. p. 153-180.
- Infeld JA, Silva JB & Assis FN (1998) Temperatura base e graus-dia durante o período vegetativo de três grupos de cultivares de arroz irrigado. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 6: 187-191.
- IRGA Instituto Rio Grandense do Arroz (2007) Dados de safra. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/dados.htm>>. Acessado em: 20 de Julho 2007.
- Kirby EJM (1995) Factors affecting rate of leaf emergence in barley and wheat. Crop Science, 35: 11-19.
- Lopes SIG, Lopes MCB, Lima AL, Santos AS, Freitas PR, Cremonesi J, Costa MS & Leal CEB (2005) Avaliação do ganho genético do programa de melhoramento do IRGA no período de 1961 a 2004. In: IV Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, Santa Maria. Anais, SOSBAI. p. 67-69.
- Lozada BI & Angelocci LR (1999) Determinação da temperatura-base e de graus-dia para a estimativa do subperíodo da semeadura à floração de um híbrido de milho. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 7: 31-36.
- Marchezan E, Ávila LA, Andres A, Magalhães Jr. AM, Machado SLO & Petrini JA (2004) Controle do arroz vermelho. In: Gomes AS & Magalhães Jr. AM Arroz irrigado no Sul do Brasil. Ied. Brasília, EMBRAPA. p. 547-573.
- Mariot CHP, Silva PRF, Menezes VG & Teichmann LL (2003) Resposta de duas cultivares de arroz irrigado a densidade de semeadura e a adubação nitrogenada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 38: 233-241.
- Massignam AM & Angelocci LR (1993) Determinação da temperatura-base e de graus-dia na estimativa da duração dos subperíodos de desenvolvimento de três cultivares de girassol. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 1: 71-79.
- McMaster GS & Smika DE (1988) Estimation and evaluation of winter wheat phenology in the central Great Plains. Agricultural and Forest Meteorology, 43: 1-18.
- Moreno JA (1961) Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria de Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia. 43p.
- Peterson CM, Klepper B, Pumphrey FV & Rickman RW (1984) Restricted rooting decreases tillering and growth of winter wheat. Agronomy Journal, 76: 861-863.
- Sangoi L, Bianchet P, Ernani PR, Silva PRF, Fiorentin CF, Zanin CG, Schmitt A, Oliveira Neto DA, Motter F & Schweitzer C (2008) A drenagem do solo no perfilhamento não estimula o desenvolvimento do sistema radicular do arroz irrigado cultivado no sistema pré-germinado. Ciência Rural, 38: 77-83.
- SOSBAI (Sociedade Sul Brasileira de Arroz irrigado) (2005) Arroz irrigado: Recomendações técnicas para o sul do Brasil. Santa Maria, SOSBAI. 159p.
- Stansel JW (1975) The rice plant – Its development and yield. In: Miller JC Six decades of rice research in Texas. College Station: The Texas A&M University System and USDA. p. 9-21. (Research Monograph, 4).
- Streck NA (2002) A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). Revista Brasileira de Agrometeorologia, 10: 105-111.
- Streck NA, Weiss A, Xue Q & Baenziger PS (2003) Improving predictions of developmental stages in winter wheat: A modified Wang and Engel model. Agricultural and Forest Meteorology, 115: 139-150.
- Streck NA, Paula FLM, Bisognin DA, Heldwein AB & Dellai J (2007) Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). Agricultural and Forest Meteorology, 142: 1-11.
- Yang S, Logan J & Coffey DL (1995) Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. Agricultural and Forest Meteorology, 74: 61-74.