

ADUBAÇÃO

Nand Kumar Fageria e Alberto Baêta dos Santos

RESUMO

A fertilidade do solo afeta direta ou indiretamente o crescimento do cultivo principal e da soca de arroz, que é uma planta bastante exigente em nutrientes, sendo necessário que eles estejam prontamente disponíveis nos momentos de demanda, para não limitar a produtividade de grãos. Um sistema somente é produtivo nas duas colheitas, principal e soca, quando as recomendações de fertilizantes são feitas com base nas análises do solo, especialmente para P e K. Além disso, as épocas e os métodos de aplicação dos fertilizantes também devem ser baseados nos resultados experimentais de campo. O nitrogênio, o fósforo e o potássio são requeridos pela cultura de arroz em grandes quantidades, em comparação aos outros nutrientes. O nitrogênio e o fósforo afetam o crescimento da soca, pois promovem, respectivamente, o perfilhamento e o desenvolvimento das raízes. Conseqüentemente, a disponibilidade destes nutrientes no solo em quantidades apropriadas é importante durante o cultivo da soca para a obtenção de produtividade máxima econômica.

INTRODUÇÃO

As doses, métodos e épocas de aplicação adequadas de fertilizantes de fontes apropriadas são práticas importantes para a obtenção de altas produtividades de grãos no cultivo principal, o que irá refletir na produtividade da soca. Entre os nutrientes essenciais, as principais deficiências verificadas no cultivo de arroz irrigado em várzeas são a de N, P, K e Zn, particularmente quando são usadas cultivares modernas e práticas culturais melhoradas (De Data, 1981; Yoshida, 1981; Fageria, 1992; Jongkaewwattana et al., 1993; Fageria et al., 1997b; Fageria & Baligar, 1999, 2001a; Fageria & Gheyi, 1999. Zitong (1991) relatou que na China, maior produtor mundial, a produtividade de arroz aumentou na última década e este aumento está associado à melhoria das condições do solo e à aplicação de fertilizantes, especialmente N e P.

Dentre os macronutrientes, o nitrogênio é o elemento que maior resposta tem proporcionado à soca de arroz. Quantidades adequadas de fósforo e de potássio aplicadas no cultivo principal têm propiciado aumento significativo na produtividade de grãos da soca, mostrando, com isso, que ainda se encontram disponíveis para o crescimento e desenvolvimento da soca. Entretanto, os efeitos do fósforo e do potássio no comportamento da soca foram avaliados em um número reduzido

de trabalhos, não estando, portanto, suficientemente esclarecidos.

NITROGÊNIO

O nitrogênio é o nutriente mais importante para produção das culturas e sua deficiência ocorre na maioria dos solos, a menos que seja aplicado fertilizante (Yoshida, 1981; Fageria, 1992). Na América tropical, a deficiência de N é a principal limitação do solo em cerca de 93% da região ocupada por solos ácidos (Sanchez & Salinas, 1981). Pesquisas com fertilizantes conduzidas no Japão indicam que o arroz em várzea responde melhor à aplicação de N que a de P e K (Yoshida, 1981). Vários estudos, como os de Fageria & Baligar (1996, 1999, 2001b) e de Fageria & Barbosa Filho (2001) em um Inceptissolo, no Brasil, e de Jongkaewwattana et al. (1993), na Califórnia, obtiveram aumentos significativos na produtividade de grãos de arroz irrigado em várzeas com a aplicação de N. Donovan et al. (1999) relataram que os fertilizantes nitrogenados e fosfatados correspondem a aproximadamente 20% dos custos totais de produção de arroz irrigado, na África ocidental. Em sistemas de cultivo intensivo de arroz, Cassman et al. (1995) e Olk et al. (1996) verificaram, com o tempo, tendência de declínio na capacidade de suprimento de N pela matéria orgânica, apesar de os níveis totais de N se terem mantido constantes ou crescentes. Olk et al. (1996) também relataram que aumentando o número de cultivo de arroz inundado por ano no sistema de rotação arroz-soja ou arroz em monocultura contínua resultou em matéria orgânica do solo com característica mais fenólica, a qual pode estar relacionada ao decréscimo da mineralização do N líquido.

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura do arroz irrigado, proporcionando retornos em produtividade bastante significativos (Snyder & Slaton, 2001). No entanto, o ambiente aquático no qual o arroz é cultivado gera instabilidade na maioria das formas inorgânicas do nutriente presentes no solo. O nitrogênio amoniacal, presente na superfície do solo ou na água de irrigação, está sujeito à volatilização, enquanto a forma nítrica, sob condições de anaerobiose, pode ser perdida por lixiviação ou desnitrificação. Ambas podem, porém, ser convertidas à forma orgânica, por imobilização microbiana (Wells et al., 1993). As perdas do nutriente do sistema solo-planta oneram os custos de produção e representam um sério risco de poluição ambiental, comprometendo a sustentabilidade do sistema produtivo.

Resultados de pesquisa demonstram que o parcelamento e a época de aplicação do nitrogênio contribuem sobremaneira para o sucesso da produção de arroz (Wilson Junior et al., 1998).

As principais razões da ocorrência da deficiência de N são: i) perda de N por lixiviação, volatilização e desnitrificação; ii) aplicação de menores doses de N comparadas às quantidades de N extraídas na colheita; iii) baixa eficiência de uso de N; iv) uso de cultivares mais produtivas responsivas ao N; e vi)

degradação do solo com cultivos sucessivos. Mais de 90% do arroz é produzido na Ásia e o aumento estimado de 24% na sua produção, de 1965 a 1980, foi atribuído ao uso de fertilizantes, principalmente N (De Datta & Buresh, 1989).

O N é componente da clorofila e seus efeitos na fisiologia das plantas são observados no aumento dos componentes da produtividade. O nitrogênio aumenta o índice de área de folha (IAF), o número de panículas por área, o número de grãos por panícula, a massa dos grãos e reduz a esterilidade de espiguetas (Yoshida, 1972; Yoshida & Parao, 1976). Os três componentes que determinam a produtividade de grãos de arroz são: número de espiguetas por área, massa de grãos e porcentagem de espiguetas férteis (Yoshida, 1981). Segundo Yoshida & Parao (1976), o número de espiguetas por metro quadrado contribui com, aproximadamente, 60% da variação na produtividade do arroz. Fageria & Baligar (2001b) relataram que o número de panículas e o comprimento das panículas apresentaram as mais altas correlações com a produtividade de grãos ($r = 0,78^{**}$ e $0,70^{**}$); a produtividade máxima de grãos foi alcançada com, aproximadamente, 583 panículas m^{-2} . Os componentes da produtividade não são independentes; um aumento em um componente a um certo nível, freqüentemente, propicia uma diminuição em outro (Fageria, 1992; Dofing & Knight, 1994). Os componentes da produtividade desenvolvem sucessivamente; os componentes que desenvolvem mais cedo influenciam aqueles que desenvolvem mais tarde (Thomas et al., 1970). Em geral, o número de panículas ou espigas por planta reduz com o aumento do número de plantas por área. Do mesmo modo, a massa de grãos diminui com o aumento do número de grãos por panículas ou espiga. Isto significa que, para a obtenção de uma produtividade máxima, todos os componentes da produtividade devem estar em um equilíbrio apropriado.

