

Manejo da Adubação Nitrogenada e Desempenho Agrônomico do Arroz Irrigado Cultivado em Zonas de Altitude no Estado de Santa Catarina

Fabiana Schmidt¹; Marcos Lima Campos do Vale¹; Ronaldir Knoblauch²; Ricieri Verdi³; Dirceu Schwartz³

Resumo - Na região do Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina, as lavouras de arroz estão localizadas em altitudes que variam entre 300 e 600 metros. Esta condição predispõe a região à ocorrência de fenômenos climáticos que podem interferir nos processos de crescimento e desenvolvimento da cultura, com reflexos sobre a produtividade de grãos. O objetivo deste estudo foi avaliar doses e parcelamento da aplicação de N para o arroz irrigado em zonas de altitude desta região. Os experimentos foram conduzidos em Rio do Campo, SC (600m de altitude), nas safras 2012/13 e 2013/14. Os tratamentos consistiram na combinação dos fatores doses de N e parcelamento da adubação. Os efeitos do clima sobre a resposta do arroz ao manejo da adubação nitrogenada foram avaliados por meio da incorporação do fator ano de cultivo ao modelo estatístico. As variações de temperatura e radiação solar ocorridas na fase reprodutiva não têm efeito sobre a resposta produtiva do arroz à adubação nitrogenada na região do Alto Vale do Itajaí. A dose e parcelamento da adubação nitrogenada para lavouras dessa região podem ser 90kg de N ha⁻¹, em duas aplicações em cobertura, sem prejuízos ao desempenho produtivo do arroz irrigado.

Termos de indexação: *Oryza sativa*, nitrogênio, doses e parcelamento, regiões frias.

Management of Nitrogen Fertilization and Agronomic Performance of Irrigated Rice Cultivated in Altitude Zones in the State of Santa Catarina

Abstract- In Alto Vale do Itajaí region, Santa Catarina State, rice fields are located at elevations ranging between 300 and 600m. This condition predisposes the region to weather phenomena that may interfere on growth and development process of rice crop, reflecting on grain yield. The aim of this study was to evaluate the dose and installment of N application for lowland rice at the altitude zones of that region. The experiments were conducted in Rio do Campo (600 m over the sea), SC, in 2012/13 and 2013/14 growing seasons. The treatments consisted in the combination of the factors dose of N and fertilizer installment. The climate effects on the rice response to nitrogen fertilization were evaluated by incorporating the factor cropping year in the statistical model. Temperature and solar radiation variations that occurred in the reproductive phase have no effect in yield response of rice to N fertilization in the Alto Vale do Itajaí region. The dose and installment of N fertilization in that region, can be 90 kg of N ha⁻¹, carried in two applications, with no prejudice to the agronomical performance of lowland rice.

Index terms: *Oryza sativa*; nitrogen, rate and installment, cold regions.

Introdução

O Alto Vale do Itajaí configura-se como uma das regiões produtoras de arroz irrigado do estado de Santa Catarina. A região representa 7,28% da área total plantada (10.684ha) e 7,53% da quantidade produzida (77.324 toneladas) de arroz no Estado (dados não publicados fornecidos pelo Epagri/Cepa, referentes à safra 2015/2016). Uma das principais características que diferencia o Alto Vale do Itajaí das demais regiões orizícolas do Estado é a localização das lavouras em altitudes que variam entre 300 e 600 metros em relação ao nível

do mar (PANDOLFO et al., 2002). Esta condição predispõe a região à ocorrência de fenômenos climáticos que podem interferir significativamente nos processos de crescimento e desenvolvimento da cultura, com reflexos sobre a produtividade de grãos (MARSCHALEK et al., 2013).

As principais variáveis climáticas afetadas pela altitude na região do Alto Vale do Itajaí são radiação solar e temperatura. De forma geral, o resfriamento adiabático provocado pela ascensão orográfica das massas de ar promove a manutenção de temperaturas mais baixas e o aumento da cobertura de

nuvens na região (CAVALCANTI & FERREIRA, 2009). Como consequência, as plantas de arroz podem apresentar uma redução de sua taxa fotossintética, redução do consumo e translocação de carboidratos, e aumento da degradação de proteínas, sendo a intensidade destes processos dependente da fase do desenvolvimento da cultura (OHASHI et al., 2000).

Do ponto de vista nutricional, o nitrogênio (N) é, sem dúvida, o elemento cujo manejo é mais intensamente afetado por variações do ambiente de cultivo. Considerando o amônio (NH₄⁺) como a forma preferencialmente absor-

Recebido em 2/6/2017. Aceito para publicação em 31/7/2017.

