



Simulação do manejo do nitrogênio em arroz de terras altas com o modelo ORYZA/APSIM 2000

Luís F. Stone¹ & Alexandre B. Heinemann¹

RESUMO

É importante definir a estratégia de manejo da adubação nitrogenada para o arroz de terras altas, pois o nitrogênio é o nutriente mais absorvido pelas plantas dessa cultura e, devido à facilidade de lixiviação no solo, pode poluir o meio ambiente. Objetivou-se, com este trabalho simular, com o modelo ORYZA/APSIM 2000, diferentes estratégias de manejo da adubação nitrogenada visando maximizar a produtividade e minimizar a lixiviação de N. Na simulação foi considerada a aplicação da dose de 100 kg ha⁻¹ de N em cinco modos: TP - 1/5 na semeadura, 2/5 no início do perfilhamento (IP) e 2/5 na diferenciação da panícula (DP); T1 - todo na semeadura; T2 - todo aos 20 dias antes da semeadura; T3 - 1/5 na semeadura e 4/5 no IP e T4 - 1/5 na semeadura e 4/5 na DP, os quais foram combinados com cinco datas de semeadura: 01/11, 15/11, 01/12, 15/12 e 31/12. O parcelamento da adubação nitrogenada mostrou-se como a estratégia com maior probabilidade de resultar em altas produtividades do arroz de terras altas. Quando não se utiliza essa estratégia, a probabilidade de perdas de nitrogênio por lixiviação é maior. Há maior probabilidade de se obter altas produtividades em datas de semeadura precoces a partir de 01/11, apesar da semeadura tardia contribuir para redução nas perdas de nitrogênio por lixiviação.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, adubação nitrogenada, lixiviação de N, data de semeadura

Simulation of nitrogen management in upland rice with ORYZA/APSIM 2000 model

ABSTRACT

It is important to define nitrogen management strategy for upland rice crop, because nitrogen is the nutrient more absorbed by rice plants and, due to the ease of leaching in soil, it can pollute the environment. This study aimed to simulate, based on ORYZA/APSIM 2000 model, different strategies for nitrogen fertilization management to maximize the productivity and minimize the N leaching. In the simulation, five application modes with an application rate of 100 kg N ha⁻¹ were considered: TP - 1/5 at sowing, 2/5 at the beginning of tillering (T) and 2/5 at panicle differentiation (P); T1 - all at sowing; T2 - all at 20 days before sowing; T3 - 1/5 at sowing and 4/5 at T and T4 - 1/5 at sowing and 4/5 at P. Application modes were combined with five sowing dates: 01/11, 15/11, 01/12, 15/12 and 31/12. Nitrogen fertilizer split applications showed to be the strategy most likely to result in high yields of upland rice. When this strategy is not used, the probability of nitrogen losses by leaching is higher. There is higher probability of obtaining higher yields in the earliest sowing dates, from 01/11, despite the late sowing contribute to reduction in nitrogen losses by leaching.

Key words: *Oryza sativa*, nitrogen fertilization, N leaching, sowing date

INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o nutriente absorvido em maior quantidade pela planta de arroz (Fageria et al., 2003). Em razão dessa alta exigência sua aplicação parcelada se faz oportuna devido à facilidade de lixiviação no solo (Neves et al., 2004). Fertilizantes nitrogenados podem poluir o meio ambiente se não forem utilizados na dose adequada nem aplicados de modo correto (Fageria & Prabhu, 2004). A utilização de doses e épocas de aplicação (parcelamento ou não) de acordo com a necessidade da planta de arroz podem aumentar significativamente a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados e, em consequência, a produtividade do arroz (Fageria et al., 2003). Em geral, a dose de N a ser utilizada na cultura se baseia na produtividade esperada e no histórico da área (Hernandes et al., 2010).