Eficiência de uso do nitrogênio

O termo “eficiência de uso de nutriente mineral” tem sido usado e definido de muitas formas. Portanto, qualquer uso deste termo precisa ser acompanhado de uma definição apropriada. Eficiência de uso de nitrogênio pode ser dividida em componentes múltiplos que identificam os processos da planta e do solo que contribuem no uso global do N (Huggins & Pan, 1993; Gardner et al., 1994; Paponov et al. 1996; Cassman et al., 1998). Fageria et al. (1997b) e Fageria & Baligar (2001b) relataram que a eficiência nutricional pode ser expressa e calculada de cinco maneiras diferentes (Tabela 5.1). Fageria & Baligar (2001b) também determinaram essas eficiências para o arroz irrigado, em diferentes níveis de N. De acordo com estes autores, todas as eficiências de uso de N diminuíram significativamente com o aumento das doses de N, exceto a eficiência fisiológica. A eficiência agrônômica foi de 23 kg de grãos produzidos por kg de N aplicado e a eficiência fisiológica foi de 146 kg de produção biológica (palha mais grãos) por unidade de N acumulada. A eficiência agrofisiológica foi de 63 kg de grãos produzidos por kg de N acumulado nos

grãos e na palha. A eficiência de recuperação foi de 39% e a eficiência de utilização foi de 58 kg de grãos produzidos por kg de N utilizado.

A eficiência agrônômica em arroz irrigado nas regiões tropicais situa-se entre 15 a 25 kg de grãos produzidos por kg de N aplicado (Yoshida, 1981). Os

Tabela 5.1. Definições e métodos de calcular a eficiência de uso de nutriente.

Eficiência de nutrientes	Definições e fórmulas para cálculo da eficiência de nutrientes
Eficiência Agrônômica (EA)	A eficiência agrônômica é definida como a produtividade econômica (grãos, no caso de culturas anuais) obtida por unidade de nutriente aplicado. Pode ser calculada por: $EA (kg\ kg^{-1}) = PG_{ca} - PG_{ca} / N_a$ onde, PG_{ca} é a produtividade de grãos com adubação (kg), PG_{ca} é a produtividade de grãos sem adubação (kg), e N_a é a quantidade de nutriente aplicada (kg).
Eficiência Fisiológica (EF)	A eficiência fisiológica é definida como a produtividade biológica obtida por unidade de nutriente absorvido. Pode ser calculada por: $EF (kg\ kg^{-1}) = PB_{ca} - PB_{ca} / N_{ca} - N_{ca}$ onde, PB_{ca} é a produtividade biológica (grãos mais palha) com adubação (kg), PB_{ca} é a produtividade biológica sem adubação (kg), N_{ca} é a acumulação de nutriente (grãos mais palha) com adubação (kg), e N_{ca} é a acumulação de nutriente (grãos mais palha) sem adubação (kg).
Eficiência Agrofisiológica (EAF)	Eficiência agrofisiológica é definida como a produtividade econômica (grãos, no caso de culturas anuais) obtida por unidade de nutriente absorvido. Pode ser calculada por: $EAF (kg\ kg^{-1}) = PG_{ca} - PG_{ca} / N_{ca} - N_{ca}$ onde, PG_{ca} é a produtividade de grãos com adubação (kg), PG_{ca} é a produtividade de grãos sem adubação (kg), N_{ca} é a acumulação de nutriente (grãos mais palha) com adubação (kg), e N_{ca} é a acumulação de nutriente (grãos mais palha) sem adubação (kg).
Eficiência de Recuperação (ER)	Eficiência de recuperação é definida como a quantidade de nutriente absorvida por unidade de nutriente aplicada. Pode ser calculada por: $ER (\%) = (N_{ca} - N_{ca} / N_a) \times 100$ onde, N_{ca} é a acumulação de nutriente (grãos mais palha) com adubação (kg), N_{ca} é a acumulação de nutriente (grãos mais palha) sem adubação (kg), e N_a é a quantidade de nutriente aplicado (kg).
Eficiência de Utilização (EU)	Eficiência de utilização é o produto da eficiência fisiológica e da eficiência de recuperação. Pode ser calculada por: $EU (kg\ kg^{-1}) = EF \times ER$

Fonte: Fageria et al. (1997b); Fageria & Baligar (2001b).

resultados dos estudos de Fageria & Baligar (2001b) estão dentro desta faixa. A maior eficiência fisiológica ($kg\ kg^{-1}$) comparada à eficiência agrofisiológica ($kg\ kg^{-1}$) pode ser devido à inclusão da matéria seca no cálculo desta eficiência. Singh et al. (1998) relataram eficiência agrofisiológica de cerca de 64 kg de grãos por kg de N absorvido e eficiência agrônômica de 37 kg grãos por kg de N aplicado em 20 genótipos de arroz irrigado em várzea. Uma eficiência de recuperação de 39% por doses de N é bastante baixa. A porcentagem de recuperação de N varia com as propriedades do solo, métodos, doses e épocas de aplicação de fertilizante e outras práticas de manejo. A eficiência de recuperação de nitrogênio do arroz irrigado em várzea é menor que 40% do N aplicado (De Datta, 1981, 1986; Craswell & Vlek, 1979). Prasad & De Datta (1979) relataram que a eficiência de recuperação de N normalmente varia de 30 a 50% nas regiões tropicais. Estudos conduzidos no sul dos Estados Unidos sobre a influência de épocas de aplicação

e estratégias de manejo de N em arroz mostraram recuperação na maturação de 17 a 61% do N aplicado (Westcott et al., 1986; Norman et al., 1989). Singh et al. (1998) obtiveram eficiência de recuperação de N de 37% em 20 genótipos de arroz irrigado. Wopereis et al. (1999) observaram que a recuperação do N variou de 30 a 40% na África Ocidental.

A baixa eficiência de recuperação de N em arroz irrigado em várzea pode estar relacionada às perdas de N do solo por nitrificação - desnitrificação, volatilização da amônia ou lixiviação (De Datta & Buresh, 1989; Craswell & Vlek, 1979). A eficiência de utilização para produção de grãos nas regiões tropicais é aproximadamente de 50 kg de grãos por kg que N absorvido e esta eficiência parece ser quase constante, indiferente das produtividades de arroz obtidas (Yoshida, 1981). O emprego de dose adequada e a aplicação de acordo com as exigências do crescimento da cultura são estratégias importantes para melhorar a eficiência de uso.

Dose e época de aplicação

Tradicionalmente, a dose adequada de fertilização tem sido aquela que resulta na produtividade máxima econômica (Jongkaewwattana et al., 1993; Fageria et al., 1997a). A dose adequada de N varia com as propriedades do solo, potencial produtivo da cultivar, níveis de P e K no solo, manejo de água, controle de doenças, pragas e plantas daninhas. Estes são os fatores tecnológicos. Porém, a dose de aplicação de fertilizante também é determinada pelos fatores econômicos e sociais. Estes fatores são custo de produção, situação econômica dos produtores, eficiência do serviço de extensão e disponibilidade de crédito para os produtores (Fageria et al., 1997b).