¹ Engenheira-agrônoma(o), Dra.(Dr.), Epagri/ Estação Experimental de Itajaí, Bairro Itaipava 6800, 88318-112 Itajaí, SC, fone: (47) 3398-6365, e-mail: fabianaschmidt@epagri.sc.gov.br; marcosvale@epagri.sc.gov.br.

² Engenheiro-agrônomo, Dr., pesquisador aposentado da Epagri, e-mail: ronaldirkn@gmail.com.br.

³ Engenheiro-agrônomo, Extensionista da Epagri de Pouso Redondo e Rio do Campo, e-mail: ricieriverdi@epagri.sc.gov.br; dirceu@epagri.sc.gov.br.

vida, a redução da atividade metabólica da planta de arroz pode limitar a taxa de absorção do nutriente, tanto pela ação de mecanismos de inibição por retroalimentação, inibidores metabólicos da glutamina sintetase (GS), como pelo aumento da taxa de efluxo do elemento (SOUZA & FERNANDES, 2006). Estes processos podem ter forte associação com a menor resposta da cultura à adubação nitrogenada em condições de baixas temperaturas e baixa disponibilidade de radiação solar relacionada por alguns autores (GUNAWARDENA & FUKAI, 2005).

Outro aspecto relevante para o manejo do N em zonas sujeitas à ocorrência de baixas temperaturas é o efeito de sua concentração no tecido vegetal sobre a suscetibilidade à esterilização de espiguetas. Embora os mecanismos associados ao processo ainda se encontrem pouco descritos, considera-se que o aumento da esterilidade seja causado pelo excesso de N na microsporangênese. O processo é aparentemente mais acentuado quando o manejo do nutriente favorece tanto o aumento do número de perfilhos como a elevação da concentração no tecido logo após a diferenciação do primórdio floral (LARROSA, 2008).

As especificidades do clima da região tornam recorrentes as dúvidas de agricultores e técnicos sobre o manejo da adubação nitrogenada. Embora a pesquisa preveja a possibilidade de ajuste da dose com base nas condições climáticas, a falta de detalhamento dos efeitos das baixas temperaturas e baixa radiação sobre a resposta do arroz à adubação compromete a definição do manejo mais adequado para o nutriente na região. Nesse sentido, o presente estudo foi desenvolvido com o intuito de avaliar doses e o parcelamento da adubação nitrogenada para o arroz irrigado em zonas de altitude localizadas na região catarinense do Alto Vale do Itajaí nas safras agrícolas de 2012/13 e 2013/14.

Material e métodos

Dois experimentos foram instalados a campo, na localidade de Rio Azul (26°53'19,58"S; 50°11'47,08"W, e

596m de altitude), município de Rio do Campo, SC, durante as safras orizícolas de 2012/2013 e 2013/2014. O solo da área experimental é caracterizado como Cambissolo Háplico Tb álico de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). O clima da região é do tipo mesotérmico úmido com verão quente, boa distribuição de chuvas e estações do ano bem definidas conforme a classificação climática de Köppen-Geiger (PANDOLFO et al., 2002).

As precipitações pluviométricas acumuladas no período de condução dos cultivos do arroz (meses de setembro a fevereiro) nas safras 2012/2013 e 2013/2014 foram respectivamente 1.238mm e 1.423mm. As temperaturas mínimas, máximas e médias ocorridas durante o período de cultivo do arroz nas duas safras são apresentadas na Figura 1.

Antes da instalação dos experimentos foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20cm de profundidade da área para a determinação de atributos químicos do solo seguindo metodologias descritas por Tedesco et al. (1995). Os valores obtidos para a primeira e segunda safra foram: teor de argila, 33%; pH água, 4,4 e 4,5; índice SMP, 4,8 e 5,2; P (Mehlich-1), 3,4 e 3,8 mg dm⁻³, K (Mehlich-1) 51 e 59 mg dm⁻³, CTC pH 7,0, 20 e 13 cmol_c dm⁻³ e matéria orgânica, 2,2 e 2,3%, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em um esquema fatorial 4x3x2, com três repetições. Os tratamentos foram aplicados em parcelas de 30m² (5 x 6m) e consistiram na combinação das doses de N (testemunha- 0, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de N, aplicadas na forma de ureia), e parcelamento da adubação (em 1, 2 e 3 apli-▶

