

Épocas e densidades de semeadura sobre o desempenho agrônômico do arroz irrigado no sistema pré-germinado

Sowing time and density on the agronomic performance of irrigated rice in the pre germinated system

Marcos Cardoso Martins Júnior*, **Luís Sangoi**, **Hugo François Kuneski**, **Jussara Cristina Stinghen**, **Lucieli Santini Leolato**, **Thais de Lemos Turek** e **Vander de Liz Oliveira**

Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil. Autor para correspondência: marcos.martins.agro@hotmail.com

Submissão: 08/02/2020 | Aceite: 14/04/2021

RESUMO

Nos últimos anos, os produtores de arroz irrigado do Litoral Sul de Santa Catarina têm antecipado a semeadura da cultura para o início do mês de setembro, visando viabilizar o cultivo do rebrote. Paralelamente a isto, eles têm aumentado a densidade de semeadura para compensar o menor crescimento da cultura. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de analisar os efeitos da época e densidade de semeadura sobre o desempenho agrônômico do arroz no sistema pré-germinado. O experimento foi implantado no município de Praia Grande, SC, na safra 2018/2019. O trabalho foi conduzido no delineamento experimental de blocos ao acaso, arranjos em parcelas subdivididas. Na parcela principal testaram-se três épocas de semeadura: 10/09 (semeadura antecipada), 15/10 (semeadura preferencial) e 20/11 (semeadura tardia). Nas subparcelas avaliaram-se quatro densidades de semeadura: 80, 120, 160 e 200 kg de sementes ha⁻¹. Foram avaliados caracteres morfológicos, o rendimento de grãos e seus componentes. O rendimento de grãos variou de 6.277 a 9.605 kg ha⁻¹ e foi afetado pela interação entre época e densidade de semeadura. A máxima produtividade foi obtida com a semeadura feita na época preferencial, com densidade de 120 kg ha⁻¹. Na semeadura antecipada, o rendimento aumentou linearmente 12,54 kg ha⁻¹ para cada kg de sementes adicionado à menor densidade. A máxima produtividade obtida nesta época de semeadura foi de 7.858 kg ha⁻¹ com 200 kg ha⁻¹ de sementes. A densidade de semeadura teve pouco impacto sobre a produtividade na semeadura tardia. Nesta época de semeadura, o maior rendimento (8.546 kg ha⁻¹) foi registrado na densidade de 120 kg ha⁻¹. A densidade ótima para maximizar a produtividade do arroz pré-germinado no Litoral Sul de Santa Catarina depende da época de semeadura, sendo mais alta quando a cultura é semeada antecipadamente.

PALAVRAS-CHAVE: *Oryza sativa*; arranjo de plantas; época de cultivo; rendimento de grãos.

ABSTRACT

In recent years, paddy rice growers from the south of Santa Catarina, Brazil, have anticipated the sowing date to the beginning of September, aiming to harvest the crop ratoon. In addition to that, they have increased the sowing density to mitigate the smaller plant growth. The objective of this work was to analyze the effects of sowing time and density on the agronomic performance of pregerminated rice. The experiment was set in the city of Praia Grande, SC, Brazil, during the 2018/2019 growing season. A randomized block design was used, with treatments arranged in split plots. Three sowing dates were tested in the main plots: September 10 (early sowing), October 15 (preferential sowing), and November 20 (late sowing). Four sowing densities were evaluated in the split plots: 80 kg, 120 kg, 160 kg, and 200 kg of seeds per hectare. Morphological characteristics and the yield and components of grains were assessed. Grain yield ranged from 6,277 kg ha⁻¹ to 9,605 kg ha⁻¹ and was affected by the interaction between sowing date and density. The highest yield was achieved when rice was sowed on October 15 at the density of 120 kg ha⁻¹. On the earliest sowing date, grain yield increased linearly by 12.54 kg ha⁻¹ for each kg of added seed above the lowest density evaluated in the trial. The highest grain productivity achieved on this sowing date was 7,858 kg ha⁻¹. Plant density had a small impact on rice yield at the latest sowing date. The highest yield at this planting time (8,546 kg ha⁻¹) was gathered at the density of 120 kg ha⁻¹. The optimum seed density to maximize pregerminated rice yield in the south of Santa Catarina depends on the sowing date and is higher when the crop is sowed early.

KEYWORDS: *Oryza sativa*; plant arrangement; sowing time; grain yield.

INTRODUÇÃO

O arroz irrigado é uma das culturas mais importantes para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, pois utiliza áreas de várzea alagadas, inadequadas para o cultivo com outras espécies de importância agrícola (SOSBAI 2018). Estes estados contribuem com aproximadamente 90% da produção de arroz irrigado no Brasil, apresentando produtividade média de 7.500 kg ha⁻¹ (CONAB 2019).

As cultivares modernas de arroz têm potencial para alcançar tetos produtivos acima de 10.000 kg ha⁻¹ (EPAGRI 2019). A produtividade média encontrada nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul é afetada por alguns fatores importantes, tais como a época de semeadura, densidade de semeadura, adubação, correção do solo e características climáticas. Ajustes na época e na densidade de semeadura são fundamentais para otimizar o crescimento das plantas, fazendo com que a produtividade da cultura se aproxime do seu potencial produtivo (CARVALHO et al. 2008).

Segundo a SOSBAI (2018), deve-se utilizar densidades de semeadura que variam de 80 a 120 kg ha⁻¹ de sementes para cultivares convencionais. O objetivo desta densidade é proporcionar um estande de 150 a 300 plantas m⁻². Com este estande, almeja-se obter mais de 600 panículas m⁻² no momento da colheita.

Nos últimos anos constatou-se uma tendência dos produtores de arroz da região sul de Santa Catarina anteciparem a época de semeadura para o início do mês de setembro. Os objetivos desta antecipação são viabilizar a colheita do rebrote, escalonar a operação de semeadura, melhorar a utilização dos recursos hídricos e antecipar a colheita para aproveitar melhores preços de revenda (SOSBAI 2018).

A antecipação da época de semeadura interfere em algumas características da cultura, pois a probabilidade de se ter dias com temperaturas abaixo de 15 °C é maior (BRASIL 2018). As principais características afetadas no arroz submetido à temperatura mais baixa são redução no estande e no número de perfilhos produzidos, aumento no ciclo devido ao menor acúmulo de horas de calor e redução no desenvolvimento inicial das plantas.