A utilização do sistema plantio direto (SPD) vem crescendo na região do Cerrado onde se situa a maioria da área cultivada com arroz de terras altas. Entretanto, o cultivo da cultura nesse sistema é incipiente e o manejo da adubação nitrogenada ainda precisa ser melhor ajustado. A maior consequência da adoção do SPD é a alteração da dinâmica da matéria orgânica e da atividade biológica do solo em decorrência, sobremaneira, do não-revolvimento e da manutenção do solo coberto pela palhada (Guimarães & Stone, 2003). Em solos sob SPD pode ocorrer menor disponibilidade de N para as plantas em razão da maior imobilização microbiana desse nutriente (Heinrichs et al., 2001). A intensidade com que a imobilização do N mineral pela palhada afeta sua disponibilidade para a cultura subsequente depende da relação C:N, composição e quantidade dos resíduos (Silva et al., 2002).

Guimarães & Stone (2003) não constataram, comparando no SPD três modos de aplicação de N: totalmente na semeadura, 1/2 na semeadura e 1/2 na iniciação da panícula e 2/3 na semeadura e 1/3 na iniciação da panícula, diferença na produtividade do arroz cultivado após soja; apesar disto os autores verificaram, após pastagem, que o parcelamento do N, especialmente o terceiro modo de aplicação, propiciou maiores produtividades. Já Neves et al. (2004) e Cornélio et al. (2007) obtiveram maior produtividade de arroz quando aplicaram menores quantidades de N na semeadura; 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura e duas coberturas de 40 kg ha⁻¹ de N aos 30 e 50 dias após a germinação em relação à aplicação de apenas uma cobertura com 80 kg ha⁻¹ de N, no primeiro caso, e de 1/3 do N na semeadura e 2/3 na diferenciação do primórdio floral em relação à aplicação de todo o N na semeadura, com resposta até 160 kg ha⁻¹ de N, no segundo caso. Outros autores não encontraram diferença significativa na aplicação de todo o N na semeadura ou no perfilhamento (Hernandes et al., 2010).

A aplicação de todo o N por ocasião da semeadura vem sendo muito discutida para a cultura do arroz de terras altas no Brasil Central, principalmente em condições de SPD. De acordo com Kluthcouski et al. (2006), vários experimentos já desenvolvidos nos Estados de Goiás e Mato Grosso, evidenciaram que esse modo de aplicação é mais eficiente que o método tradicional, parte na semeadura e parte em cobertura, sobre a produtividade de grãos desse cereal. Entretanto, pouco

se sabe quanto aos impactos dos fatores climáticos, sobretudo em referência à precipitação, nesta prática.

Modelos de simulação do desenvolvimento, crescimento e produtividade de culturas são considerados excelente ferramenta para explorar opções de manejo. Referidos modelos sintetizam os processos ecofisiológicos do crescimento e desenvolvimento de culturas e podem auxiliar nas relações entre o N disponível no solo, taxas de N mineral aplicado via fertilizante e o desempenho da cultura. Também, permitem a extrapolação de resultados experimentais para diferentes práticas de manejo, condições climáticas e estratégias de manejo de N (Bouman & Laar, 2006).

Dentre os modelos de crescimento se destaca o ORYZA/ APSIM 2000, que simula as dinâmicas do crescimento, desenvolvimento e produtividade do arroz em condições potenciais (Kropff et al., 1994), limitantes de água (Wopereis et al., 1996) e de N (Bouman & Laar, 2006). Objetivou-se com este trabalho simular, com o modelo ORYZA/ APSIM 2000, diferentes estratégias de manejo da adubação nitrogenada visando maximizar a produtividade e minimizar a lixiviação de N, contribuindo para a sustentabilidade do sistema de produção de arroz de terras altas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreendeu o município de Santo Antônio de Goiás, GO, cujas coordenadas geográficas são latitude 16° 48' 00" S, longitude 49° 31' 00" W e altitude de 823 m. O clima, conforme classificação de Köppen é Aw, tropical de savana, megatérmico. A série de dados climáticos diários utilizados neste estudo foi proveniente da estação meteorológica localizada na Embrapa Arroz e Feijão, no mesmo município. O período de estudo foi de 1984 a 2008 e as variáveis climáticas utilizadas foram precipitação, temperatura máxima, mínima e radiação solar global.