Fageria & Baligar (2001b) determinaram o uso de 90 a 120 kg ha⁻¹ de N com 90% da produtividade máxima de 6.345 a 6.400 kg ha⁻¹ de arroz irrigado em um Inceptissolo. O N foi aplicado um terço na semeadura, um terço no perfilhamento ativo, 45 dias depois da semeadura, e um terço na diferenciação do primórdio floral, 70 dias depois da semeadura, para uma cultivar de 140 dias de ciclo. Em outro estudo, Fageria & Prabhu (2000) avaliaram a resposta do arroz irrigado cultivado em um Inceptissolo à aplicação parcelada de 90 kg ha⁻¹ de N e obtiveram resultados semelhantes.

O uso da dose adequada de N não só é importante para o máximo retorno econômico, mas também para reduzir a poluição ambiental. Aplicação excessiva de N pode resultar em grandes quantidades residuais de N no solo após a colheita. O NO₃⁻ residual no solo pode ficar disponível para as culturas na próxima estação, mas é suscetível à lixiviação durante os períodos de pousio, caracterizados por alta precipitação pluvial e baixa evaporação (Bundy & Malone, 1988). As doses e épocas adequadas de aplicação de N em diferentes países são apresentadas na Tabela 5.2.

Com o objetivo de determinar a influência de épocas e métodos de aplicação de N sobre o comportamento do cultivo principal de arroz irrigado, Santos et al. (2002) conduziram dois experimentos, sendo um na Fazenda Tabela 5.2. Dose e época de aplicação de N recomendadas para arroz irrigado em diferentes países.

País/Estado	Solo	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Época de aplicação	Referência
Brasil Goiás	Inceptissolo	90-120	6345-8400	1/3 na S + 1/3 na PA + 1/3 na DPF	Fageria & Baligar (2001b)
Brasil Tocantins	Inceptissolo	90	7093	1/2 na S + 1/2 na PA	Fageria & Prabhu (2000)
USA Califórnia	Não informado	130	7000	Todo na Semeadura	Jongjirawatthens et al. (1983)
USA Louisiana	Alfissolo	134	7017	Todo na Semeadura	Mengel & Wilson (1981)
IRRI	Molissolo	80	6494	1/2 na S + 1/2 DPF	Ladha et al. (2000)
IRRI	Entissolo	225	5050	1/4 na S + 1/4 na PM + 1/4 na DPF + 1/4 na F	Hussain et al. (2000)
Índia Panjab	Entissolo	240	6410	1/3 na S + 1/3 na PM + 1/3 na DPF	Hussain et al. (2000)
Bangladesh	Inceptissolo	135	6312	1/3 AT + 1/3 na PM + 1/3 aos 3 a 5 DADPF	Tinsina et al. (1998)
IRRI	Molissolo	240	6100	100 kg no PM + 100 kg na DPF + 40 kg N na F	Feng & Cassman (1988)

S, semeadura; AT, antes do transplante; PA, perfilhamento ativo; PM, perfilhamento médio; DPF, diferenciação do primórdio floral; F, floração; e DADPF, dias após a diferenciação do primórdio floral.

Palmital, da Embrapa Arroz e Feijão, no município de Goianira, GO, e o outro na Fazenda Xavante Agroindustrial de Cereais SA, no município de Dueré, TO, em solos classificados como Inceptissolos. Verificaram que, de modo geral, as maiores produtividades de grãos foram verificadas quando parte do N foi aplicado por ocasião da semeadura e parte em duas coberturas, ou seja até 65 dias após a emergência. A aplicação de todo nitrogênio por ocasião do plantio propiciou menor resposta do arroz, indicando a ocorrência de maiores perdas de NH₃⁺. Nos dois experimentos, a produtividade da soca não foi afetada pelo manejo de nitrogênio, indicando que, uma vez efetuada uma aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N logo após o corte das plantas, o manejo de N no cultivo principal não tem efeito residual sobre a produtividade da soca.

Inúmeros estudos demonstraram que a aplicação de nitrogênio aumenta a produtividade de grãos da soca (Evatt, 1958; Cheaney & Neira, 1972; Balasubramanian et al., 1970; Charoendham, 1975; Bahar & De Datta, 1977; Reddy et al., 1979; Samson, 1980; Mengel & Wilson, 1981; Quddus, 1981; Santos & Gadini, 1986; Santos & Stone, 1987; Turner & McIlrath, 1988) e as cultivares diferem na resposta ao nitrogênio aplicado na soca (Balasubramanian et al., 1970; Santos & Gadini, 1986; Santos & Stone, 1987). De modo geral, as cultivares com

maior potencial produtivo na soca são mais responsivas ao fertilizante.

A maioria dos trabalhos mostra que a melhor época de aplicação do nitrogênio na soca é, no máximo, aos 15 dias após a colheita do cultivo principal, pois assim tem-se uma rápida brotação e abundante perfilhamento. O fertilizante nitrogenado aplicado imediatamente após o corte do cultivo principal teve maior influência na produtividade da soca que na aplicação antes da colheita do cultivo principal. A disponibilidade desse elemento imediatamente após a remoção da parte aérea das plantas do cultivo principal é importante na utilização das reservas de carboidratos acumuladas na base do colmo e, eventualmente, no crescimento da soca (Turner & McIlrath, 1988). Aplicado nesta época, o nitrogênio promove a brotação mais cedo, perfilhos mais sadios e favorece a produtividade de grãos e seus componentes, bem como a produção de matéria seca de palha (Srinivasan & Purushothaman, 1989).

Palchamy & Soundrapandian (1988) não observaram comportamento consistente dos genótipos nas mesmas doses de nitrogênio em anos e locais distintos. Evatt & Beachell (1960) e Evatt (1966), em seus estudos sobre requerimento de fertilizante na soca, verificaram que a produtividade de grãos foi maior na dose de nitrogênio correspondente a 75% daquela aplicada no cultivo principal. Ganguli & Ralwani (1954) obtiveram pequena diferença na produtividade da soca entre as aplicações de 22 e 44 kg ha⁻¹ de N, mas na testemunha sem N foi registrada uma redução de 25%. Resultados semelhantes foram observados por Cheaney & Neira (1972). Com 50 kg ha⁻¹ de N, a produtividade de grãos da soca dobrou em comparação à testemunha não fertilizada (Charoendham, 1975; Prakash & Prakash, 1987). Os resultados de Setty et al. (1993) mostraram que o aumento da produtividade de grãos da soca se deu até essa mesma dose.

Aplicações de 60 e 80 kg ha⁻¹ de N após a colheita do cultivo principal não propiciaram diferenças na produtividade de grãos da soca nos estudos de Bahar & De Datta (1977), porém estas doses aumentaram a produtividade em 50%, em comparação à ausência desse elemento. Mengel & Wilson (1981) obtiveram resposta linear na produtividade até 90 kg ha⁻¹ de N, e a qualidade industrial de grãos da soca não foi afetada pela fertilização nitrogenada. Produções máximas foram registradas por Palchamy & Soundrapandian (1988) e por Turner & McIlrath (1988) com aplicações de 112 e 150 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. A produtividade de grãos e de palha e a produtividade diária na soca foram significativamente maiores na dose de 125 kg ha⁻¹ de N que com 75 kg ha⁻¹, nos estudos de Balasubramanian & Ali (1990), na Índia.