Por conta da ineficiência de formação do estande com a utilização das densidades de semeadura recomendadas, os produtores aumentam a população de plantas sem critérios técnicos, podendo ultrapassar os 200 kg ha⁻¹ de sementes certificada. Todavia, este aumento não tem sido estudado, o que gera outro problema à cadeia produtiva, pois a utilização da recomendação atual não é efetiva na maioria dos casos em que se tem o adiantamento na época de semeadura no sul do estado de Santa Catarina e litoral norte do Rio Grande do Sul.

O aumento na densidade de semeadura pode compensar as falhas de estande. Contudo, em determinadas situações a elevada população inicial também pode ocasionar o estiolamento das plantas, com consequente aumento na altura, redução no número de perfilhos, favorecendo o acamamento, a redução na circulação de ar no dossel e o aparecimento de doenças (CARMONA 2002, HÖFS et al. 2004, ROSSO et al. 2016).

Por outro lado, uma baixa densidade de semeadura pode reduzir o estande, aumentando os espaços sem plantas na lavoura, propiciando o desenvolvimento de plantas daninhas, perfilhamento excessivo e maturação desuniforme na colheita (STRECK et al. 2007, FAGUNDES et al. 2010, MARTINS JÚNIOR et al. 2013, SOSBAI 2018).

Portanto, existe a necessidade de identificar a interação existente entre época e densidade de semeadura para otimizar a utilização destas duas práticas culturais como estratégias efetivas de manejo que viabilizem o cultivo do rebrote, sem comprometer a produtividade da primeira safra da cultura.

Este trabalho foi concebido com base na hipótese de que a densidade de semeadura ideal na lavoura de arroz depende da época de semeadura, sendo maior nas semeaduras antecipadas. O trabalho foi implantado com o objetivo geral de avaliar os efeitos da época e da densidade de semeadura sobre o desempenho agrônômico do arroz irrigado cultivado no sistema pré-germinado. Seu objetivo específico foi determinar a melhor densidade em cada época de semeadura para cultura no extremo sul de Santa Catarina.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido numa propriedade localizada no município de Praia Grande, pertencente à região produtora do Litoral Sul de Santa Catarina. As coordenadas geográficas do local são 29° 11' 21" S; 49° 57' 24" W, e altitude de 57 m. O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Háptico Tb Eutrófico. O clima na região é classificado como Cfa de acordo com a classificação de KOTTEK et al. (2006). As características de solo são: argila (%): 32; pH: 5,4; P (mg dm⁻³): 4,4; K (mg dm⁻³): 66; M.O. (%): 2,2; Al (cmol_c dm⁻³): 0,4; Ca (cmol_c dm⁻³): 3,6; Mg (cmol_c dm⁻³): 1,9; CTC_{pH 7} (cmol_c dm⁻³): 10,5 e Saturação

de bases: 54%.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com os tratamentos dispostos no arranjo de parcelas subdivididas. Na parcela principal foram testadas três épocas de semeadura: 10/09/2018 (época antecipada), 15/10/2018 (época preferencial) e 20/11/2018 (época tardia). Nas subparcelas foram avaliadas quatro densidades: 80, 120, 160 e 200 kg sementes ha⁻¹, com quatro repetições por tratamento. As subparcelas possuíam dimensão de 3 m x 4 m e espaçamento de 0,5 m entre subparcelas de densidade e 1,5 m entre parcelas principais de época.

O experimento foi conduzido no sistema de cultivo pré-germinado. A cultivar utilizada foi SCS121 CL. Ela foi escolhida por ser a cultivar com maior área de cultivo no estado de Santa Catarina na safra 2017/2018 e por apresentar elevado potencial produtivo (MAPA 2017, EPAGRI 2019). A semente utilizada para a condução do experimento era certificada de primeira geração (C1), apresentando poder germinativo de 95% e vigor pelo teste de frio de 70%.

A adubação foi realizada a partir do laudo de análise de solo, seguindo as normas do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS RS/SC 2016). A partir desta interpretação e com a expectativa de produtividade de 10 t ha⁻¹, aplicaram-se: 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 60 kg ha⁻¹ de fósforo, e 85 kg ha⁻¹ de potássio. Os demais manejos culturais seguiram a recomendação do SOSBAI (2018) para sistema de cultivo em pré-germinado e cultivar Clearfield®.

A determinação do estande de plantas foi realizada quando as plantas estavam no estádio V2- V3 (duas a três folhas expandidas no colmo principal), segundo a escala de COUNCE et al. (2000). Esta avaliação foi feita numa área de 0,25 m², delimitada por um quadrado de 0,5 x 0,5 m, disposto de forma aleatória em cada subparcela. Para a determinação do perfilhamento efetivo (número de perfilhos que produziram grãos) realizou-se a contagem do número de panículas m⁻², numa área de 0,25 m². Esta avaliação foi feita no dia da colheita de cada época de semeadura.

Para determinação da produtividade colheu-se uma área de 2 m² delimitada por um retângulo com 2 x 1 m disposto aleatoriamente nas subparcelas. No momento da colheita também se retirou aleatoriamente 20 panículas em cada subparcela para as determinações do número de grãos cheios por panícula (NGP), número de espiguetas estéreis por panícula (NEP) e da massa de mil grãos. A partir destes foi-se gerado o índice esterilidade de espiguetas (EE %), na qual, $EE (\%) = (NEP/(NGP+NEP))*100$, outro caráter apresentado foi o número de grãos por panícula na qual é a soma do número de grãos cheios por panícula com o número de espiguetas estéreis por panícula. As datas de colheita de cada época de semeadura foram: 21/02/2019 (semeadura antecipada), 12/03/2019 (semeadura preferencial) e 08/04/2019 (semeadura tardia).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando-se o teste F. Os valores de F para os efeitos principais e interações foram considerados significativos ao nível de 5% (p<0,05). Quando significativas, as médias do fator qualitativo (épocas de semeadura) foram comparadas pelo teste de Tukey, utilizando o software estatístico Assistat (SILVA & AZEVEDO 2002). As médias do fator quantitativo (densidades de semeadura) foram comparadas por análise de regressão, utilizando o software Sigmaplot (SYSTAT SOFTWARE 2019). Ambas as comparações foram feitas ao nível de significância de 5%.