Neste estudo a cultivar de arroz de terras altas considerada foi a BRS Primavera, que apresenta ciclo em torno de 110 dias, médio perfilhamento e grãos longos e finos. Características fisionomológicas dessa cultivar estão descritas em Heinemann et al. (2009). Esta cultivar foi parametrizada e validada para o modelo ORYZA/ APSIM 2000 e os coeficientes fenológicos utilizados estão descritos em Lorençoni et al. (2010). A profundidade efetiva máxima do sistema radicular foi considerada 40 cm; as características físico-hídricas e o número de camadas que caracterizam um Latossolo Vermelho distrófico, solo predominante na região e utilizado pelo modelo, estão descritos na Tabela 1.

O ORYZA/ APSIM 2000 é um modelo de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade do arroz. Neste estudo somente os principais processos do modelo serão descritos. Maiores detalhes podem ser obtidos em Bouman et al. (2001) e Bouman & Laar (2006).

O modelo segue um regime de cálculos diários para simular o desenvolvimento fenológico e o crescimento da matéria seca dos diversos órgãos da planta. Ele considera que a radiação solar e a temperatura são os fatores determinantes no crescimento da cultura, quando as condições de manejo estão adequadas.

Tabela 1. Características físico-hídricas do solo utilizadas pelo modelo ORYZA/APSIM 2000

Profundidade (cm)	Densidade (Mg m ⁻³)	Saturação	Capacidade de campo (mm)	Ponto de murcha
0-10	1,21	47	35	20
10-20	1,33	42	36	23
20-30	1,41	41	32	20
30-40	1,24	44	30	20
40-50	1,11	47	31	22
50-60	1,02	48	31	20
60-70	1,08	49	35	21

A radiação dentro do dossel da cultura foi calculada em função da área foliar total e sua distribuição é considerada vertical. O desenvolvimento da área foliar foi calculado por meio da temperatura média diária enquanto o dossel não estivesse completamente fechado e, após seu fechamento, mediante o aumento na massa da folha, sendo regida pela equação que descreve a área específica foliar durante o ciclo da cultura.

A fotossíntese de uma única folha depende da concentração de N na folha, intensidade da radiação (separada em radiação direta e difusa), concentração de CO₂ no estômato e temperatura. Visando ao acúmulo de matéria seca diária, expresso em kg de carboidratos por ha d⁻¹, os requerimentos para a respiração de manutenção foram subtraídos da taxa de assimilação bruta. Os carboidratos produzidos foram distribuídos entre as diferentes partes da planta (raiz, folha, caule e panícula) utilizando-se coeficientes empíricos de partição em função do estágio de desenvolvimento da planta, o qual foi função da temperatura média do ar e do fotoperíodo. A conversão de carboidratos em matéria seca estrutural é baseada na equação derivada de Vries & van Laar (1982).

A densidade de panículas no florescimento foi derivada da quantidade total de matéria seca acumulada no período entre a iniciação da panícula e o florescimento. A demanda potencial da planta por N é calculada em função da taxa de crescimento e da quantidade de N nos órgãos da planta. A demanda de N para as folhas e colmo foi calculada em função da diferença entre a quantidade máxima e atual de N nos órgãos existentes e nos que se estão formando. A quantidade máxima de N das folhas se modifica em função do estágio de desenvolvimento da cultura. A quantidade de N no colmo foi considerada metade da existente na folha e a quantidade máxima de N nos grãos foi calculada em função do N total absorvido pela cultura até a data de florescimento, considerando-se um máximo de 0,0175 kg N por kg de matéria seca (Bouman & Laar, 2006).