Estudos desenvolvidos por Santos & Stone (1987) e Santos (1987) na Embrapa Arroz e Feijão, em Goianira, GO, no ano agrícola 1984/85, demonstraram que as cultivares IR 841 e BR-Irga 409 aumentaram a produtividade de grãos em 373 e 507 kg ha⁻¹, respectivamente, quando se aplicaram 60 kg ha⁻¹ de N imediatamente após a colheita do cultivo principal,

enquanto as cultivares CICA 8 e Metica 1 não responderam ao fertilizante. No ano seguinte, as cultivares CICA 8, CNA 3771, RJ 010 e CNA 3879 foram avaliadas com relação às aplicações de 0,30 e 60 kg ha⁻¹ de N após o corte do cultivo principal. Não houve diferença significativa na produtividade de grãos entre as doses de 30 e 60 kg ha⁻¹ de N, mas estas proporcionaram acréscimos ao redor de 500 kg ha⁻¹ em comparação à testemunha.

Com o objetivo de determinar a resposta da soca da linhagem CNA 8502 de arroz irrigado ao N aplicado em épocas distintas, Santos (2002) avaliou quatro doses de N: 0; 30; 60 e 90 kg ha⁻¹ e três épocas de aplicação: época 1 – todo N logo após o corte das plantas; época 2 – todo N aos 25 dias após o corte – DAC e época 3 – ½ logo após o corte e ½ 25 DAC. Na época 1, as doses de N reduziram linearmente a porcentagem de fertilidade de espiguetas e aumentaram a massa dos grãos. Em todas as épocas de aplicação, as doses de N reduziram linearmente o número de perfilhos férteis e, conseqüentemente, o índice de colheita (IC). Como era esperada, a produção de matéria seca (MS), tanto de palha como de grãos, aumentou com as doses de N. Apenas houve efeito quadrático na época 3, obtendo-se os valores máximos com 75 e 56 kg ha⁻¹ de N para MS de palha e MS grãos, respectivamente. Com isso, as produções de MS total tiveram o mesmo comportamento, ou seja, linear nas épocas 1 e 2, e quadrático, na época 3, sendo a MS total máxima estimada com 63 kg ha⁻¹ de N. Na época 1, as doses de N tiveram efeito quadrático sobre o número de grãos por panícula e a produtividade, sendo os valores máximos de 44 grãos por panícula e 3.518 kg ha⁻¹ estimados com 54 e 56 kg ha⁻¹ de N (Figura 5.1), respectivamente. Na época 2, o N não teve efeito sobre a produtividade. Isto pode ser explicado, pois, aos 25 dias após a colheita do cultivo principal, o perfilhamento já estava definido, não contribuindo, portanto, para aumentar a produtividade. Na época 3, em função do parcelamento do N,

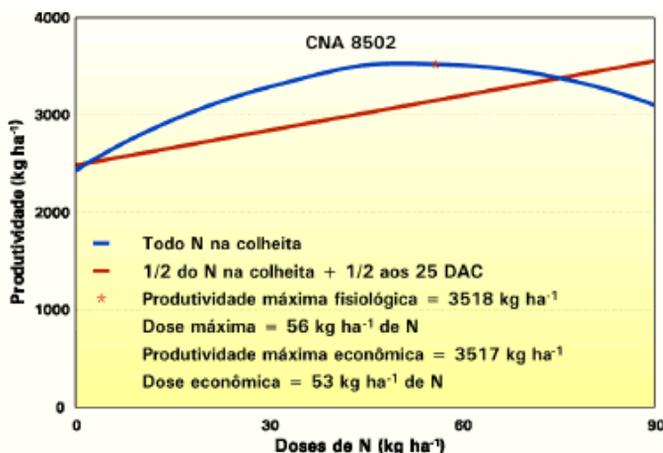


Fig. 5.1. Resposta da soca de arroz irrigado à fertilização nitrogenada.

o efeito foi linear e, para se ter efeito sobre a produtividade, há necessidade de doses mais elevadas. A segunda aplicação de N na adubação parcelada favorece uma nova brotação, ocasionando maior desuniformidade no desenvolvimento e maturação da soca, afetando a qualidade do produto colhido. A partir da função da produtividade de grãos obtida na aplicação de todo N logo após o corte das plantas, foi possível determinar a dose econômica, que foi de 53 kg ha^{-1} de N para uma produtividade de 3.517 kg ha^{-1} de grãos, ou seja, bem próximas da dose ótima e da produtividade máxima fisiológica, o que resulta em maior eficiência de utilização de nitrogênio pela soca de arroz. Portanto, o nitrogênio deve ser aplicado na soca logo após a colheita do cultivo principal (Figura 5.2), pois assim obtém-se uma brotação mais rápida e perfilhos mais saudáveis, o que incrementa a produtividade. A disponibilidade deste elemento imediatamente após o corte das plantas é importante na utilização das reservas de carboidratos acumuladas na base do colmo e no crescimento da soca.

Fonte e método de aplicação

A dose, a época e o modo de aplicação de nitrogênio alteram a eficiência de sua utilização. As fontes e os métodos de aplicação de nitrogênio influenciam

Fig. 5.2. Adubação nitrogenada na soca de arroz irrigado efetuada logo após a colheita do cultivo principal.



significativamente a eficiência de absorção pelas plantas do cultivo principal e da soca de arroz, a qual depende da época de aplicação. As plantas podem absorver as duas formas NO_3^- e NH_4^+ igualmente, no entanto nos solos em condições anaeróbicas a forma NH_4^+ apresenta-se em maior quantidade. A taxa de absorção de NH_4^+ é de 5 a 20 vezes maior que na forma NO_3^- . O N-nitrato (NO_3^-) é formado pela nitrificação do fertilizante aplicado e pela mineralização e nitrificação da matéria orgânica do solo. A forma predominante de N disponível na maioria dos solos oxidados é NO_3^- . O N-nitrato é altamente solúvel em água e conseqüentemente, é suscetível à lixiviação (Wienhold et al., 1995). O

fertilizante nitrogenado ainda pode ser perdido por desnitrificação, especialmente em solos inundados. Perdas por desnitrificação reduzem a eficiência de uso do fertilizante e constitui uma preocupação ambiental devido à ação potencial do N_2O na redução da camada de ozônio na atmosfera (Keeney, 1982).

A uréia e o sulfato de amônio são as principais fontes de N. O nitrogênio aplicado na semeadura deve estar na forma de amônio (NH_4^+). A fonte de N usada em cobertura é menos problemática devido à rápida absorção pelas plantas. As formas NH_4^+ e NO_3^- parecem ser igualmente efetivas. Isto porque, quando a cultura se encontra em estágio mais avançado, a forma NO_3^- de N é absorvida rapidamente antes de ser lixiviada abaixo da camada reduzida do solo, onde poderá ser perdida por desnitrificação (De Datta, 1981).