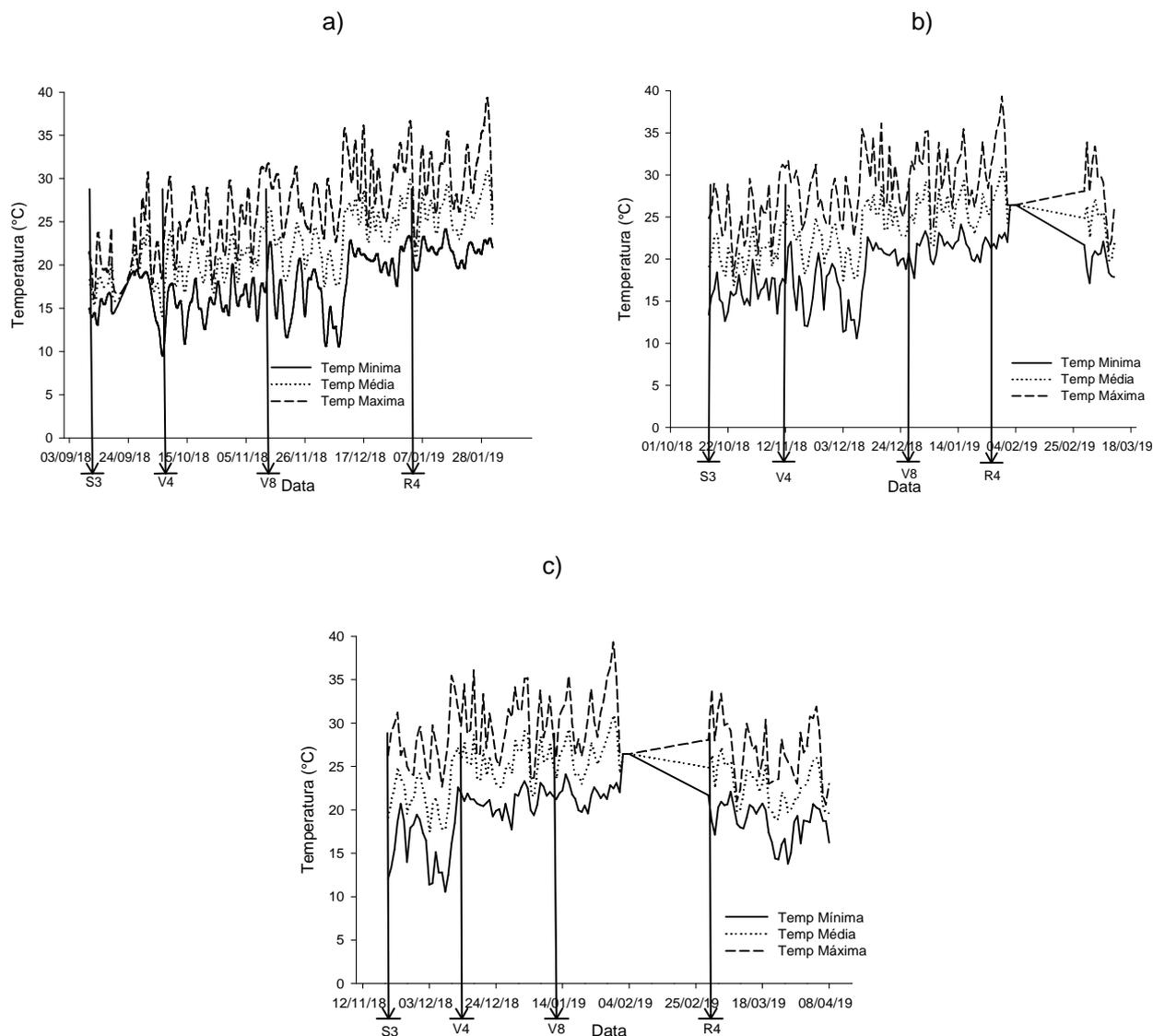
RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações da temperatura mínima, máxima e média, durante o ciclo da cultura, estão apresentadas na Figura 1. A letra a mostra os dados referentes à semeadura antecipada, a letra b da semeadura feita na época preferencial e a letra c da semeadura tardia. Estão faltando na Figura 1 os dados correspondentes ao período compreendido entre 05/02/2018 e 28/02/2018. Estas informações foram perdidas devido a um erro na estação meteorológica durante o mês de fevereiro.

Na Tabela 1 estão descritas as temperaturas críticas para diversos momentos do desenvolvimento da cultura do arroz. Estes dados podem ser comparados com os da Figura 1, onde são apresentados alguns estádios de desenvolvimento do arroz, nas três épocas de semeadura. Os valores reportados na Tabela 1 para as três épocas de semeadura são as temperaturas médias diárias do ar pelo período de sete dias em torno do estádio fenológico da cultura, sendo três dias antes e três dias após a data determinada para cada estádio fenológico.

O estande de plantas, o número de panículas produzidas por área e a percentagem de esterilidade de espiguetas foram afetados pelos efeitos principais dos fatores época e densidade de semeadura. O estande de plantas aumentou progressivamente em função do incremento na densidade de semeadura (Figura 2a). O menor estande foi observado na densidade 80 kg ha⁻¹ (275 pl m⁻²) e o maior estande foi registrado na densidade de 200 kg ha⁻¹ (610 pl m⁻²). A análise de regressão mostra que o número de plantas emergidas

aumentou linearmente com o incremento na densidade de plantas (Figura 2a). Para cada kg de sementes adicionado ao solo houve um incremento no estande de 2,8 pl m⁻², na média das três épocas de semeadura.



Fonte: Elaborada pelo Autor, a partir de dados fornecidos pela EPAGRI-CIRAM.

Figura 1. Variação da temperatura mínima, média e máxima diária durante o ciclo do arroz, em três épocas de semeadura. a: semeadura em 10/09/2018 (Época antecipada); b: semeadura em 15/10/2018 (Época preferencial); c: semeadura em 20/11/2018 (Época tardia). Estádios fenológicos de acordo com COUNCE et al. (2000): S3 – semeadura; V4 - início do perfilhamento; V8 - diferenciação do primórdio floral; R4 - floração. Praia Grande, SC, 2018/2019.

Figure 1. Variation of the minimum, average, and maximum daily temperatures during the rice cycle at three sowing times. a: sowing on September 10, 2018 (Early sowing); b: sowing on October 15, 2018 (Preferential sowing); c: sowing on November 20, 2018 (Late sowing). Phenological stages according to COUNCE et al. (2000): S3 - sowing; V4 - beginning of tillering; V8 - differentiation of the floral primordium; R4 - flowering. Praia Grande, SC, Brazil, 2018/2019.

Observou-se um acréscimo no número de plantas emergidas com o retardamento da semeadura de setembro para novembro (Tabela 2). Esta diferença está diretamente relacionada com a temperatura do solo e do ar no momento da semeadura. Visualmente foi possível observar maior desuniformidade de germinação e emergência na semeadura antecipada, o que não ocorreu nas semeaduras feitas no período recomendado e tardio. As médias de temperatura do ambiente na pré-germinação foram: 17,1 °C, 18,5 °C e 20,6 °C, respectivamente, na primeira, segunda e terceira época de semeadura.