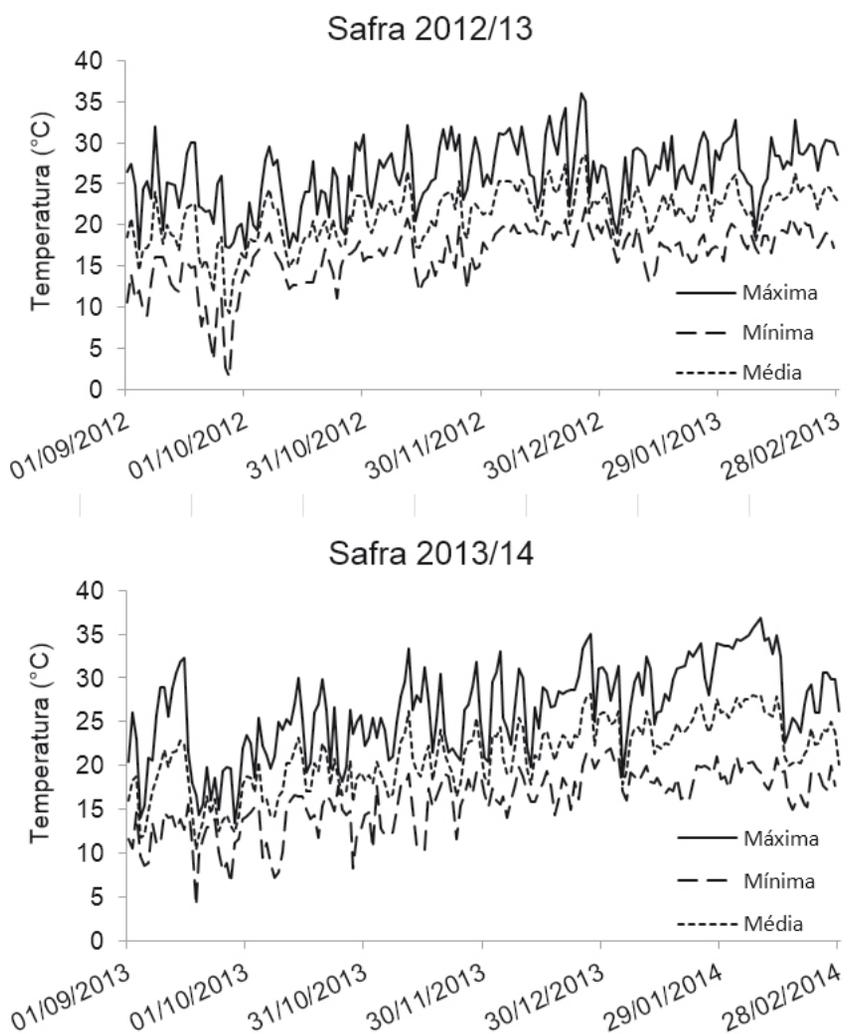


Figura 1. Valores de temperatura (T) média, mínima e máxima do ar no período de cultivo do arroz nas safras de 2012/13 e 2013/14, em Rio do Campo/SC

cações em cobertura, nos estádios de início de perfilhamento, perfilhamento pleno e iniciação da panícula (R0) que corresponderam respectivamente aos 30, 60 e 85 dias após a semeadura do arroz.

Os efeitos do clima sobre a resposta do arroz ao manejo da adubação nitrogenada foram avaliados por meio da incorporação do fator de condição experimental ano de cultivo ao modelo estatístico linear misto. Também foram estimados os parâmetros climáticos radiação acumulada e soma térmica nos períodos vegetativo (setembro a dezembro) e reprodutivo (janeiro e fevereiro) do arroz, e o número de dias com temperaturas mínimas abaixo do nível crítico (17°C) estabelecido para o início do período reprodutivo do arroz (mês de janeiro) (SOSBAI, 2012). O valor da soma térmica foi calculado conforme descrito por Arnold (1960). As variáveis meteorológicas foram obtidas na Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática de Rio do Campo, SC, através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O cultivar de arroz utilizado foi Epagri 109, de ciclo tardio. A adubação de base, com P e K, foi aplicada a lanço antes da semeadura, para a expectativa de rendimento de grãos alta, sendo aplicados 50kg de P₂O₅ e 70kg de K₂O por hectare. Todos os procedimentos de manejo da cultura foram realizados conforme recomendações descritas pela pesquisa para o Sul do Brasil para o sistema de cultivo pré-germinado (SOSBAI, 2012).

A produtividade de grãos foi quantificada pela colheita manual de amostras de uma área útil de 6m² por parcela no momento em que a cultura atingiu o estádio de maturidade fisiológica. As amostras colhidas foram trilhadas e secadas até atingir a umidade de 13%. Os componentes de rendimento, número de panículas por metro quadrado, número de grãos por panícula, peso de mil grãos e esterilidade de espiguetas foram determinados em amostras coletadas de uma área útil de 0,5m² por parcela.