Todo o N alocado para as panículas foi proveniente da translocação do colmo e folhas, após o florescimento. A absorção diária de N é limitada pelo menor valor entre a máxima demanda fisiológica de N pela planta e a quantidade de N disponível para absorção no solo. O modelo não considera as dinâmicas dos processos de transformação do N que ocorrem no solo. A área efetiva da raiz foi considerada um único compartimento no qual todo o N mineral está disponível para absorção pela cultura.

O balanço hídrico utilizado no modelo é unidimensional, com multicamadas determinadas pelo usuário sistema este

utilizado também pelo modelo CERES (Jones & Kiniry, 1986). As características da água no solo são especificadas em termos de conteúdo de água de saturação do solo, capacidade de campo e ponto de murcha permanente. A quantidade de água recebida pelo solo por meio de precipitação e irrigação foi considerada para o cálculo da evapotranspiração e perdas por percolação. A evaporação do solo e a transpiração da planta foram calculadas considerando-se, preferencialmente, a camada inicial do solo e as camadas dentro da profundidade efetiva do sistema radicular.

Para as diferentes simulações considerou-se a aplicação da dose de 100 kg ha⁻¹ em cinco modos: TP - 1/5 na semeadura, 2/5 no início do perfilhamento (IP) e 2/5 na diferenciação da panícula (DP); T1 - todo na semeadura; T2 - todo aos 20 dias antes da semeadura; T3 - 1/5 na semeadura e 4/5 no IP e T4 - 1/5 na semeadura e 4/5 na DP. Os modos de aplicação foram combinados com cinco datas de semeadura: 01/11, 15/11, 01/12, 15/12 e 31/12. Em razão do fato de as datas de semeadura terem sido fixadas a priori no modelo, independente da ocorrência de chuva, uma restrição foi imposta permitindo que a emergência ocorresse apenas se a umidade média na primeira camada do solo fosse maior ou igual a 70% da capacidade de campo, nos dez dias subsequentes à semeadura. O início das simulações se deu em março, considerando-se 50% da capacidade de campo para permitir um estabelecimento mais realístico do perfil de água do solo, baseado nas ocorrências de precipitação pluvial antes das datas de semeadura.

Como critério para determinar as opções de manejo que maximizem a produtividade e minimizem a lixiviação utilizou-se a probabilidade de exceder definida pela Eq. 1.

$$E(x) = 1 - F(x), F(x) = P(X \leq x) \quad (1)$$

sendo:

E(x) - probabilidade de exceder, %

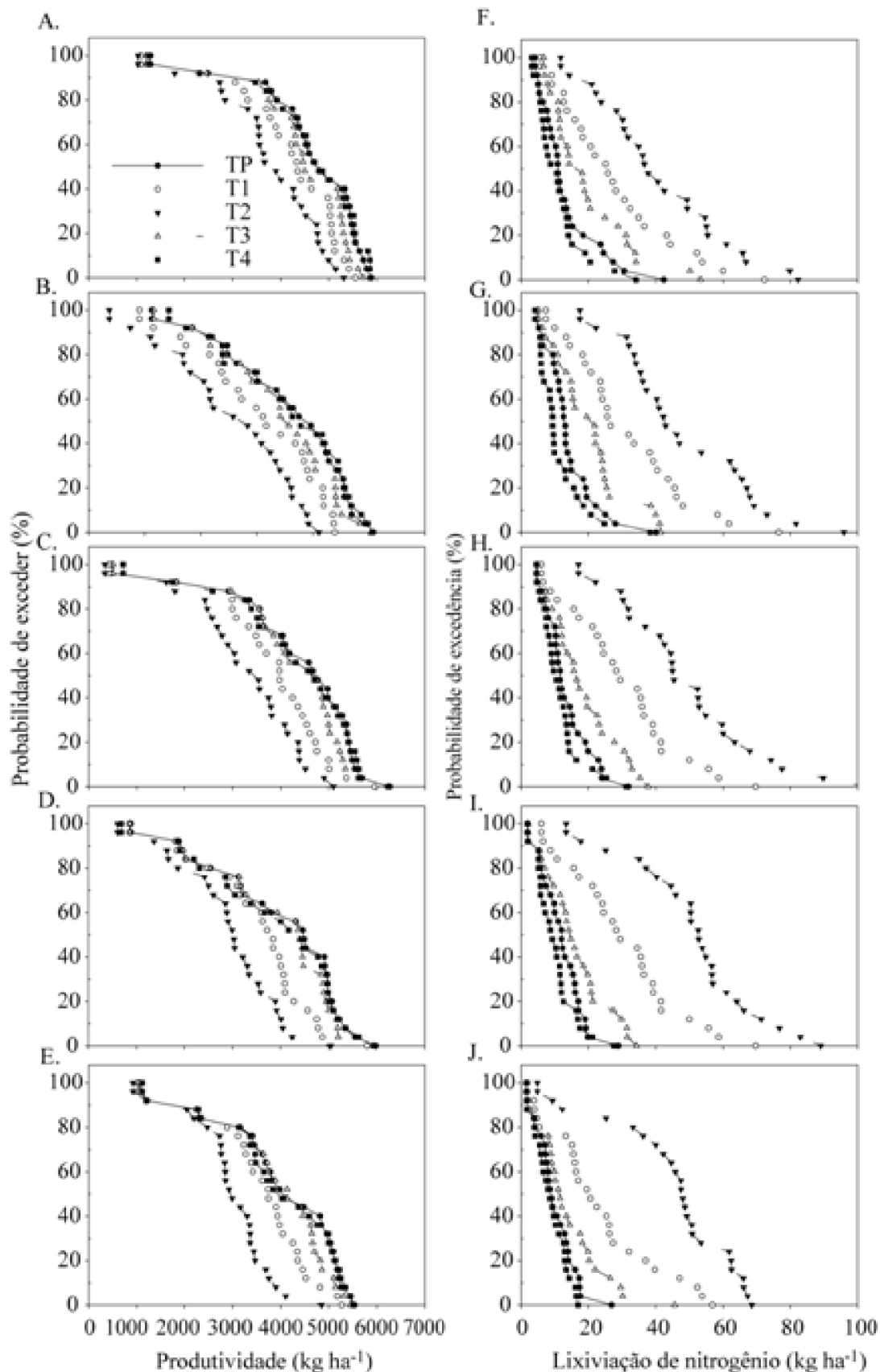
F(x) - função de distribuição acumulativa, %

P(X ≤ x) - probabilidade da variável X ser menor ou igual x.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em qualquer uma das épocas de semeadura consideradas a aplicação de todo o N aos 20 dias antes da emergência (T2) mostrou-se a pior estratégia de manejo com relação à produtividade de grãos (Figuras 1A a 1E), seguida da aplicação de todo o N na semeadura (T1).

O parcelamento da adubação nitrogenada, especialmente quando o N é aplicado em três vezes (TP) ou em duas, sendo a segunda na iniciação da panícula (T4), resultou em maior probabilidade de se obter altas produtividades. Tais resultados corroboram com os obtidos por Guimarães & Stone (2003), Neves et al. (2004) e Cornélio et al. (2007) no sentido de que o parcelamento do N é mais efetivo que a aplicação de todo o nutriente na semeadura, na obtenção de altas produtividades do arroz de terras altas. A provável razão para o decréscimo da produtividade do arroz nos tratamentos sem parcelamento da adubação nitrogenada é a menor eficiência de uso do nitrogênio



(TP - 1/5 na sementeira, 2/5 no início do perfilhamento (IP) e 2/5 na diferenciação da panícula (DP); T1 - todo na sementeira; T2 - todo aos 20 dias antes da sementeira; T3 - 1/5 na sementeira e 4/5 no IP e T4 - 1/5 na sementeira e 4/5 na DP)