Na Figura 1 pode-se observar que na semeadura feita em 10/09 a temperatura atmosférica média

durante o período compreendido entre S3 e V2 foi de 17,8 °C, enquanto na semeadura feita em 20/11 ela foi de 21,7 °C. Temperaturas baixas retardam a germinação e a emergência do arroz irrigado. Este efeito é mais pronunciado no arroz pré-germinado que é semeado em lâmina de água. Isto ocorre porque a água tem alto calor específico, demandando maior quantidade de energia do que o solo para se aquecer (SOSBAI 2018).

Tabela 1. Temperaturas ótimas, máximas e mínimas para o crescimento e o desenvolvimento do arroz em diferentes fases e estádios fenológicos, de acordo com a escala proposta por COUNCE et al. (2000), e a temperatura média de cada estágio fenológico da cultura do arroz em função das épocas de semeadura. Praia Grande, SC, 2018/2019.

Table 1. Optimal, maximum, and minimum temperatures for rice growth and development in different phases and phenological stages according to the scale proposed by COUNCE et al. (2000) and the average temperature of each phenological stage of the rice culture as a function of the sowing dates. Praia Grande, SC, Brazil, 2018/2019.

Fases de Desenvolvimento	Temperatura Crítica (°C) ⁽¹⁾			Temperatura encontrada (°C) ⁽²⁾		
	Mínima	Máxima	Ótima	10/09	15/10	20/11
Germinação	10	45	20-35	-	-	-
Emergência e estabelecimento da plântula (S3)	12-13	35	25-30	17,0	20,2	21,3
Desenvolvimento da raiz	16	35	25-28	-	-	-
Alongamento da folha	7-12	45	31	-	-	-
Perfilhamento (V4)	9-16	33	25-31	18,5	23,6	26,2
Diferenciação do primórdio floral (V8)	15	35	25-30	23,9	23,8	25,8
Emergência da panícula	15-20	38	25-28	-	-	-
Antese (R4)	22	35	30-33	25,7	26,6	25,3
Maturação	12-18	30	20-25	-	-	-

⁽¹⁾Refere-se a temperatura média diária do ar, com exceção da fase de germinação.

⁽²⁾Refere-se a temperatura média diária do ar, dentro do período discriminado em cada época de semeadura.

Fonte: Adaptada de YOSHIDA (1981).

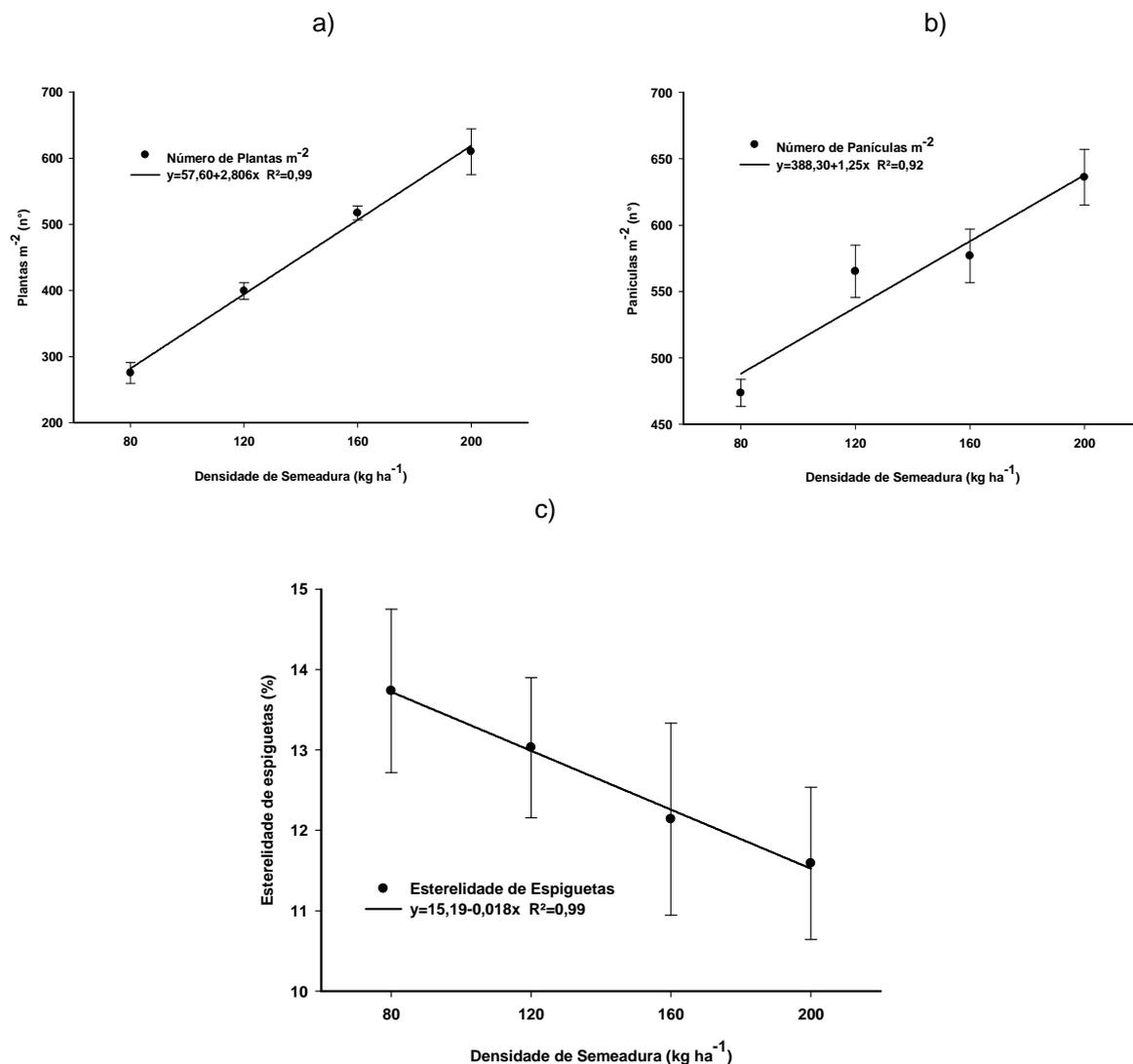
Assim como observado para o estande de plantas, houve um incremento linear no número de panículas por área com o aumento na densidade de semeadura (Figura 2b). Considerando a média das três épocas, na densidade de 200 kg ha⁻¹ houve 162 panículas a mais do que na densidade de 80 kg ha⁻¹. Dados semelhantes foram encontrados por FRANCO et al. (2011), onde com o aumento da densidade houve redução do número de colmos por planta e aumento no número de panículas m⁻².