Além dos fertilizantes inorgânicos, o N orgânico do solo tem um papel importante no suprimento de N para arroz. É relatado que mais de 50% do N absorvido pela cultura do arroz vem das reservas do solo (Sahrawat, 1983). A matéria orgânica é a fonte de produção de amônio como também a fonte de energia para os microrganismos anaeróbicos que se desenvolvem nos solos de arroz submersos (Sahrawat & Narteh, 2001). Vários autores relataram a importância da matéria orgânica na produção de amônio em solos submersos (Sahrawat, 1983; Ando et al., 1992; Narteh & Sahrawat, 1997).

O fertilizante aplicado na soca deve ser colocado próximo às fileiras da resteva para a rápida absorção e crescimento (Chauhan et al., 1985). O método de aplicação não afetou significativamente o número de falhas da brotação da soca (Samson, 1980). A colocação do nitrogênio em profundidade apresentou significativamente maior produção na soca que a aplicação a lanço. A maior produtividade de grãos foi associada às plantas da soca mais vigorosas, mais panículas por planta e grãos por panícula. Maiores doses de nitrogênio também aumentaram o vigor da planta, mas, no mesmo nível, houve menos plantas vigorosas com a aplicação a lanço que com a colocação em profundidade (Quddus, 1981).

FÓSFORO

A deficiência de fósforo em arroz irrigado foi relatada no Brasil (Fageria et al. 1997a, 1997b), na África (Soil..., 1990) e na Ásia (De Datta, 1981). A deficiência de fósforo limita a produtividade de arroz em Oxissolos, Ultissolos, Andossolos e algum Vertissolos (De Datta et al., 1993; Ramirez et al., 2001; Sahrawat et al., 2001). No Brasil, foi verificada, também, deficiência de P em arroz irrigado em Inceptissolos (Fageria et al., 1997a, 1997b).

O fósforo representa um papel chave no metabolismo energético e reação biosintética, com isso a deficiência de P pode afetar o crescimento da planta de várias maneiras. Crescimento retardado da planta, perfilhamento reduzido, folhas menores e eretas com coloração verde escura, folhas mais velhas que

se tornam púrpura e maturação atrasada são comuns no arroz (Fageria & Barbosa Filho, 1994; Fageria & Gheyi, 1999; Fageria et al., 1999). A eficiência da utilização de P para grãos é maior nos estádios precoces do crescimento que nos tardios, porque o P é necessário para o perfilhamento (Yoshida, 1981; Fageria et al., 1997a, 1997b). Além disso, se for absorvido P suficiente no estádio precoce, ele será redistribuído para os órgãos de crescimento (De Datta et al., 1993).

Se a disponibilidade de P for adequada, a deficiência de fósforo pode ocorrer por causa de várias interações (pH, Eh, argila, húmus, Al, Ca, Fe, Mn, Zn, temperatura e cultivar) (De Datta et al., 1993). Uma grande proporção de P absorvido pelo arroz irrigado vem do teor de P nativo do solo, em consequência da diminuição do teor de P, ele deveria ser suprido principalmente pelos fertilizantes de P inorgânicos (Sanyal & De Datta, 1991).

As recomendações de fósforo para uma determinada cultura geralmente são feitas com base nos estudos de calibração do solo, que é o processo de determinação do requerimento de nutriente pela cultura em diferentes teores do solo. Além da calibração do solo, há termos como correlação de análise de solo e concentração crítica do solo que deveriam ser definidos para não criar confusão. Correlação de análise do solo é o processo de determinar a relação entre absorção de nutriente pela planta ou produtividade e a quantidade de nutriente extraída por um método de análise de solo particular. Já a análise de concentração crítica do solo é a concentração de um nutriente extraído acima da qual não se espera resposta de uma cultura à adição do nutriente (Soil Science Society of America, 1997).

A disponibilidade de análises específicas de P para solo com várias propriedades pedogênicas é bem documentada (Kleinman et al., 2001). Vários extratores (Bray-1, Mehlich-1 e 3, Olsen-P) têm sido extensivamente usado em diferentes partes do mundo para avaliar o status de P do solo disponível para a planta (Kamprath & Watson, 1980; Cope & Evans, 1985; Cox, 1994; Sharpley et al., 1994). Muitos destes extratores tendem para baixo ou superestimam a disponibilidade de P para as plantas, e é relatado que os níveis críticos de P variam com o "tipo" de solo e com as espécies de planta. Por exemplo, o Bray-1, Mehlich-1 e Mehlich-3 não são considerados satisfatórios para solos calcários, porque o P solúvel pode ser precipitado por CaF_2 , um produto da reação entre NH_4F e CaCO_3 (Smillie & Syers, 1972). Geralmente, os extratos ácidos proporcionam determinações inconsistentes de P em solos calcários (Fixen & Grove, 1990). Alguns métodos de extração, como Olsen, são considerados satisfatórios para uma ampla faixa de solo, de ácidos aos calcários (Kamprath & Watson, 1980). O P do solo extraível pelo método Mehlich-1 tem sido usado em programas de fertilização de P, extensivamente correlacionados com o P absorvido e calibrados com a produtividade da cultura em várias classes de solo (Kamprath & Watson, 1980, Cox, 1994, Lins et al., 1985). Fageria

et al. (1997b) fizeram calibração de análise de P do solo para a resposta do arroz irrigado cultivado em um Inceptissolo brasileiro para aplicação de P e estabeleceram as recomendações de adubação fosfatada (Tabela 5.3).

Avaliando a resposta da soca da cultivar Epagri 106 à aplicação NPK, em Santa Catarina, Alfonso-Morel et al. (1997) consideraram a metade da recomendação para o cultivo principal como sendo a adubação mais indicada para a soca de arroz irrigado.

Tabela 5.3. Interpretação dos teores de fósforo extraído pelo extrator Mehlich-1 e recomendações de adubação fosfatada para a cultura de arroz irrigado, em solo de várzea.

Teor de P no solo (mg kg ⁻¹)	Interpretação da análise do solo	Produtividade relativa (%)	Recomendação de adubação (kg ha ⁻¹ de P)
0 – 2.6	Muito baixo	0 – 70	66
2.6 – 8.8	Baixo	70 – 95	66
8.8 – 13.0	Médio	95 – 100	44
> 13.0	Alto	100	22

Fonte: Adaptada de Fageria et al. (1997a).

POTÁSSIO

A importância da fertilização de potássio na produção das culturas aumentou recentemente devido à maior utilização de cultivares modernas, incluindo o arroz irrigado (Fageria et al., 1997a, 1997b; Fageria & Baligar, 2001b). Ademais, este elemento é importado pela maioria dos países produtores de arroz. Conseqüentemente, seu uso adequado pode refletir na economia da produção de arroz. Seu papel primário é um ativador de enzima. Tem sido relacionado em mais de 60 reações enzimáticas que são envolvidas em muitos processos na planta, como fotossíntese, respiração, metabolismo de carboidrato, translocação e síntese de proteína. O potássio equilibra carga de ânions e influencia sua absorção e transporte. Outra função importante é a manutenção do potencial osmótico e absorção de água. Estas duas funções de K são manifestadas na abertura dos estômatos. Outro papel importante do potássio na planta de arroz é redução na incidência de doenças fúngicas, como brusone (*Pyricularia grisea*) e mancha-de-folha (*Bipolaris oryzae*) (Fageria et al., 1997b).

