

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**MECANISMOS DE DISTRIBUIÇÃO DO FERTILIZANTE E
ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA NO ARROZ DE
TERRAS ALTAS EM PLANTIO DIRETO**

ANDRÉ DE MORAES COSTA
Engenheiro Agrônomo

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia – Área de Concentração
Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP
Fevereiro – 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**MECANISMOS DE DISTRIBUIÇÃO DO FERTILIZANTE E ADUBAÇÃO
NITROGENADA EM COBERTURA NO ARROZ DE TERRAS ALTAS EM
PLANTIO DIRETO**

ANDRÉ DE MORAES COSTA

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP
Fevereiro – 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M827m Costa, André de Moraes, 1974-
Mecanismos de distribuição do fertilizante e adubação
nitrogenada em cobertura no arroz de terras altas em
plantio direto / André de Moraes Costa. -- Botucatu,
[s.n.], 2005.

x, 89 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -- Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas.

Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol.

Inclui bibliografia.

1. Oryza. 2. Arroz de sequeiro. 3. Fertilizantes nitro-
genados. 4. Uréia como fertilizante. 5. Plantas - Efeito
do nitrogênio. I. Crusciol, Carlos Alexandre Costa. II.
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
(Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas.
III. Título.

CDD 633.17894

Digo ao Senhor: "Tu és o meu Senhor; outro bem não
posso, senão a ti somente
És a porção da minha herança e o meu cálice".

Salmo 16

Dedico

Aos meus pais, Eli e Meirise,
por sempre estarem ao meu lado e por
me ensinarem desde cedo que a Família
é a base para a formação do caráter de
uma pessoa. Vocês são o meu exemplo
de vida.

Aos meus irmãos, Marcelo e Patrícia,
por vibrarem comigo a cada passo. Amo
vocês.

A minha noiva Juliana
Por seu amor, carinho, respeito e
compreensão. Você é um presente de
Deus para minha vida.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, meu louvor e gratidão porque me amou em primeiro lugar e se entregou por mim.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu, por todo este tempo em que me acolheu.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol pela valiosa orientação, ensinamentos, amizade, compreensão e principalmente pelo exemplo de profissionalismo.

Ao Prof. Dr. Sérgio Hugo Benez por seus ensinamentos e por sua incansável contribuição à pesquisa, minha admiração e respeito.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida.

Aos Profs. Drs. Dirceu Maximino Fernandes e Sílvio José Bicudo pela amizade e colaboração em todas as etapas do curso.

A todos os Docentes e funcionários do Departamento de Engenharia Rural pelos ensinamentos e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal-Agricultura e da Fazenda de Ensino e Pesquisa e Produção da FCA/UNESP, Botucatu, pela amizade e contribuição nas atividades do experimento.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação, em especial a João Paulo Marques, Rosemeire Helena da Silva, Celso Cardoso, Célia Regina Grego, José Roberto Pontes, Denise Mahl, Antonio Renan Berchol da Silva, Paulo Arbex, José Antonio de Fátima Esteves, José Carlos Feltran, José Salvador Foloni, Gustavo Pavan Mateus, Munir Mauad, Edson Ramos, Rosa Honorato, pela amizade e convivência agradável durante o Curso.

Aos companheiros de república, Cleber Ferrão Correa e João Henrique Cruciol pela amizade e companheirismo.

À Cristiane Gonçalves Mendonça e Cristina Veiga pela amizade durante todo este tempo.

Aos funcionários da Biblioteca "Paulo de Carvalho Mattos" pela colaboração e amizade durante o curso de pós-graduação.

Às funcionárias da Seção de Pós-graduação pela dedicação e amizade durante o curso de pós-graduação.

O autor expressa um agradecimento especial a Cristina Gonçalves Mendonça, pelo incansável apoio e ajuda na elaboração desta tese e por sua amizade sincera e enriquecedora.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução desta tese, e não foram poucos.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	IX
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	4
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1 Cultura do arroz no Brasil	7
4.1.1 Arroz de terras altas no sistema de sequeiro.....	8
4.2. Sistema plantio direto.....	9
4.2.1 Arroz de terras altas no sistema plantio direto.....	13
4.2.2 Semeadora-Adubadora para plantio direto e mecanismo sulcador.....	16
4.3 Dinâmica do nitrogênio no solo.....	19
4.3.1 Mineralização e imobilização.....	21
4.3.2 Desnitrificação, volatilização e lixiviação.....	22
4.4 Nitrogênio na cultura do arroz de terras altas.....	24
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
5.1 Área experimental.....	29
5.2 Caracterização do solo.....	32
5.2.1 Análise química do solo.....	33
5.2.2 Teor de água no solo.....	34
5.2.3.Densidade do solo.....	34
5.3 Delineamento experimental e tratamentos utilizados.....	35
5.4. Cultivar utilizado.....	35
5.5 Implantação e condução do experimento.....	36
5.6 Amostragens e avaliações realizadas.....	39
5.6.1 Profundidade de abertura do sulco.....	39
5.6.2 Profundidade de deposição de sementes.....	39
5.6.3 População de plântulas.....	39
5.6.4 Altura de plantas, número de colmos, componentes da produção e	40