O número de panículas por metro quadrado foi menor na semeadura tardia do que nas demais épocas de semeadura, na média das quatro densidades (Tabela 2). Os valores de número de panículas m⁻² são normalmente menores que o número de colmos m⁻². Após o estágio V8, que indica o final do perfilhamento, há aborto de alguns perfilhos incapazes de realizar o sincronismo com a planta. Isto acaba reduzindo o perfilhamento efetivo e, conseqüentemente, o número de panículas m⁻² (POLETTTO et al. 2009).

O número total de grãos produzidos por panícula foi afetado pela interação entre época e densidade de semeadura. O comportamento desta variável está descrito na Figura 3. De uma maneira geral, houve maior produção de grãos por panícula na semeadura feita em novembro do que nas demais épocas de semeadura. Os menores valores dessa variável foram registrados quando o arroz foi semeado antecipadamente. A definição deste componente do rendimento depende das condições climáticas e nutricionais às quais a cultura está submetida entre os estádios V7-V8, quando ocorre a diferenciação do primórdio floral, e R4, quando a cultura floresce, da escala de COUNCE et al. (2000). Na Figura 1 pode-se observar as diferenças de temperatura registradas entre as épocas de semeadura nesta fase do ciclo da cultura, com médias durante o período compreendido entre V8 até R4 de 23,5 °C, 25,7 °C e 26,4 °C, respectivamente, na primeira, segunda e terceira época de semeadura.

A primeira época foi semeada no final do inverno. Ela sofreu com temperaturas médias e mínimas

inferiores, quando comparada à terceira época, que foi semeada ao fim da primavera, com temperaturas mais favoráveis ao crescimento e ao desenvolvimento da cultura (25 a 30 °C). Isto acabou favorecendo o desenvolvimento de um maior número de espiguetas que acabaram originando mais grãos por panícula.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2019. Barras de erro simbolizam o erro padrão.

Figura 2. Estande de plantas (a), número de panículas m^{-2} (b) e esterilidade de espiguetas (c) de arroz irrigado em função da densidade, na média de três épocas de semeadura. Praia Grande, SC, 2018/2019.

Figure 2. Plant stand (a), panicle number m^{-2} (b), and spikelet sterility (c) of paddy rice as affected by sowing density on the average of three sowing times. Praia Grande, SC, Brazil, 2018/2019.

Tabela 2. Estande de plantas (E), número de panículas m^{-2} (NP) e esterilidade de espiguetas (EE) do arroz irrigado em função da época de semeadura, na média de quatro densidades de plantas. Praia Grande, SC, 2018/2019.

Table 2. Plant stand (E), panicle number m^{-2} (NP), and spikelet sterility (EE) of paddy rice as affected by sowing time on the average of four sowing densities. Praia Grande, SC, Brazil, 2018/2019.

Época	E (pl m^{-2})	NP (n°)	EE (%)
10/09	402 b	610 a	9,7 c
15/10	458 ab	583 a	11,3 b
20/11	492 a	496 b	15,8 a
Média	451	563	12,3
CV	15,74	6,35	10,88

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV: coeficiente de variação.

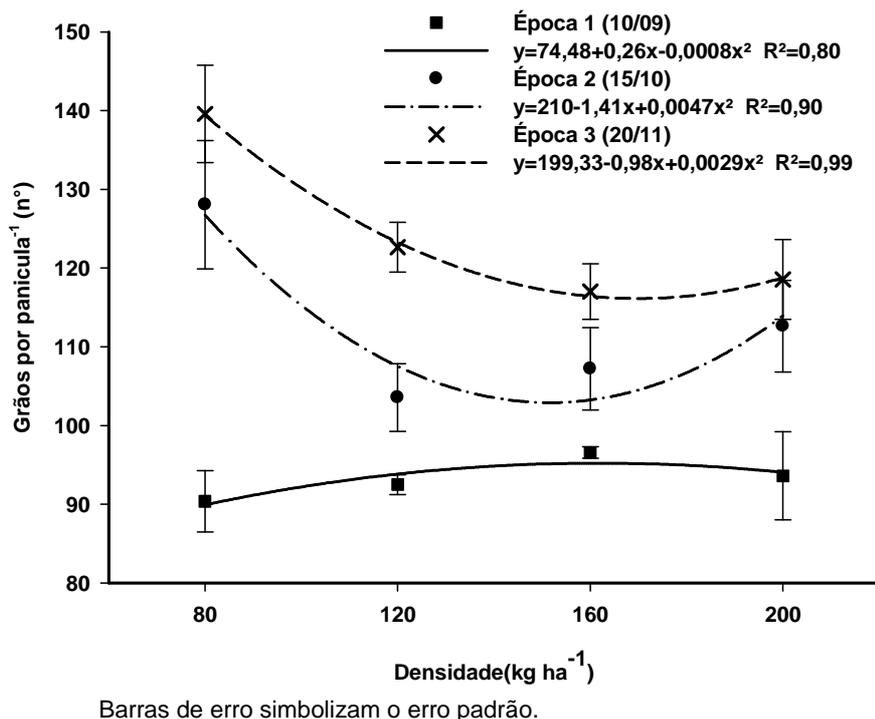


Figura 3. Grãos por panícula (nº) do arroz irrigado em função da época e densidade de semeadura. Praia Grande, SC, 2018/2019.

Figure 3. Grains per panicle (no.) of paddy rice as affected by sowing date and density. Praia Grande, SC, Brazil, 2018/2019.

Houve um efeito diferenciado da densidade de semeadura sobre o número de grãos por panícula em cada época de semeadura. Na semeadura antecipada, o número de grãos por panícula se manteve relativamente estável quando se aumentou a densidade de 80 para 200 kg ha⁻¹ de sementes. Nas semeaduras feitas na época preferencial e tardia houve uma tendência de redução quadrática do número de grãos por panícula com o adensamento. De acordo com FRANCO et al. (2011), há uma tendência de redução do número de grãos por panícula com o aumento da densidade em arroz, salientando a plasticidade presente no arroz para com o adensamento.