O potássio é um nutriente móvel na planta e, conseqüentemente, seus sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas mais velhas, as quais apresentam coloração de amarelado-laranja para amarelado-dourado, começando da ponta da lâmina foliar, progredindo gradualmente para a base (Fageria & Barbosa Filho, 1994). Geralmente, a planta mostra redução no perfilhamento e suas folhas são curvas. Mancha necróticas na lâmina foliar são freqüentemente associadas com a deficiência de potássio. O tamanho e a massa dos grãos podem ser reduzidos (Yoshida, 1981; Fageria & Barbosa

Filho, 1994).

O potássio é considerado nutriente imóvel no solo e seu movimento para as raízes se dá principalmente por difusão. Conseqüentemente, são exigidos estudos de calibração do solo para se fazer recomendações de fertilizante potássico. Alguns dados são disponíveis nos estudos de calibração de K do solo para arroz inundado. Fageria et al. (1990) conduziram um estudo para determinar a dose adequada de K para arroz irrigado cultivado em um Inceptissolo do Brasil Central. A fertilização de potássio aumentou significativamente a produtividade do arroz no primeiro ano e também com cultivos subseqüentes na mesma área. O arroz cultivado em um Inceptissolo não respondeu significativamente à fertilização de K, quando os teores do solo eram em torno de 50 mg dm⁻³ de K (Fageria & Gheyi, 1999). No Brasil, a maioria dos laboratórios de análise de solos usa extrator ácido duplo (H₂SO₄ 0,0125 M + HCl 0,05 M) para extração de K. Dobermann et al. (2000) relataram que no IRRRI são aplicados 50 kg ha⁻¹ de K nos experimentos de campo para a obtenção de máxima produtividade de arroz inundado. Fageria & Baligar (2001b) aplicaram 66 kg ha⁻¹ de K em arroz irrigado e obtiveram produtividade de grãos cerca de 7.000 kg ha⁻¹ em um Inceptissolo.

ZINCO

A deficiência de zinco em arroz de irrigado tem sido relatada no Brasil (Fageria, 2001), Filipinas (De Datta, 1981) e Índia (Mandal et al., 2000). A deficiência de Zn pode estar relacionada ao baixo nível de zinco no solo e aumenta com o aumento do pH com a inundação da cultura do arroz. É relatado que o nível crítico de Zn no solo está na faixa de 1 a 3 mg kg⁻¹, dependendo de suas propriedades (Fageria, 1992). A deficiência de zinco pode ser corrigida com a aplicação de 5 a 10 kg ha⁻¹ de Zn por ocasião da semeadura do arroz, na forma de sulfato de zinco (Fageria & Barbosa Filho, 1994).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSO-MOREL, D.; ALTHOFF, D. A.; DITTRICH, R. C. Soca de arroz irrigado: adubação e épocas de semeadura. In: REUNIÃO DA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO, 22., 1997, Balneário Camboriú. **Anais..** Itajaí: EPAGRI, 1997. p. 173-176.

ANDO, H.; AROGONES, R. C.; WADA, G. Mineralization pattern of soil organic nitrogen of several soils in the tropics. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 38, p. 227-234, 1992.

BAHAR, F. A.; DE DATTA, S. K. Prospects of increasing tropical rice production through ratooning. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, n. 4, p. 536-

540, July/Aug. 1977.

BALASUBRAMANIAN, R.; ALI, A. M. Effect on variety, nitrogen, and stubble height on ratoon rice yield. **International Rice Research Newsletter**, Manila, v. 15, n. 6, p. 7, Dec. 1990.

BALASUBRAMANIAN, B.; MORACHAN, Y. B.; KALIAPPA, R. Studies on ratooning in rice. I. Growth attributes and yield. **Madras Agricultural Journal**, Coimbatore, v. 57, n. 11, p. 565-570, 1970.

BUNDY, L. G.; MALONE, E. S. Effect of residual profile nitrate on corn response to applied nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 5, p. 1377-1383, Sept./Oct. 1988.

CASSMAN, K. G.; DE DATTA, S. K.; OLK, D. C.; ALCANTARA, J. M.; SAMSON, M. I.; DESCALSOTA, J. P.; DIZON, M. A. Yield decline and the nitrogen economy of long-term experiments on continuous, irrigated rice systems in the tropics. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil management: experimental basis for sustainability and environmental quality**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 181-222.

CASSMAN, K. G.; PENG, S.; OLK, D. C.; LADHA, J. K.; REICHHARDT, W.; DOBERMANN, A.; SINGH, U. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 56, n. 1/2, p. 7-39, Mar. 1998.

CHAROENDHAM, P. **Effect of nitrogen level and cutting height on the ratoon yield of RD1 and RD5 rice**. 1975. 100 f. Thesis (Mestrado) - Faculty of Agriculture, University of Sydney, Sydney.

CHAUHAN, J. S.; VERGARA, B. S.; LOPEZ, F. S. S. **Rice ratooning**. Los Baños: IRRI, 1985. 19 p. (IRRI Research Paper Series, 102).

CHEANEY, R. L.; NEIRA, P. S. Plantio na soca da variedade CICA 4. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 25, n. 268, p. 51-52, jul./ago. 1972.

COPE, J. T.; EVANS, C. E. Soil testing. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, p. 201-228, 1985.

COX, F. R. Current phosphorus availability indices: characteristics and shortcomings. In: HAVLIN, J. L.; JACOBSEN, J. S. (Ed.). **Soil testing: prospects for improving nutrient recommendations**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 101-113. (SSSA. Special Publication, 40).

CRASWELL, E. T.; VLEK, P. L. G. Fate of fertilizer nitrogen applied to wetland rice. In: IRRI. **Nitrogen and rice**. Los Baños, 1979. p. 175-192.

DE DATTA, S. K. Improving nitrogen fertilizer efficiency in lowland rice in Tropical Asia. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 9, p. 171-186, 1986.