Figura 1. Probabilidade de exceder determinada produtividade de arroz de terras altas e lixiviação de nitrogênio de acordo com o manejo desse nutriente, considerando-se as datas de emergência (A e F) - 01/11; (B e G) - 15/11; (C e H) - 01/12; (D e I) - 15/12 e (E e J) - 31/12

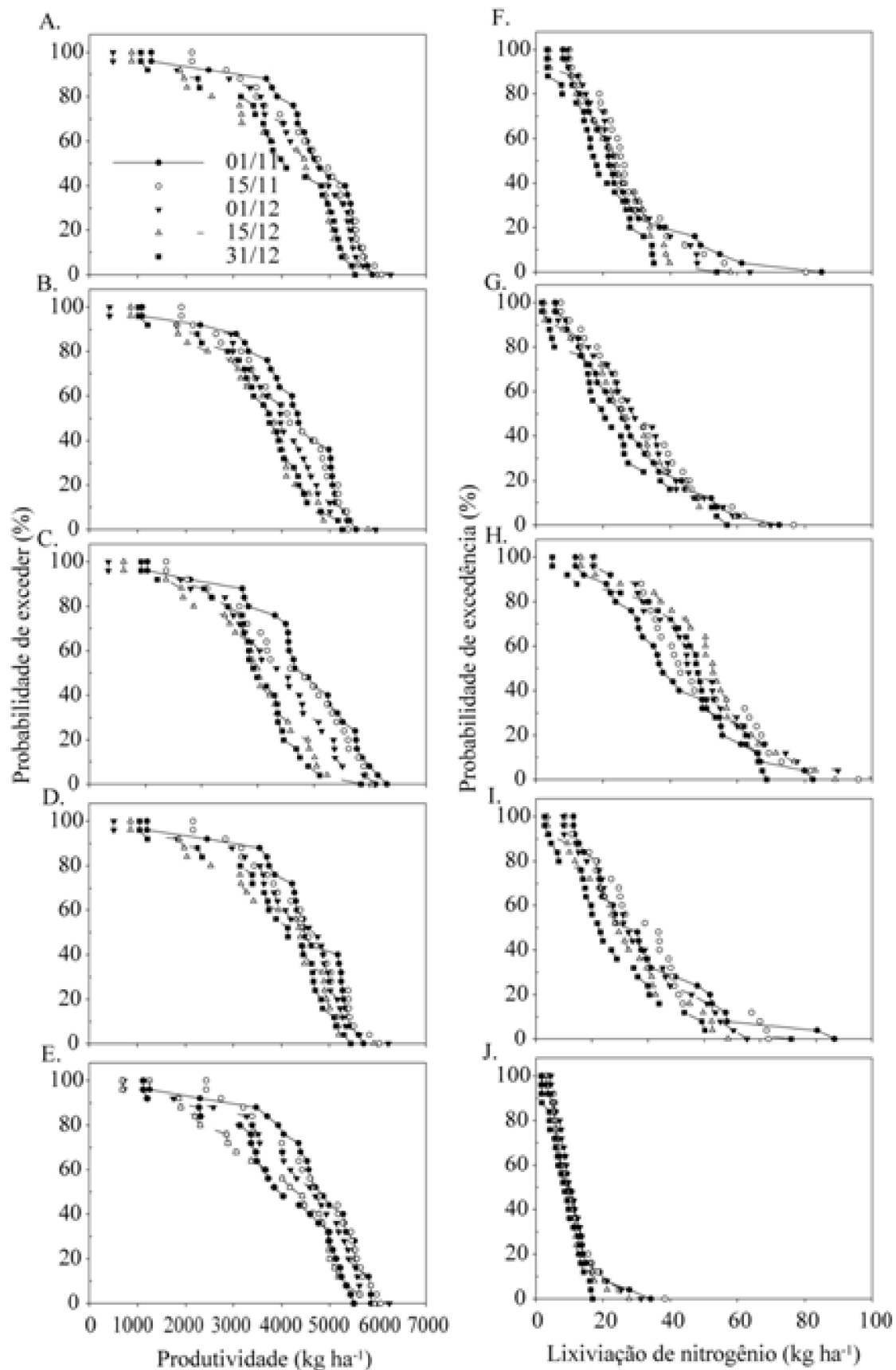


Figura 2. Probabilidade de exceder determinada produtividade de arroz de terras e lixiviação de nitrogênio de acordo com a data de emergência da cultura, considerando-se os manejos de nitrogênio (A e F) - 1/5 na semeadura, 2/5 no início do perfilhamento (IP) e 2/5 na diferenciação da panícula (DP); (B e G) - todo na semeadura; (C e H) - todo aos 20 dias antes da semeadura; (D e I) - 1/5 na semeadura e 4/5 no IP e (E e J) - 1/5 na semeadura e 4/5 na DP

uma vez que a probabilidade de grande parte dele ser perdida por lixiviação, é alta (Figuras 1F a 1J).

Enfatiza-se que o modelo ORYZA/APSIM 2000 não possui sensibilidade para analisar as diferenças que ocorrem no solo no SPD e no sistema convencional de preparo, em relação às atividades microbianas. Apesar do modelo não computar as dinâmicas dos processos de transformação do N no solo e estabelecer uma taxa diária para o fornecimento de N pelo solo em razão da mineralização da matéria orgânica e da fixação biológica, Bouman & Laar (2006) verificaram que o modelo ORYZA2000 foi suficientemente acurado na simulação da produtividade do arroz irrigado em uma ampla gama de doses de N, de 0 a 400 kg ha⁻¹, épocas de aplicação e formas de parcelamento; os autores constataram, ainda, que o uso de um único valor para a taxa de fornecimento de N pelo solo para todos os tratamentos e anos, foi adequado, sugerindo que uma aproximação mais complexa e dinâmica para essa taxa, pode não ser necessária. Jing et al. (2007) também verificaram que esse modelo simulou adequadamente a produtividade do arroz irrigado sob várias doses de N e o utilizaram para determinar a melhor forma de parcelamento da adubação nitrogenada.