A análise estatística foi realizada pelo método de análise de modelos lineares mistos. Quando verificados efeitos significativos, procederam-se comparações de médias pelo teste de Tukey

(5%) para o detalhamento dos fatores parcelamento da aplicação e ano de cultivo. O efeito principal do fator doses de N sobre a produtividade foi avaliado por regressão linear, considerando o nível de interação entre as condições experimentais avaliadas. Procedeu-se, também, a avaliação do grau de relacionamento entre a produtividade e os componentes do rendimento pela regressão linear múltipla. Os valores dos componentes de rendimento foram padronizados para a supressão do efeito da escala de medida sobre os coeficientes ajustados. Todos os procedimentos de análise dos dados foram realizados com o auxílio do software estatístico R (R CORE TEAM, 2015).

Resultados e discussão

A interação “doses de N x parcelamento da adubação x anos” não foi significativa para a produtividade e os componentes de rendimento do arroz irrigado cultivado em região de altitude (Tabela 1). As interações “doses N x parcelamento do N”, “doses de N x anos” e “parcelamento de N x anos” também não foram significativas para as variáveis produtividade, número de grãos por panícula, peso de mil grãos e esterilidade (Tabela 1). Efeito significativo da interação “doses de N x anos” foi observado apenas para o número de panículas por metro quadrado (Tabela 1).

A avaliação dos efeitos isolados dos fatores experimentais (doses de N, parcelamento do N e anos de cultivo) evidenciou os efeitos específicos do manejo do N e das condições climáticas sobre o comportamento do arroz (Tabela 1). Considerando a produtividade do arroz, verificou-se significância para o efeito isolado das doses de N, do parcelamento do N e dos anos de cultivo. Para os componentes de rendimento, observou-se influência das doses de N aplicadas sobre o número de grãos formados por panícula, e do parcelamento das aplicações sobre o número de panículas por metro quadrado e número de grãos por panículas. O ano de cultivo teve influência sobre todos os componentes de rendimento da cultura.

Embora neste estudo o manejo da adubação relacionado a doses e par-

celamento do N não tenha ocasionado prejuízos à produtividade do arroz mesmo na safra 2012/2013, que apresentou maior número de dias com temperaturas críticas (abaixo de 17°C) para o arroz na fase reprodutiva (Tabela 1), vários trabalhos desenvolvidos para o cultivo do arroz mostram que o conteúdo de N na planta, que pode ser alterado de acordo com o manejo da adubação nitrogenada, é um fator que influencia na sensibilidade das plantas ao frio (GUNAWARDENA et al., 2003; GUNAWARDENA & FUKAY, 2005; LARROSA, 2008).

Gunawardena et al. (2003) mostraram que as aplicações de doses altas de N que determinam um maior número de perfilhos causaram também o aumento da esterilidade. Os autores atribuíram este efeito à influência do N no aumento do crescimento do colmo em comprimento, localizando a panícula fora da proteção da água. Além disso, Gunawardena & Fukai (2005) relatam que a maior quantidade de perfilhos e de grãos por panícula, provocada pela alta aplicação de N, diminui a disponibilidade imediata de assimilados no momento da produção de grãos de pólen, ocasionando um aumento de esterilidade de espiguetas.

As comparações dos níveis do fator parcelamento (1, 2 e 3 aplicações de N) revelaram efeito similar do manejo da adubação nitrogenada para as variáveis produtividade e número de grãos por panícula, evidenciando o efeito positivo do fracionamento da aplicação do nutriente (Tabela 2). O parcelamento da dose de N em duas aplicações também resultou um maior número de panículas/m², havendo, porém, decréscimo no valor da variável para o parcelamento em três aplicações (Tabela 2). A esterilidade de grãos e a massa de 1000 grãos não foram afetadas pelo fracionamento da aplicação do N (Tabela 2).

A comparação das médias da produtividade com o número de grãos por panícula, entre os anos de cultivo, mostrou equivalência nas respostas (Tabela 2). Na safra de 2013/14, em comparação a safra 2012/13, verificaram-se acréscimos médios de 2.342kg ha⁻¹ de arroz e 38 grãos por panícula (Tabela 2). Comportamento antagônico foi observado para o número de panículas por metro quadrado, peso de mil grãos e esterili-

Tabela 1. Estimativa da probabilidade (p) para a produtividade (Prod.), número de panícula por metro quadrado (Pan m²), grãos por panícula (Grãos pan⁻¹), massa de mil grãos (MS 1000 grãos), esterilidade (Esteril.) associada ao efeito de doses de N, parcelamento da adubação, safras de cultivo e suas interações