Houve um aumento na percentagem de esterilidade de espiguetas com o retardamento da semeadura (Tabela 2). A semeadura antecipada apresentou a menor (9,7%) e a semeadura tardia a maior (15,8%) esterilidade. Esta característica é influenciada diretamente pelas temperaturas logo antes, durante e logo após a antese. Estas fases foram consideradas por AGUIAR et al. (2013), BRITO et al. (2017), SOUZA et al. (2017 e 2019), como as mais sensíveis do arroz irrigado, principalmente a temperaturas elevadas. Outro fator que pode contribuir para o aumento da esterilidade é a presença de doenças, como a *Magnaporthe grisea*, popularmente conhecida por brusone do pescoço. No entanto, a cultivar utilizada no ensaio (SCS121 CL) é considerada resistente a este patógeno, não sendo visualizado nenhum dano durante a condução do experimento.

Portanto, o aumento da esterilidade com o atraso da época de semeadura pode estar associado às altas temperaturas que ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro (Figura 1). As temperaturas máximas registradas no período compreendido entre a microsporogênese e a floração estão diretamente ligadas à esterilidade de espiguetas (SOUZA et al. 2017). Em nosso estudo, neste período, as temperaturas máximas para a primeira, segunda e terceira semeadura foram de, respectivamente, 32,3 °C, 29 °C e 31 °C. As temperaturas da primeira e terceira época estão acima do valor ótimo para a cultura.

Outro fator a ser analisado é que a esterilidade também é uma característica de segurança da planta. O arroz normalmente produz mais espiguetas do que é possível transformar em grãos (FRANCO et al. 2011). Possivelmente as plantas semeadas em novembro estavam numa situação favorável entre a diferenciação do primórdio floral e o emborrachamento. Isto pode ter favorecido a formação de um elevado número de espiguetas. Contudo, durante o enchimento de grãos, entre os estádios R5 a R7, pode não ter havido fotoassimilados suficientes para serem translocados até as panículas. Temperaturas altas reduzem a atividade fotossintética da planta, além de aumentarem as perdas por respiração e fotorrespiração (BRITO

et al. 2017). Esta combinação de fatores pode ter aumentado a porcentagem de esterilidade de espiguetas na semeadura tardia.

Durante o enchimento de grãos, as temperaturas médias foram de 26,2 °C, 26,8 °C e 22,7 °C nas semeaduras antecipada, preferencial e tardia, respectivamente. Observando os dados de temperatura pode-se associar a alta esterilidade de espiguetas da época tardia à alta temperatura da microsporogênese até a antese e à baixa temperatura durante o enchimento de grãos.

O incremento na densidade de semeadura reduziu linearmente a esterilidade de espiguetas (Figura 2c). A menor densidade de semeadura (80 kg ha⁻¹) foi responsável pelo menor número de panículas m⁻², maior número de grãos panícula⁻¹ e maior esterilidade de espiguetas. Isto reforça o argumento de que a planta tentou compensar a falta de panículas em número de grãos. Contudo, durante o enchimento não havia maquinaria fotossintética suficiente para produção de fotoassimilados e enchimento de todos estes grãos. Comportamento inverso ocorreu na maior densidade (200 kg ha⁻¹), onde houve maior número de panículas m⁻², menor número de grãos panícula⁻¹ e menor esterilidade de espiguetas.

O número de grãos cheios por panícula é resultante do número de grãos por panícula descontado da esterilidade de espiguetas. Ele é um indicativo das cariopses que passaram pelo processo de enchimento e se transformaram em grãos. Houve um aumento do número de grãos da semeadura antecipada (85) para a semeadura tardia (106). Mesmo a esterilidade sendo alta na época tardia, ainda foi possível alcançar um alto número de grãos cheios por panícula (Tabela 3). O maior número de grãos cheios foi obtido na menor densidade (105). Com a utilização de 80 kg ha⁻¹ de sementes, embora a planta apresentasse alta esterilidade, ela pode compensar a perda de espiguetas por conta do menor número de plantas m⁻² e aproveitar melhor a incidência luminosa para o enchimento de grãos.

Tabela 3. Grãos cheios por panícula (nº) do arroz irrigado em função da época e densidade de semeadura. Praia Grande, SC, 2018/2019.

Table 3. Filled grains per panicle (no.) of paddy as affected by sowing date and density. Praia Grande, SC, Brazil, 2018/2019.

Época	Densidade de Semeadura (kg ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	80	120	160	200		
10/09	86	83	84	85	85 b	13,36
15/10	113	83	90	92	95 ab	
20/11	115	103	101	105	106 a	
Média	105 A	90 B	92 B	94 AB		
CV (%)	10,32					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV = coeficiente de variação.

A massa de mil grãos é o componente do rendimento do arroz menos afetado por variações no arranjo de plantas (YOSHIDA 1981, LIMA et al. 2010). Isto foi confirmado no trabalho, pois ele não foi afetado significativamente por variações na densidade de plantas (Tabela 4). Os componentes de rendimento do arroz com alto poder de compensação a variações no arranjo de plantas são o número de panículas m⁻² e o número de grãos panícula⁻¹ (SOSBAI 2018).

Tabela 4. Massa de mil grãos (g) do arroz irrigado em função da época e densidade de semeadura. Praia Grande, SC, 2018/2019.

Table 4. Weight of a thousand grains (g) of paddy rice as affected by sowing date and density. Praia Grande, SC, Brazil, 2018/2019.

Época	Densidade de Semeadura (kg ha ⁻¹)				Média	CV (%)
	80	120	160	200		
10/09	30,4	30,3	30,8	30,3	30,5 a	1,92
15/10	30,3	30,2	30,3	30,6	30,3 a	
20/11	27,8	27,9	27,5	27,7	27,7 b	
Média	29,5	29,5	29,5	29,5 NS		
CV (%)	1,73					

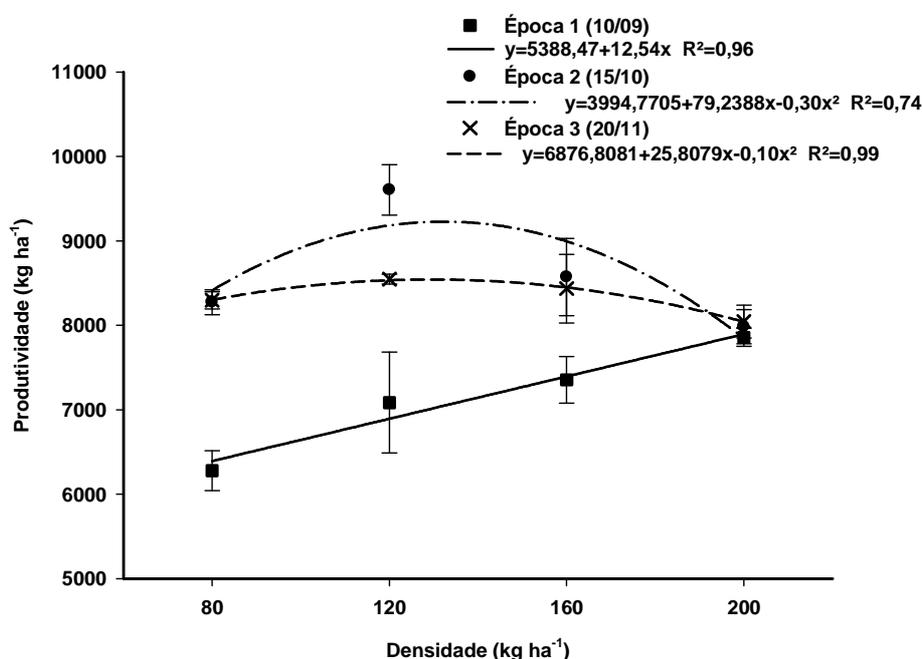
Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. NS = Diferenças entre médias não significativas na linha. CV = coeficiente de variação.