- DE DATTA, S. K. **Principles and practices of rice production**. New York: J. Wiley, 1981. 618 p.
- DE DATTA, S. K.; BURESH, R. J. Integrated nitrogen management in irrigated rice. **Advances in Soil Science**, New York, v. 10, p. 143-169, 1989.
- DE DATTA, S. K.; NEUE, H. U.; SENADHIRA, D.; QUIJANO, C. Success in rice improvement for poor soils. In: WORKSHOP ON ADAPTATION OF PLANTS TO SOIL STRESSES, 1993, Lincoln. **Proceedings...** Lincoln: University of Nebraska, 1993. p. 248-268. (INTSORMIL Publication, 94-2).
- DOBERMANN, A.; DAWE, D.; ROETTER; R. P.; CASSMAN, K. G. Reversal of rice yield decline in a long-term continuous cropping experiment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 4, p. 633-643, Jul./Aug. 2000.
- DOFING, S. M.; KNIGHT, C. W. Yield component compensation in unicultm barley lines. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 2, p. 273-276, Mar./Apr. 1994.
- DONOVAN, C.; WOPEREIS, M. C. S.; GUINDO, D.; NEBIE, B. Soil fertility management in irrigated rice systems in the Sahel and Savanna regions of West Africa. II. Profitability and risk analysis. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 61, n. 2, p. 147-162, Apr. 1999.
- EVATT, N. S. High annual yields of rice in Texas through ratoon or double-cropping. **The Rice Journal**, New Orleans, v. 69, n. 12, p. 10-12, 32, 1966.
- EVATT, N. S. Stubble rice productions tests. **The Rice Journal**, New Orleans, v. 61, n. 6, p. 18-19, 1958.
- EVATT, N. S.; BEACHELL, H. M. Ratoon cropping of short season rice varieties in Texas. **International Rice Commission Newsletter**, Roma, v. 9, n. 3, p. 1-4, 1960.
- FAGERIA, N. K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker, 1992. 274 p.
- FAGERIA, N. K. Screening method of lowland rice genotypes for zinc uptake efficiency. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 623-626, jul./set. 2001.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Improving nutrient use efficiency of annual crops in Brazilian acid soils for sustainable crop production. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 7/8, p. 1303-1319, 2001a.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Lowland rice response to nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 9/10, p. 1405-1429, 2001b.

- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Response of lowland rice and common bean grown in rotation to soil fertility levels on a varzea soil. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 45, n. 1, p. 13-20, 1996.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Yield and Yield Components of Lowland Rice as Influenced by Timing of Nitrogen Fertilization. **Journal Plant Nutrition**, New York, v. 22, n. 1, p. 23-32, 1999.
- FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. **Deficiências nutricionais na cultura de arroz: identificação e correção**. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1994. 36 p. (Embrapa-CNPAP. Documentos, 42).
- FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Nitrogen use efficiency in lowland rice genotypes. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 13/14, p. 2079-2089, 2001.
- FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. **Efficient crop production**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 547 p.
- FAGERIA, N. K.; PRABHU, A. S. **Relatório anual do projeto manejo de fertilizantes e doenças em arroz irrigado no Estado do Tocantins**. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, 2000, 10p.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; WRIGHT, R. J.; CARVALHO, J. R. P. Lowland rice response to potassium fertilization and its effect on N and P uptake. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 21, p. 157-162, 1990.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1997a. 624 p.
- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; BALIGAR, V. C. Phosphorus Soil Test Calibration for Lowland Rice on an Inceptisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 5, p. 737-742, Sept./Oct. 1997b.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 294 p.
- FIXEN, P. E.; GROVE, J. H. Testing soils for phosphorus. In: WESTERMAN, R. L. (Ed.). **Soil testing and plant analysis**. 3. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1990. p. 141-180.
- GANGULI, B. D.; RALWANI, L. L. Possibilities of growing ratoon crop of paddy and increasing its yield under irrigated conditions. **Science and Culture**, Calcutta, v. 19, n. 7, p. 350-351, 1954.
- GARDNER, J. C.; MARANVILLE, J. W.; PAPAROZZI, E. T. Nitrogen use efficiency among diverse sorghum cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 3, p. 728-733, May/June 1994.

- HUGGINS, D. R.; PAN, W. L. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 4, p. 898-905, Jul./Aug. 1993.
- HUSSAIN, F.; BRONSON, K. F.; SINGH, Y.; SINGH, B.; PENG, S. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 5, p. 875-879, Sept./Oct. 2000.
- JONGKAEWWATTANA, S.; GENG, S.; BRANDON, D. M.; HILL, J. E. Effect of nitrogen and harvest grain moisture on head rice yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 6, p. 1143-1146, Nov./Dec. 1993.
- KAMPRATH, E. J.; WATSON, M. E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soil. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1980. p. 433-469.
- KEENEY, D. R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F. J. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1982. p. 605-649. (Agronomy Monograph, 22).
- KLEINMAN, P. J. A.; SHARPLEY, A. N.; GARTLEY, K.; JARRELL, W. M.; KUO, S.; MENON, R. G.; MYERS, R.; REDDY, K. R.; SKOGLEY, E. O. Interlaboratory comparison of soil phosphorus extracted by various soil test methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 15/16, p. 2325-2345, 2001.
- LADHA, J. K.; DAWE, D.; VENTURA, T. S.; SINGH, U.; VENTURA, W.; WATANABE, I. Long-term effects of urea and green manure on rice yields and nitrogen balance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 6, p. 1993-2001, Nov./Dec. 2000.
- LINS, I. D. G.; FOX, F. R.; NICHOLAIDES, J. J. Optimizing phosphorus fertilization rates for soybean grown on oxisols and associated Entisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, n. 6, p. 1457-1460, Nov./Dec. 1985.
- MANDAL, B.; HAZRA, G. C.; MANDAL, L. N. Soil management influences on zinc desorption for rice and maize nutrition. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 5, p. 1699-1705, Sept./Oct. 2000.
- MENGEL, D. B.; WILSON, F. E. Water management and nitrogen fertilization of ratoon crop rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, n. 6, p. 1008-1010, Nov./Dec. 1981.
- NARTEH, L. T.; SAHRAWAT, K. L. Potentially mineralizable nitrogen in West Africa lowland rice soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 76, n. 1/2, p. 145-154, Mar. 1997.

- NORMAN, R. J.; WELLS, B. R.; MOLDENHAUER, K. A. K. Effect of application method and dicyandiamide on urea-nitrogen-15 recovery in rice. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, n. 4, p. 1269-1274, July/Aug. 1989.
- OLK, D. C.; CASSMAN, K. G.; RANDALL, E. W.; KINCESH, P.; SANGER, L. J.; ANDERSON, J. M. Changes in chemical properties of organic matter with intensified rice cropping lowland soil. **European Journal Soil Science**, v. 47, p. 293-303, 1996.
- PALCHAMY, A.; SOUNDRAPANDIAN, G. Status of and potential for rice ratoon cropping in Tamil Nadu. In: IRRI. **Rice ratooning**. Los Baños, 1988. p. 111-117.
- PAPONOV, L.; AUFHAMMER, W.; KAUL, H. P.; EHMELE, F. P. Nitrogen efficiency components of winter cereals. **European Journal Agronomy**, Amsterdam, v. 5, n. 1-2, p. 115-124, 1996.
- PENG, S.; CASSMAN, K. G. Upper thresholds of nitrogen uptake rates and associated nitrogen fertilizer efficiencies in irrigated rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, n. 2, p. 178-185, Mar./Apr. 1998.
- PRAKASH, K. S.; PRAKASH, B. G. Effect of nitrogen source and insect control on growth of a ratoon crop. **International Rice Research Newsletter**, Manila, v. 12, n. 3, p. 41-42, June 1987.
- PRASAD, R.; DE DATTA, S. K. Increasing fertilizer nitrogen efficiency in wetland rice. In: IRRI. **Nitrogen and rice**. Los Baños, 1979. p. 465-484.
- QUDDUS, M. A. **Effect of several growth regulators, shading and cultural management practices on rice ratooning**. 1981. 100 f. Thesis (Mestrado) - University of the Philippines, Los Baños.
- RAMIREZ, R.; FERNANDEZ, S. M.; LIZASO, J. I. Changes of ph and available phosphorus and calcium rhizosphere of aluminum-tolerant maize germplasm fertilized with phosphate rock. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 9/10, p. 1551-1565, 2001.
- REDDY, T. G.; MAHADEVAPPA, M.; KULKARNI, N. R. Rice ratoon crop management in hilly regions of Karnataka, India. **International Rice Research Newsletter**, Manila, v. 4, n. 6, p. 22-23, 1979.
- SAHRAWAT, K. L. Nitrogen availability indexes for submerged rice soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 36, p. 415-451, 1983.
- SAHRAWAT, K. L.; NARTEH, L. T. Organic matter and reducible iron control of ammonium production in submerged soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 9/10, p. 1543-1550, 2001.