produtividade de grãos.....	
5.6.4.1 Altura de plantas.....	40
5.6.4.2 Número de colmos	40
5.6.4.3 Componentes da produção.....	40
5.6.4.3.1 Número de panículas.....	40
5.6.4.3.2 Número total de espiguetas por panículas.....	40
5.6.4.3.3 Fertilidade das espiguetas.....	41
5.6.4.3.4 Massa de 1000 grãos.....	41
5.6.4.4 Produtividade de grãos.....	41
5.6.5 Produção de matéria seca e diagnose foliar da cultura.....	41
5.6.5.1 Produção de matéria seca da parte aérea.....	41
5.6.5.2 Diagnose foliar.....	42
5.7 Análise estatística.....	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
6.1 Profundidade de abertura de sulco, profundidade de deposição de sementes e população de plântulas.....	43
6.2 Altura de plantas, variáveis relacionadas com a produção, matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos.....	46
6.3 Teor de macronutrientes na folha bandeira.....	65
7 CONCLUSÕES.....	69
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Resultado da análise granulométrica do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento.....	33
2	Resultados da análise química do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento.....	33
3	Teor de água no solo (%) no momento da semeadura do arroz.....	34
4	Densidade do solo (kg dm^{-3}) nos dois anos do experimento no momento da semeadura do arroz.....	34
5	Fontes de variação e graus de liberdade (G.L.) da análise de variância.....	35
6	Profundidade de abertura do sulco de semeadura, profundidade de deposição de sementes e população de plântulas em função dos mecanismos sulcadores.....	44
7	Altura de plantas, número de colmos e panículas por metro quadrado em função do mecanismo sulcador e doses de nitrogênio.....	47
8	Número total de espiguetas por panícula e fertilidade das espiguetas em função do mecanismo sulcador e doses de nitrogênio.....	55
9	Massa de 1000 grãos, matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos do arroz em função do mecanismo sulcador e doses de nitrogênio.....	61

Tabela		Página
10	Teor de macronutrientes em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, safra 2001/2002.....	66
11	Teor de macronutrientes em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, safra 2002/2003.....	67

1 RESUMO

O trabalho teve por objetivo avaliar a influência de dois mecanismos de distribuição do fertilizante e da adubação nitrogenada na cultura do arroz de terras altas em plantio direto. O experimento foi conduzido a campo nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003 na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, no município de Botucatu - SP, localizado na região centro-oeste do Estado de São Paulo, em um solo classificado como Nitossolo Vermelho distrófico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados disposto em parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pela semeadura do arroz com dois mecanismos sulcadores de fertilizantes (haste sulcadora e disco duplo) e as subparcelas foram constituídas por quatro níveis de nitrogênio aplicados em cobertura (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) no perfilhamento do arroz, sendo a uréia (45% de N) a fonte utilizada. Foram avaliados as seguintes variáveis: profundidade de abertura do sulco e de deposição de sementes, população de plântulas, altura de plantas, número de colmos e panículas por metro quadrado, número total de espiguetas por panícula; fertilidade das espiguetas, massa de 1000 grãos, matéria seca da parte aérea, produtividade de grãos e análise química do tecido vegetal. O mecanismo de haste sulcadora promoveu maior profundidade de deposição de sementes, menor estande, menor número de panículas por área e conseqüente menor produtividade de grãos. Para o sucesso no estabelecimento da cultura do arroz de terras altas no sistema de plantio direto, dentre outros fatores, está a escolha do mecanismo sulcador das semeadoras-adubadoras. A

aplicação de nitrogênio no arroz de terras altas em sistema de plantio direto proporciona maiores produtividades de grãos quando a cultura é semeada por meio do mecanismo sulcador de disco duplo.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., haste sulcadora, disco duplo, doses de N.