A massa de mil grãos é afetada principalmente pela cultivar, ataque de pragas como o percevejo dos grãos, e por variações da temperatura (efeitos de calor ou frio extremos) durante o enchimento de grãos (YOSHIDA 1981, SOUZA et al. 2019). Observou-se diferenças significativas na massa de grãos entre as épocas de semeadura. A massa de mil grãos foi menor na semeadura tardia (27,7 g), do que nas demais épocas de semeadura, nas quais esta variável superou 30,0 g.

Este efeito pode estar diretamente ligado à temperatura durante o período de enchimento de grãos. Segundo SOUZA et al. (2019), a cultivar SCS121 CL pode apresentar redução significativa na massa de mil grãos quando submetida a temperaturas acima de 35 °C durante e após a antese. Estes valores corroboram com YOSHIDA (1981) que determinou que a temperatura ótima esta fase do ciclo varia de 30 a 33 °C, apresentando perdas a partir de 35 °C (Tabela 1). As temperaturas máximas encontradas durante o enchimento de grãos foram 30,3 °C, 29,7 °C e 26,9 °C, respectivamente, na primeira, segunda e terceira época de semeadura. Não foi possível identificar temperaturas extremas durante a fase de enchimento de grãos, porém a média da temperatura mínima foi mais expressiva sendo 22,1 °C, 21,40 °C e 18,6 °C. De acordo com SOUZA (2015), temperaturas abaixo dos 21 °C na fase de microsporogênese e antese são responsáveis pela redução da massa de mil grãos. Como é possível observar, apenas na terceira época de semeadura obteve-se valores inferiores à mínima tolerável. De acordo com YOSHIDA (1981), a temperatura mínima tolerável pelo arroz na antese é 22 °C (Tabela 1). Tal fato corrobora com a redução na massa de mil grãos da terceira época (27,7 g) quando comparada às demais épocas de semeadura.

A produtividade do arroz irrigado foi afetada pela interação entre época e densidade de semeadura. Isto demonstra que o rendimento de grãos apresentou comportamento distinto nas três épocas, em função da quantidade de sementes utilizadas na implantação do ensaio.

O rendimento de grãos respondeu de forma quadrática ao incremento da densidade nas épocas de semeadura preferencial e tardia (Figura 4). A máxima produtividade (9.605 kg ha⁻¹) foi alcançada com a semeadura em 15 de outubro e a utilização de 120 kg ha⁻¹ de sementes. Este resultado corrobora as recomendações vigentes para a região sul do estado de Santa Catarina, tanto quanto a época quanto em relação à densidade de semeadura (SOSBAI 2018). Densidades de semeadura superiores a 120 kg ha⁻¹ decresceram a produtividade na época preferencial, chegando a um mínimo de 7.985 kg ha⁻¹ quando se utilizou 200 kg ha⁻¹ de sementes.



Barras de erro simbolizam o erro padrão.

Figura 4. Produtividade (kg ha⁻¹) de arroz irrigado em função da época e densidade de semeadura. Praia Grande, SC, 2018/2019.

Figure 4. Productivity (kg ha⁻¹) of paddy rice as affected by sowing date and density. Praia Grande, SC, Brazil, 2018/2019.

A densidade de semeadura teve pouco impacto sobre a produtividade do arroz semeado tardiamente. Nesta época de semeadura houve variação de 500 kg ha⁻¹ entre a menor produtividade (8.043 kg ha⁻¹),

obtida na maior densidade, e a maior produtividade (8.546 kg ha⁻¹), registrada na densidade de 120 kg ha⁻¹.

A maior resposta da produtividade da cultura às densidades de semeadura ocorreu quando a semeadura foi antecipada para o mês de setembro. Nesta época de semeadura, o rendimento aumentou linearmente com o incremento na densidade de 80 para 200 kg de sementes por ha. O incremento de produtividade foi de 12,54 kg para cada kg de sementes adicionado na semeadura, alcançando 7.858 kg ha⁻¹ na maior densidade. Este comportamento está relacionado com as menores temperaturas registradas desde a fase de pré-germinação das sementes até a diferenciação do primórdio floral (R0). As temperaturas mais baixas reduziram o estande de plantas, o perfilhamento e o número de grãos por panícula quando o arroz foi semeado antecipadamente (Tabela 2, Figura 3). Na semeadura feita em 10/09, as médias das temperaturas mínima e máxima no período correspondente da semeadura até o perfilhamento (V4) foram de 15,8 °C e 23,8 °C, respectivamente. Estes valores estão abaixo da ideal (25 a 30 °C) para o pleno desenvolvimento da cultura na fase vegetativa. O principal fator de compensação destas restrições térmicas foi o adensamento.

Os dados descritos na Figura 4 demonstram a extrema importância do estudo entre a interação de épocas e densidades de semeadura, principalmente quando se analisa a antecipação da semeadura. Esta interação aumenta de importância com o incremento nos tetos de rendimento da cultura. Deve-se destacar que, independentemente da densidade, as produtividades obtidas nas semeaduras feitas em outubro e novembro foram superiores à média do estado de Santa Catarina. Segundo a CONAB (2019), a média catarinense foi de 7.500 kg ha⁻¹ na safra 2018/2019. Na semeadura antecipada foi necessário utilizar a densidade supra-ótima de 200 kg ha⁻¹ para que o rendimento superasse a média estadual.

Considerando a média de produtividade estadual e o potencial produtivo da cultivar utilizada que é de aproximadamente 10.000 kg ha⁻¹ (EPAGRI 2019), a combinação entre época e densidade de semeadura propiciou variação de produtividades desde valores inferiores à média catarinense, até valores muito próximos ao limite da cultivar utilizada. Isto demonstra que a combinação adequada entre as duas práticas culturais é extremamente importante para definição do potencial produtivo, além de não gerar custos ao produtor.