Causas da variação	Parâmetros				
	Prod. (kg ha ⁻¹)	Pan m ² (n ^o)	Grãos Pan ⁻¹ (n ^o)	MS 1000 grãos (g)	Esteril. (%)
Doses N	0.001**	0.407 ^{ns}	0.049*	0.185 ^{ns}	0.061 ^{ns}
Parcelamento N	0.002**	0.001**	0.013*	0.662 ^{ns}	0.281 ^{ns}
Safras	<0.001**	<0.001**	<0.001**	0.003**	<0.001**
Doses N x Parcelamento N	0.591 ^{ns}	0.353 ^{ns}	0.583 ^{ns}	0.301 ^{ns}	0.617 ^{ns}
Doses N x Safras	0.119 ^{ns}	0.012*	0.658 ^{ns}	0.075 ^{ns}	0.567 ^{ns}
Parcelamento N x Safras	0.679 ^{ns}	0.689 ^{ns}	0.561 ^{ns}	0.385 ^{ns}	0.609 ^{ns}
DosesN x Parcel. x Safras	0.343 ^{ns}	0.258 ^{ns}	0.675 ^{ns}	0.735 ^{ns}	0.658 ^{ns}

** significativo a 1%; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} não significativo.

dade, havendo decréscimos respectivos de 65 panículas/m², 0,9g por mil grãos e 4% na esterilidade de grãos, respectivamente, na safra de 2013/14 (Tabela 2).

O aumento da esterilidade de panículas e a redução do número de grãos por panícula na safra 2012/13 podem estar associados ao maior número de panículas formado por área. Nessa safra, provavelmente a aplicação do N estimulou o crescimento vegetativo, o que pode ter diminuído a quantidade de fotoassimilados recebidos por panícula devido à maior partição, reduzindo, consequentemente, as espiguetas cheias e a produtividade final em comparação à safra 2013/14. A maior quantidade de perfilhos provocada pela aplicação de N deve ter diminuído a disponibilidade imediata de assimilados nas folhas no momento da produção de grãos de pólen, ocasionando um aumento de esterilidade de espiguetas.

Segundo Gunawardena et al. (2003), as aplicações de N nos estádios vegetativos podem aumentar o perfilhamento e o número de espiguetas por planta, provocando redução de grãos de pólen cheios por antera, tornando-os mais propensos a uma maior esterilidade de espiguetas sob baixa temperatura.

A produtividade do arroz aumentou com o acréscimo nas doses de N aplicadas, sendo os resultados ajustados ao modelo polinomial de primeiro grau (Figura 2). Embora a análise da variância tenha mostrado o efeito significativo para o modelo ajustado (p=0,012), o valor do erro padrão (1.381kg ha⁻¹) expressa a ocorrência de desvios consideráveis em relação aos valores estimados, evidenciando interferências relevantes de

outras variáveis do ambiente, principalmente as relacionadas ao clima (temperatura do ar e à radiação solar) sobre o desempenho produtivo da cultura.

Os resultados da análise de regressão linear múltipla para os componentes de rendimento padronizados e a produtividade do arroz mostraram um ajuste significativo (Tabela 3). O teste dos coeficientes ajustados revelou efeito significativo sobre a produtividade apenas para os componentes número de panículas por metro quadrado e número de grãos por panícula. O valor dos coeficientes indicou, contudo, que a relação de dependência com a produtividade é mais intensa para o número de grãos por panícula (Tabela 3).

O efeito significativo exercido pelo ano de cultivo sobre a produtividade do arroz parece estar associado às variações das condições climáticas. A observação dos parâmetros climáticos indica, contudo, que a intensidade destas variações se restringe ao período reprodutivo do ciclo da cultura (Tabela

4). Enquanto no período vegetativo a radiação acumulada e soma térmica variaram aproximadamente 0,2 e 12% respectivamente, as variações destas no período reprodutivo foram na ordem de 15 e 22% respectivamente. A variação também foi verificada para o número de dias com temperaturas mínimas abaixo do nível crítico definido para o período (17°C), sendo observados 12 e 5 dias para as safras 2012/13 e 2013/14, respectivamente (Tabela 4).

Ohashi et al. (2000) estudaram o efeito da incidência de baixa temperatura combinada à baixa radiação e observaram que quando há ocorrência de frio na fase reprodutiva do arroz, ocorre uma redução na taxa fotossintética de 14% a 20%, devido à indução ao fechamento dos estômatos.

Em condições de estresse por frio, a planta pode sofrer alterações na fluidez dos lipídeos das membranas celulares, causando perda de suas funções normais. As enzimas ligadas à membrana diminuem suas atividades, com acúmulo

Tabela 2. Produtividade, número de panículas por m² e de grãos por panícula, massa de mil grãos e esterilidade do arroz em resposta ao parcelamento da adubação nitrogenada em duas safras