DISTRIBUTION MECHANISMS OF THE FERTILIZERS AND NITROGEN FERTILIZATION TOP DRESSING IN THE UPLAND RICE IN NO-TILLAGE SYSTEM. Botucatu, 2005. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANDRÉ DE MORAES COSTA

Adviser: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

2 SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the influence of two furrow opener mechanisms of fertilizers and the use of nitrogen fertilizer in upland rice in no-tillage system. The experiment was carried out in the agricultural season of 2001/2002 and 2002/2003 in the Lageado Experimental Farm of the Faculty of Agronomic Sciences - UNESP, Botucatu - SP, at the center-west of the State of São Paulo, in a soil classified as dystrophic Red Nitrosoil. In these experiments was used the design in randomized blocks with subdivided plots and four repetitions. The plots were constituted by the seeding of the rice using two furrow opener mechanisms of fertilizers (furrow stem and double disk) and the subplots were constituted by four levels of nitrogen using top-dressing (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹), applied when secondary stems were produced of the main stem of the rice. The variables evaluated were: depth of furrow, depth of seeds, initial population of plants, height of plants, stem and panicle number per square meter, total number of spikelets per panicle, spikelet fertility, mass of 1000 grains, dry matter of the aerial part, productivity of grains and concentration of nutrients in the blade leaf (N, P, K, Ca, Mg and S). The use of the furrow stem promoted larger depth of deposition of seeds, smaller stand, smaller panicle number for area and consequently smaller productivity of grains. The choice of the furrow mechanism of the fertilizer-seeder machines assures the success in the establishment of the upland rice in the no-tillage system. When the grasses are cultivated before rice of upland in the no-tillage system, the quantity of applied nitrogen should be larger than the recommend quantity in the conventional system. The application of nitrogen in the upland rice in no-tillage system increased the productivities of grains when the crop was sowed using double disk like furrow opener mechanism.

3 INTRODUÇÃO

Agricultura sustentável é aquela que procura estabelecer, permanentemente, uma produtividade alta do solo, de tal forma a conservar e restabelecer um meio ambiente ecológico equilibrado e com isso viabilizar economicamente o processo produtivo, melhorando a qualidade de vida. Num sistema sustentável busca-se melhorar a fertilidade do solo, de maneira que futuras gerações possam obter produções iguais ou até superiores as atuais. A sustentabilidade desses sistemas e a sobrevivência dos agricultores, dependem do rigoroso uso de práticas conservacionistas, que possibilitem reduzir as perdas de solo, pois este é a base para a produção de alimentos e um dos fatores mais importantes para o meio ambiente e manter a qualidade da água, que é um elemento vital e esgotável.

Neste contexto, o sistema plantio direto tem contribuído significativamente para o avanço quantitativo e qualitativo da agricultura de grande parte da região tropical brasileira. Consagrado como o sistema conservacionista mais efetivo na resolução dos problemas de degradação dos frágeis solos dos trópicos, o sistema plantio direto tem representado o melhor caminho para a diminuição dos custos de produção, sustentabilidade da produtividade agropecuária e proteção ambiental, sendo adaptado a todos os tamanhos e tipos de exploração. Por isso grande ênfase é dada à adaptação da cultura do arroz de terras altas ao sistema de plantio direto, para consolidá-la como cultura de rotação ou na integração agricultura-pecuária, ou como uma cultura viável sob irrigação por aspersão.

As pesquisas relacionadas ao arroz de terras altas no sistema plantio direto ainda são incipientes e repletas de incertezas, carecendo de informações mais precisas. A maior limitação do arroz de terras altas ao plantio direto é talvez devida à redução na macroporosidade que o sistema provoca, aliado à concentração superficial dos nutrientes, inibindo o desenvolvimento radicular em profundidade. As raízes não conseguem reduzir seu diâmetro para penetrar nos microporos menores que suas extremidades. Assim, elas têm que deslocar as partículas do solo, sendo que a força necessária rapidamente se esgota e o alongamento das raízes é restringido. Nessas condições, ocorrem problemas de nutrição e absorção de água, devido ao espaço explorado pelas raízes ser restrito aos primeiros 15 cm do perfil.

Neste sentido, a utilização da haste sulcadora para fertilizante melhoraria as condições do sulco de semeadura, proporcionando maior desenvolvimento do sistema radicular tanto em volume quanto em profundidade, tornando a planta mais tolerante a deficiência hídrica .

Um outro fator que pode estar limitando a cultura neste sistema é a aplicação das mesmas doses de nitrogênio recomendadas para o sistema convencional, que para o Estado de São Paulo é de no máximo 60 kg ha⁻¹ (Raij et al.,1996). A adubação nitrogenada do arroz no plantio direto, quando se utilizam as doses recomendadas para o convencional, não supre as plantas de forma adequada.