O adiantamento da época de semeadura na região sul de Santa Catarina não se demonstrou uma prática vantajosa, pois além de se aumentar os custos com o maior investimento em quantidade de sementes, tem-se menor produtividade quando comparada às demais épocas de semeadura. O incremento na densidade de semeadura mitigou os prejuízos ao rendimento ocasionados pela antecipação na data de semeadura, confirmando a hipótese que originou o trabalho. Contudo, além de incrementar os custos de produção, a produtividade obtida com a semeadura do arroz em 10/09 com 200 kg ha⁻¹ de sementes foi 1.747 kg ha⁻¹ menor do que o rendimento alcançado com a semeadura em 15/10, na densidade de 120 kg ha⁻¹.

O ajuste da época de semeadura é a melhor alternativa ao produtor sul catarinense, pois há um acréscimo de produtividade sem aumento de custos. No entanto, para os produtores que almejem viabilizar o aproveitamento do rebrote, o aumento na densidade de semeadura se mostrou uma prática recomendável nas semeaduras antecipadas, podendo também ser uma alternativa para produtores que necessitam escalonar sua produção. No presente estudo não foi possível identificar um limite de densidade na época antecipada. Portanto, são necessários novos trabalhos envolvendo a época antecipada e densidades de sementes superiores a 200 kg ha⁻¹.

CONCLUSÃO

As maiores produtividades de arroz irrigado no sul do estado de Santa Catarina são obtidas com a semeadura do arroz na época preferencial (15/10), com a densidade de 120 kg de sementes ha⁻¹.

A densidade ótima para maximizar a produtividade do arroz pré-germinado no sul de Santa Catarina depende da época de semeadura, sendo mais alta quando a cultura é semeada antecipadamente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudos ao primeiro autor, ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de Produtividade em Pesquisa ao segundo autor e a COOPERJA (Cooperativa agroaceleradora) pelo fornecimento das sementes utilizadas no trabalho.

REFERÊNCIAS

AGUIAR GA et al. 2013. Termoterapia na emasculação de arroz irrigado. In: VIII congresso brasileiro de arroz irrigado. Rev. Ciênc. Agrovet., Lages, SC, Brasil (ISSN 2238-1171)

- Anais... Santa Maria: CBAI. p.1-4.
- BRASIL. 2018. MAPA. ATO Portaria N° 61, de 9 de maio de 2018.
- BRITO GG et al. 2017. Temperaturas supraótimas sobre o arroz irrigado: efeitos sobre a fotossíntese e esterilidade de espiguetas. Pelotas: Embrapa. 7 p. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1081014>>. Acesso em: 07 jan. 2020.
- CARMONA RC. 2002. Resposta de cultivares de arroz irrigado a densidade de semeadura e a adubação nitrogenada em área com rizipiscicultura. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Porto Alegre: UFRGS. 61p.
- CARVALHO JA et al. 2008. Efeito de espaçamento e densidade de semeadura sobre a produtividade e os componentes de produção da cultivar de arroz BRSMG Conai. Ciência e Agrotecnologia 32: 785-791.
- CQFS RS/SC. 2016. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul.
- CONAB. 2019. Série histórica das safras: Arroz Irrigado. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 08 mai. 2020.
- COUNCE PA et al. 2000. A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development. Crop Science 40: 436-443.
- EPAGRI. 2019. Cultivar de arroz da Epagri é o mais plantado em SC. Disponível em: <<https://www.portaldoagronegocio.com.br/agricultura/arroz/noticias/cultivar-de-arroz-da-epagri-e-o-mais-plantado-em-sc-189494>>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- FAGUNDES PRR et al. 2010. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: Tolerância de genótipos de arroz irrigado ao frio nos estádios de germinação e emergência. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 18p.
- FRANCO DF et al. 2011. Arranjo espacial de plantas e contribuição do colmo principal e dos perfilhos na produção de grãos do arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). Revista Brasileira de Agrociências 17: 32-41.
- HÓFS A et al. 2004. Efeito da qualidade fisiológica das sementes e da densidade de semeadura sobre o rendimento de grãos e qualidade industrial em arroz. Revista Brasileira de Sementes 26: 54-62.
- KOTTEK M et al. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift 15: 259-263.
- LIMA EV et al. 2010. Participação do colmo principal e dos afilhos na produtividade do arroz irrigado, em função da densidade de semeadura. Bragantia 2: 387-393.
- MAPA. 2017. SIGEF - Controle da Produção de Sementes e Mudanças - Indicadores. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/sigefsementes/index.htm>>. Acesso em: 26 jun. 2018.
- MARTINS JÚNIOR MC et al. 2013. Identificação de afilhos produtivos na cultivar híbrida INOV CL em diferentes densidades de semeadura. In: II Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense - Sict Sul, Sombrio. Anais... Criciúma: IFSC. p.689-690.
- POLETTO N et al. 2009. Desenvolvimento foliar e sincronismo dos afilhos na cultivar de arroz 'IRGA 417'. Ciência Rural 39: 2327-2333.
- ROSSO RB et al. 2016. Influência do manejo da altura de lâmina de água e densidade de semeadura nos componentes de produção do arroz no sistema de cultivo pré-germinado. Revista de La Facultad de Agronomía La Plata 115: 19-28.
- SILVA FAS & AZEVEDO CAV. 2002. Versão do programa computacional Assisat para o sistema operacional Windows. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais 4: 71-78.
- SOSBAI. 2018. Sociedade Sul - Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. 32.ed. Farroupilha: SOSBAI. 209p.
- SOUZA NM. 2015. Tolerância a baixas temperaturas na fase de microsporogênese em genótipos de arroz irrigado. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Lages: UDESC. 93p.
- SOUZA NM et al. 2017. Spikelet sterility in rice genotypes affected by temperature at microsporogenesis. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 21: 817-821.
- SOUZA NM et al. 2019. Efeito de altas temperaturas na antese sobre a massa de 1.000 grãos em genótipos de arroz. In: Simpósio Internacional Ciência, Saúde e Território. Anais... Lages: UNIPLAC. p.928-933.
- STRECK NA et al. 2007. Filocrono de genótipos de arroz irrigado em função de época de semeadura. Ciência Rural 37: 323-329.
- SYSTAT SOFTWARE. 2019. SigmaPlot 14 Features. San Jose: Systat Software.
- YOSHIDA S. 1981. Fundamentals of rice crop science. Los Baños: International Rice Research Institute. 279p.