Fatores e níveis de tratamentos	Prod. (kg ha ⁻¹)	Pan m ² (n ^o)	Grão Pan ⁻¹ (n ^o)	MS 1000 grãos (g)	Esterilidade (%)
Parcelamento N					
1 aplicação	6.354 b	345 ab	66 b	29,3 ^{ns}	13 ^{ns}
2 aplicações	7.039 a	371 a	68 ab	29,4 ^{ns}	14 ^{ns}
3 aplicações	7.062 a	319 b	78 a	29,5 ^{ns}	15 ^{ns}
Safras					
2012/13	5.528 b	376 a	51 b	29,9 a	16 a
2013/14	7.870 a	311 b	89 a	29,0 b	12 b

^{ns} não significativo; médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

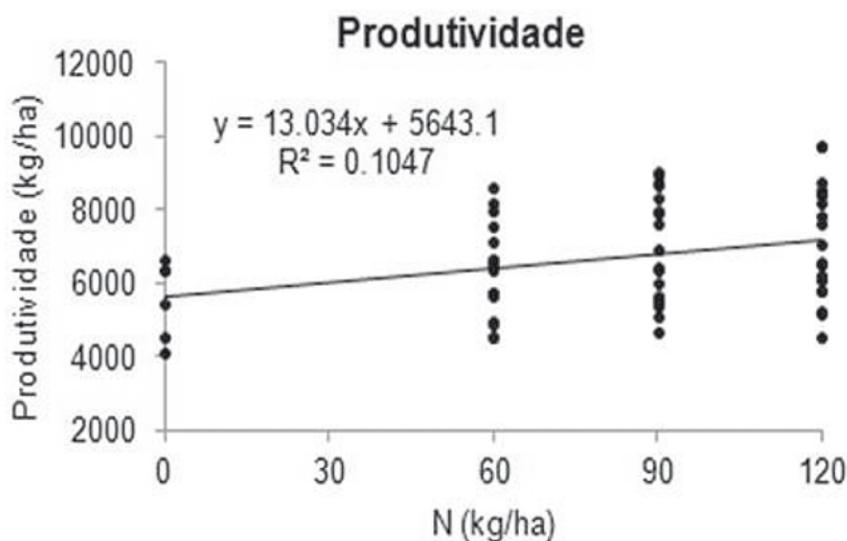


Figura 2. Produtividade do arroz irrigado por alagamento em função da aplicação de doses de N em região de altitude nas safras de 2012/13 e 2013/14. $p(F)=0,012$ (valor p ANOVA); Erro Padrão= 1.381 kg ha^{-1} .

Tabela 3. Análise da variância (ANOVA) e análise dos parâmetros ajustados do modelo de regressão linear para a relação entre os componentes de rendimento padronizados e a produtividade do arroz irrigado

ANOVA			
	Graus liberdade	F	p
Modelo	4	173,0	<0.001
Resíduo	55		
Regressão			
Parâmetro	Coefficiente	t	p
Interseção	6.698,9	127,6	<0.001
Pan.m ²	1.002,3	11,0	<0.001
Grão/Pan.	2.120,8	22,1	<0.001
Esterilidade	-6,1	-0,1	0.920
Massa mil grãos	103,5	1,7	0.102
R ² múltiplo		0,93	
Erro Padrão		406,66	

Tabela 4. Valores do somatório da radiação solar nas fases vegetativa ($\Sigma\text{Rad. veg.}$) reprodutiva ($\Sigma\text{Rad. rep.}$), soma térmica nos períodos vegetativo (ST veg.) e reprodutivo (ST rep.) e número de dias do mês de janeiro com temperatura abaixo do nível crítico (Temp. Min. Crítica Jan.) nas safras de 2012/13 e 2013/14, em Rio do Campo/SC

Safras	Parâmetros climáticos				Temp. Min. Crítica Jan. (dias)
	$\Sigma\text{Rad. veg.}$ (kJ m ⁻²)	$\Sigma\text{Rad. rep.}$ (kJ m ⁻²)	ST veg. (°Dia)	ST rep. (°Dia)	
2012/13	40.750	20.980	1.173	445	12
2013/14	40.814	24.592	1.048	544	5

lo de metabólitos tóxicos e redução de corrente citoplasmática. O frio também origina aumento dos níveis de espécies reativas de oxigênio que causam danos às membranas das células e organelas, principalmente dos cloroplastos, diminuindo a atividade fotossintética (KUK et al., 2003).

O efeito não significativo da interação entre o ano de cultivo e o manejo da adubação nitrogenada (doses e parcelamento), indica pouca relevância das condições climáticas nas safras avaliadas sobre a taxa de resposta do arroz à aplicação do N. A independência do ganho de produtividade em função da dose indica que a ação do clima se deu predominantemente sobre os processos de acúmulo de amido, pouco interferindo no metabolismo do nutriente (Tabelas 1 e 2). Contudo, a interpretação desses resultados deve considerar as variações de temperatura e radiação nas safras avaliadas, as quais ocorreram majoritariamente durante a fase reprodutiva do arroz.