SAHRAWAT, K. L.; JONES, M. P.; DIATTA, S.; ADAM, A. Response of upland rice to fertilizer phosphorus and its residual value in an Ultisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 15/16, p. 2459-2468, 2001.

SAMSON, B.T. **Rice ratooning**: effects of varietal type and same cultural management practices. 1980. 116 f. Thesis (Mestrado) - University of the Philippines, Los Baños.

SANCHEZ, P. A.; SALINAS, J. G. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. **Advances in Agronomy**, New York, v. 34, p. 279-406, 1981.

SANTOS, A. B. dos. **Desenvolvimento de técnicas para a produção de grãos em várzeas**: desenvolvimento de técnicas para o cultivo do feijoeiro em várzeas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 17 p. (Embrapa. Programa 04 – Sistemas de Produção de Grãos. Projeto 04.1999.079). Projeto concluído.

SANTOS, A. B. dos. **Fatores que afetam a produtividade da soca de arroz irrigado**. Piracicaba: ESALQ/Departamento de Agricultura, 1987. 35 p.

SANTOS, A. B. dos; GADINI, F. Exploração da soca de arroz irrigado. **Agricultura Irrigada**, Brasília, DF, v. 5, n. 49, p. 3-4, abr. 1986.

SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F. Influência da fertilização nitrogenada e do manejo de água no aproveitamento da soca de arroz irrigado. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 3., 1987, Goiânia. **Resumos...** Brasília, DF: Embrapa-DDT, 1987. p. 105. (Embrapa-CNPAP. Documentos, 19).

SANTOS, A. B. dos; FERREIRA, E.; FAGERIA, N. K.; BARRIGOSI, J. A. F.; FREITAS, V. M. de. Manejo de nitrogênio em arroz irrigado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 565-568. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).

SANYAL, S. K.; DE DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transformation in soil. **Advances in Soil Science**, New York, v. 16, p. 1-120, 1991.

SETTY, T.K.P.; PARAMESHWAR, N.S.; MAHADEVAPPA, M. Response of Mukthi (CTH1) ratoon to nutrition in coastal Karnataka, India. **International Rice Research Notes**, Manila, v.18, n.1, p.42-43, 1993.

SHARPLEY, A. N.; SIMS, J. T.; PIERZYNSKI, G. M. Innovative soil phosphorus availability indices: assessing inorganic phosphorus. In: HAVLIN, J. L.; JACOBSEN, J. S. (Ed.). **Soil testing**: prospects for improving nutrient recom-

mendations. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 115-142. (SSSA. Special Publication, 40).

SINGH, U.; LADHA, J. K.; CASTILLO, E. G.; PUNZALAN, G.; TIROL-PADRE, A.; DUQUEZA, M. Genotypic variation in nitrogen use efficiency in medium and long duration rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 58, n. 1, p. 35-53, July 1998.

SMILLIE, G. W.; SYERS, J. K. Calcium fluoride formation during extraction of calcareous soil with fluoride: II. Implications to Bray P-1 test. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 36, n. 1, p. 25-30, Jan./Feb. 1972.

SNYDER, C. S.; SLATON, N. A. Rice production in the United States - an overview. **Better Crops with Plant Food**, Norcross, v. 85, n. 3, p. 3-7, 2001.

SOIL nutrient deficiencies studies. In: **Annual Report 1990**. Bouake: WARDA, 1990. p. 24-25.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Glossary of soil science terms**. Madison, 1997. 134 p.

SRINIVASAN, K; PURUSHOTHAMAN, S. Effect of N application timing on ratoon rice. **International Rice Research Newsletter**, Manila, v. 14, n. 6, p. 16, Dec. 1989.

THOMAS, R. L.; GRAFIUS, J. E.; KAHN, S. K. Genetic analysis of correlated sequential characters. **Heredity**, v. 26, p. 177-188, 1970.

TIMSINA, J.; SINGH, U.; BADARUDDIN, M.; MEISNER, C. Cultivar, nitrogen, and moisture effects on a rice-wheat sequence: experimentation and simulation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, n. 2, p. 119-130, Mar./Apr. 1998.

TURNER, F.T.; McLLRATH, W. O. N fertilizer management for maximum ratoon crop yields. In: IRRI. **Rice ratooning**. Los Baños, 1988. p. 187-194.

WELLS, B. R.; NORMAN, R. J.; WILSON JUNIOR, C. E. Response of rice to polyolefin-coated ureas as nitrogen sources. Fayetteville: Arkansas Agricultural Experiment Station, 1993. **Arkansas Experiment Station Research Series**, v.436, p.155-159, 1993.

WESTCOTT, M. P.; BRANDON, D. M.; LINDAU, C. W.; PATRICK, W. H. Jr. Effects of seeding method and time of fertilization on urea-nitrogen-15 recovery in rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 3, p. p. 474-478, May/June 1986.

WIENHOLD, B.; TROOIJEN, T. P.; REICHMAN, G. A. Yield and nitrogen use efficiency of irrigated corn in the northern great plains. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 5, p. 842-846, Sept./Oct. 1995.

WILSON JUNIOR, C. E.; BOLLIICH, P. K.; NORMAN, R. J. Nitrogen application timing effects on nitrogen efficiency of dry-seeded rice. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 4, p. 959-964, July/Aug. 1998.

WOPEREIS, M. C. S.; DONOVAN, C.; NEBIE, B.; GUINDO, D.; N'DIAYE, M. K. Soil fertility management in irrigated rice systems in the Sahel and Savanna regions of West Africa. I. Agronomic analysis. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 61, n. 2, p. 125-145, Apr. 1999.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of Rice Crop Science**. Los Baños: IRRI, 1981. 269 p.

YOSHIDA, S. Physiological aspects of grain yield. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 23, p. 437-464, 1972.

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

ZITONG, G. Acid rice growing soils of tropical and subtropical China. In: DETURCK P.; PONNAMPERUMA F. N. (Ed.). **Rice production on acid soils of the tropics**. Kandy: Institute of Fundamental Studies, 1991. p. 9-15.