Em todas as estratégias de manejo da adubação nitrogenada a maior probabilidade de se obter altas produtividades resulta da semeadura em datas mais precoces, a partir de primeiro de novembro (Figuras 2A a 2E). De fato, Silva & Assad (2001) constataram que, para os estados de GO, MT, MS, MG, TO e BA, o risco de ocorrência de deficiência hídrica no estádio de enchimento dos grãos do arroz de terras altas se acentua quanto mais tarde for a semeadura, a partir de outubro, independente do solo e do ciclo da cultura. Heinemann et al. (2008) também constataram que a cultura do arroz de terras altas, quando semeada em datas precoces (início de novembro), tem maior probabilidade de não sofrer deficiência hídrica severa.

Devido à redução da precipitação pluvial durante o ciclo da cultura à medida em que a semeadura ocorre mais tarde, menor é a probabilidade de lixiviação de nitrogênio (Figuras 2F a 2J). Apesar disto, como a deficiência hídrica afeta mais a produtividade do arroz que as perdas de nitrogênio, o recomendável seria a semeadura mais precoce, mesmo porque o parcelamento da adubação nitrogenada minimizaria as perdas de nitrogênio por lixiviação.

O modelo ORYZA/APSIM 2000 é sensível às variações climáticas e condições de umidade do solo durante o ciclo da cultura, como se constata neste estudo, no qual foi ressaltada a importância da época de semeadura para a maximização da produtividade do arroz de terras altas.

CONCLUSÕES

1. O parcelamento da adubação nitrogenada mostrou-se como a estratégia com maior probabilidade de resultar em altas produtividades do arroz de terras altas.
2. Há probabilidade de ocorrerem maiores perdas de nitrogênio por lixiviação quando não se parcela a adubação nitrogenada.
3. Há maior probabilidade de se obter altas produtividades em datas de semeadura precoces, a partir de primeiro de novembro.