Diferente da fase vegetativa, onde o requerimento pelo N também está associado à síntese de proteínas que atuam nos processos que definem o potencial produtivo (expansão do aparato fotossintético e formação de espiguetas), na fase reprodutiva o requerimento tem maior relação com a atividade da Ribulose-1,5-bifosfato-carboxilase-oxigenase (Rubisco) nas folhas fotossinteticamente mais ativas (MATSUO et al., 1995). Esta diferenciação corrobora com o efeito pouco relevante do clima sobre a resposta da cultura ao manejo da adubação observado neste estudo, visto que a concentração da enzima nestas folhas resulta principalmente da translocação do N adquirido durante a fase juvenil do desenvolvimento da planta.

As informações a respeito da relação entre a fase de ocorrência da variação de temperatura e radiação e o seu efeito sobre o metabolismo do N para o arroz ainda são escassas para a Região Sul do Brasil (LARROSA, 2008). Os estudos realizados avaliam, principalmente, o efeito da ocorrência do frio ao longo do ciclo da cultura e seus impactos sobre a produtividade (STEINMETZ et al., 1997).

De forma geral, assume-se que as respostas do arroz a estas variáveis

estejam associadas principalmente à taxa de absorção e requerimento do nutriente, translocação e à intensidade de síntese de proteínas (MATSUO et al., 1995). Considerando a forte relação entre a atuação destes processos e a taxa de formação de tecidos, é razoável inferir que o efeito do clima sobre o manejo da adubação nitrogenada para o arroz tenha maior relação com variações climáticas ocorridas durante a fase vegetativa.

Outro aspecto relevante observado neste estudo foi a resposta do parcelamento da aplicação do N nas doses testadas. Aparentemente, o efeito benéfico do parcelamento da dose sobre o aproveitamento do N independe do número de aplicações realizadas. A comparação das médias do fator parcelamento (Tabela 2) revelou que o deslocamento das curvas de dose-resposta é significativo apenas para a aplicação em dose única. Resultados similares também foram encontrados por Gunawardena et al. (2003), que verificaram que, independentemente da fase vegetativa ou reprodutiva, doses únicas originam alta esterilidade de espiguetas, ainda que não verificada neste estudo.

A semelhança da produtividade alcançada com o parcelamento do N em 2 ou 3 aplicações sugere que a redução dos teores de N na planta de arroz no período entre a primeira aplicação (início do perfilhamento) e a diferenciação da panícula não é suficiente para afetar a definição do potencial produtivo da cultura.

Embora tal redução não tenha exercido influência sobre a definição do potencial produtivo, a diluição da dose em função do aumento do parcelamento afetou o estabelecimento do estande de plantas. A redução da quantidade de N no início do perfilhamento pelo parcelamento da dose em três aplicações, comprometeu a capacidade da planta de desenvolver suas estruturas axilares e reduziu de forma significativa o número de panículas por área (Tabela 2). Esta condição pode interferir negativamente para o fechamento do dossel, reduzindo principalmente a capacidade da cultura em competir com plantas daninhas (AGOSTINETTO et al., 2001).

O efeito da diluição da dose de N em cobertura, contudo, parece não ser o

principal definidor do desempenho produtivo do arroz em zonas de altitude. O valor do coeficiente atribuído ao número de grãos por panículas no ajuste linear múltiplo dos dados de produtividade sugere que o potencial produtivo da cultura está mais fortemente associado à manutenção de teores adequados de N no tecido no estágio de diferenciação do primórdio floral (Tabela 3). Esse resultado está de acordo com os obtidos por Gunawardena e Fukai (2005), os quais verificaram maior influência dos assimilados sintetizados no início da fase reprodutiva sobre o número de grãos totalmente cheios, em comparação aos translocados das reservas de bainhas e colmos.

Esse resultado sugere uma alta capacidade de compensação da planta de arroz, evidenciando a relevância do manejo da adubação nitrogenada para a cultura. Vários trabalhos realizados também comprovaram a resposta do arroz irrigado à adubação nitrogenada como fator de incremento do rendimento de grãos devido ao aumento do número de grãos formados por panícula (LOPES et al., 1999). Entretanto, esta capacidade de compensação pode ser pouco efetiva em anos adversos, em virtude da forte influência da condição climática nos períodos críticos de definição dos componentes da produção, sendo fundamental o cuidado com o estabelecimento do estande de plantas.

Apesar de corroborar com os pressupostos definidos por diversos autores para os efeitos da temperatura do ar e a radiação solar sobre a produtividade do arroz irrigado (BARBOSA FILHO, 1987), os resultados deste estudo diferem daqueles destinados à avaliação dos efeitos do manejo do N e do frio sobre a esterilidade de espiguetas. A indução ao maior percentual de espiguetas estéreis, promovida pelo aumento da dose de N em condições de baixa temperatura na microsporogênese (GUNAWARDENA et al., 2003), não foi verificada neste estudo. Esta divergência pode estar associada à maior amplitude das doses adotadas por outros autores, cujos máximos foram superiores àquele definido neste estudo.

Os resultados do presente estudo permitem considerar que a interferência do clima sobre o manejo da adubação

nitrogenada para o arroz restringe-se ao período de definição de seu potencial produtivo. Tal relação tem grande relevância para o Alto Vale do Itajaí, que é frequentemente submetido a condições de baixa temperatura e radiação solar durante a primavera (PANDOLFO et al., 2002). Além disso, este comportamento sugere a possibilidade de uso de parâmetros do dossel como critério adicional de definição da expectativa de resposta à adubação nitrogenada, requerendo, porém, a identificação prévia daqueles com maior associação com o potencial produtivo e variações climáticas. Estas informações configurar-se-iam como ferramentas valiosas para a elaboração de recomendações de manejo capazes de otimizar a resposta da cultura à adubação nitrogenada na região.

Conclusões

As variações de temperatura e radiação solar ocorridas apenas na fase reprodutiva não têm efeito sobre a resposta do arroz irrigado à adubação nitrogenada na região do Alto Vale do Itajaí.

A dose e parcelamento da adubação nitrogenada para regiões com altitude semelhante à desse estudo pode ser 90kg de N ha⁻¹, em duas aplicações em cobertura, sem prejuízos ao desempenho produtivo do arroz irrigado.

Agradecimentos

Nossos agradecimentos ao Sr. Antônio Carlos Contezzini, que gentilmente disponibilizou a área para a condução dos experimentos.

Referências Bibliográficas

AGOSTINETTO, D.; FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; MEROTTO JR., A.; VIDAL, R.A. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.31, n.2, p.341-349, 2001.

ARNOLD, C.Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heating units. *Journal of the American Society of Horticultural Sciences*, Alexandria, v.76, p.682-692, 1960. ►

- BARBOSA FILHO, M.P. **Nutrição e adubação do arroz (sequeiro e irrigado)**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. (Boletim Técnico, 9).
- CAVALCANTI, I.A.F.; FERREIRA, N.J. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 182p.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.
- GUNAWARDENA, T.A.; FUKAY, S.; BLAMEY, F.P.C. Low temperature induced spikelet sterility in rice. I. Nitrogen fertilization and sensitive reproductive period. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.54, p.947-956, 2003.
- GUNAWARDENA, T.A.; FUKAI, S. The interaction of nitrogen application and temperature during reproductive stage on spikelet sterility in field-grown rice. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.56, p.625-636, 2005.
- KUK, I.Y.; SHIN, J.S.; BURGOS, N.R.; HWANG, T.E.; HANG, O.; CHO, B.H.; JUNG, S.; GUH, J.O. Antioxidative enzymes offer protection from chilling damage in rice plants. **Crop Science**, Madison, v.43, p.2109-2117, 2003.
- LARROSA, R.F.M. **Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na suscetibilidade do arroz a temperatura baixa na fase reprodutiva**. 2008. 77f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- LOPES, M.S.; MACEDO, V.R.M.; CÔRREA, N.I.; GIORGI, I.U. Curva de resposta à aplicação de nitrogênio para genótipos 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.349-350.
- MARSCHALEK, R.; ROZZETTO, D.S.; STUKER, H.; EBERHARDT, D.S.; RAIMONDI, J.V.; SANTOS, S.B.; PORTO, G.; PAZINI, B.S.; SOUZA, N.M. Seleção de genótipos de arroz irrigado adaptados a região de elevada altitude, sujeita a baixas temperaturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013. Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/ Sosbai, 2013, p.181-184.
- MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. **Science of rice plant: physiology**. Tokyo: Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, v. II, 1995.
- OHASHI, K.; MAKINO, A.; MAE, T. Growth and carbon utilization in rice plant under conditions of physiologically low temperature and irradiance. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.27, p.99-107, 2000.
- PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P.; MASSIGNAN, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM.
- R CORE TEAM (2015). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.
- SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado, Gravatal, SC. **Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí, SC, 2012. 176 p. il.29.
- SOUZA, R.S.; FERNANDES, M.S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SCBS, 2006. 432p.
- STEINMETZ, S.; ROEL, A.; ASSIS, F.N. Risco de ocorrência de frio durante o período reprodutivo do arroz irrigado em regiões produtoras do Rio Grande do Sul e do Uruguai. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1997, Camboriú. **Anais...** Camboriú: Epagri; IRGA-; Embrapa/CPTACT; CNPQ, 1997, p.114-117.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).■