4. A semeadura tardia do arroz contribui para redução nas perdas de nitrogênio por lixiviação.

LITERATURA CITADA

- Bouman, B. A. M.; Kropff, M. J.; Tuong T. P.; Wopereis, M. C. S.; ten Berge, H. F. M.; Laar, H. H. van. ORYZA 2000: Modelling lowland rice. 1.ed. Manila: IRRI, 2001. 235p.
- Bouman, B. A. M.; Laar, H. H. van. Description and evaluation of rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. *Agricultural Systems*, v.87, p.249-273, 2006.
- Cornélio, V. M. de O.; Reis, M. de S.; Soares, A. A.; Soares, P. C.; Oliveira, J. A. Efeito de doses e épocas de aplicação de nitrogênio na incidência de doenças, produção e qualidade sanitária das sementes de arroz. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, p.47-52, 2007.
- Fageria, N. K.; Prabhu, A. S. Controle de brusone e manejo de nitrogênio em cultivo de arroz irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.123-129, 2004.
- Fageria, N. K.; Slaton, N. A.; Baligar, V. C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. *Advances in Agronomy*, v.80, p.63-152, 2003.
- Guimarães, C. M.; Stone, L. F. Adubação nitrogenada do arroz de terras altas no Sistema Plantio Direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.210-214, 2003.
- Heinemann, A. B.; Dingkuhn, M.; Luquet, D.; Combres, J. C.; Chapman, S. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. *Euphytica*, v.162, p.395-410, 2008.
- Heinemann, A. B.; Stone, L. F.; Fageria, N. K.; Castro, L. M. de. Evaluation of physiological traits in upland rice for adaptation to no-tillage system. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.21, p.113-122, 2009.
- Heinrichs, R.; Aita, C.; Amado, T. J. C.; Fancelli, A. L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.331-340, 2001.
- Hernandes, A.; Buzetti, S.; Andreotti, M.; Arf, O.; Sá, M. E. de. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, p.307-312, 2010.
- Jing, Q.; Bouman, B. A. M.; Hengsdijk, H.; Keulen, H. van; Cao, W. Exploring options to combine high yields with high nitrogen use efficiencies in irrigated rice in China. *European Journal of Agronomy*, v.26, p.166-177, 2007.
- Jones, C. A.; Kiniry, J. R. CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas: College Station, 1986. 194p.
- Kluthcouski, J.; Aidar, H.; Thung, M.; Oliveira, F. R. de A.; Cobucci, T. Manejo antecipado do nitrogênio nas principais culturas anuais. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 63p.
- Kropff, M. J.; Laar, H. H. van; Mathews, R. B. (ed.). ORYZA1, an ecophysiological model for irrigated lowland rice production. In: SARP Research Proceedings. Wageningen: IRRI/AB-DLO, 1994. 110p.

- Lorençoni, R.; Dourado Neto, D.; Heinemann, A. B. Calibração e avaliação do modelo ORYZA-APSIM para o arroz de terras altas no Brasil. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p.605-613, 2010.
- Neves, M. B.; Buzetti, S.; Arf, O.; Sá, M. E. de. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura em dois cultivares de arroz com irrigação suplementar. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.26, p.429-435, 2004.
- Silva, G. M.; Stone, L. F.; Moreira, J. A. A. Manejo da adubação nitrogenada no feijoeiro irrigado sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.32, p.1-5, 2002.
- Silva, S. C da; Assad, E. D. Zoneamento de riscos climáticos para o arroz de sequeiro nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.9, p.536-543, 2001.
- Vries, F. W. T. P. de; van Laar, H. H. (ed.). *Simulation of plant growth and crop production*. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1982. 308p.
- Wopereis, M. C. S.; Bouman, B. A. M.; Tuong, T. P.; Ten Berge, H. F. M.; Kropff, M. J. ORYZA W: Rice growth model for irrigated and rainfed environments. In: *SARP Research Proceedings*. Wageningen: IRRI/AB-DLO, 1996. 159p.