O suprimento inadequado de nitrogênio às plantas no sistema plantio direto, comparado ao sistema convencional, deve-se à menor decomposição dos restos de culturas e à maior imobilização microbiana. Esta é tida como a principal causa da menor disponibilidade de nitrogênio neste sistema após o cultivo de gramíneas, por apresentar alta relação carbono/nitrogênio (C/N), com conseqüente aumento da imobilização de nitrogênio e a menor disponibilidade inicial do nutriente para as plantas.

A adubação nitrogenada da cultura do arroz de terras altas, cultivado no sistema convencional, é uma técnica comumente utilizada, na qual existe um banco de dados suficiente para as recomendações. Porém, o mesmo não é constatado para essa cultura no sistema plantio direto e os poucos estudos referentes a adubação nitrogenada tem permitido inferir pequenos incrementos na produtividade de grãos, provavelmente, em razão do

estabelecimento e desenvolvimento inadequado da cultura decorrente do sistema radicular atrofiado.

Face ao exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência de dois mecanismos de distribuição de fertilizantes (haste sulcadora e disco duplo) e de doses de nitrogênio na cultura do arroz de terras altas em plantio direto.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Cultura do arroz no Brasil

O arroz (*Oryza sativa* L.) é alimento básico para mais de dois terços da população mundial, proporcionando mais calorias por hectare que qualquer outro cereal no mundo, só perdendo para a cultura do trigo em relação à superfície cultivada. Teve sua origem e cultivo no sudoeste da Ásia há quase 3.000 anos, e a partir deste continente foi disseminado para o resto do mundo. Atualmente, o arroz é cultivado em praticamente todos os continentes, sendo a produção mundial estimada na safra 2003/2004 da ordem de 586,7 milhões de toneladas de arroz em casca (AGRIANUAL, 2004).

Segundo Agrianual (2004) os principais países produtores de arroz são: China (29,2% da produção mundial), Índia (23,2%), Indonésia (8,8%), Bangladesh (6,8%), Vietnã (5,4%), Tailândia (4,6%), Myanmar (3,0%), Filipinas (2,2%), Japão (1,9%).

O Brasil ocupa a décima colocação com 10,4 milhões de toneladas (1,75% da produção mundial), sendo o principal país produtor do Ocidente (AGRIANUAL, 2004). Entretanto, segundo dados da FAO (2002) o Brasil posiciona-se apenas como o quadragésimo sexto país em termos de produtividade (produção por unidade de área) e em relação à América do Sul, apenas o décimo primeiro país, principalmente porque predomina no país o ecossistema de arroz de Terras Altas no sistema de sequeiro, sendo o Uruguai o principal país em termos de produtividade, com 6300 kg ha⁻¹.

No país, o arroz é produzido nos ecossistemas de várzea e de terras altas em diferentes sistemas de cultivos, a saber: várzea (com ou sem irrigação por inundação controlada), terras altas (com e sem irrigação por aspersão), sendo que, o sistema irrigado por inundação participa com cerca de 33,2% da área cultivada e com 58,1% da produção total, já o arroz de terras altas participa com 65,2% da área cultivada e cerca de 40,9% da produção nacional (YOKOYAMA, 2002).

No ecossistema de várzeas, a maior região produtora do país é a região Sul, e o principal estado produtor o Rio Grande do Sul, sendo responsável por 44,8% da produção, com 4.477.100 de toneladas. Já para o arroz de terras altas, a maior região produtora é a região Centro Oeste, e o principal estado produtor é o Mato Grosso com 12,8% da produção do país com 1.334.100 de toneladas. A região Sudeste em contra-partida é a região que possui a menor área cultivada com arroz, possuindo o Estado de São Paulo aproximadamente 40 mil hectares cultivados com a cultura. (AGRIANUAL, 2004).

4.1.1 Arroz de terras altas no sistema de sequeiro

Durante muito tempo no arroz de terras altas predominava o sistema de sequeiro que foi usado na região dos cerrados brasileiros com finalidade de abertura de novas fronteiras agrícolas ou para a redução dos custos de implantação de pastagens, em solos com baixa fertilidade natural e baixa capacidade de armazenamento de água.

A baixa produtividade do arroz de sequeiro tem como motivos principais a distribuição pluvial irregular nas principais regiões produtoras e o baixo uso de fertilizantes e corretivos (SANINT, 1997)

Segundo Kluthcouski et al (1987) o arroz no sistema de sequeiro é dependente das condições climáticas, sendo considerado cultivo de alto risco, razão pela qual ocorre grande instabilidade na produtividade em algumas regiões e, conseqüentemente, na produção nacional.

Segundo Yokoyama (1998) o arroz de terras altas é cultivado para atender a diferentes objetivos: cultivo de subsistência, mais comum nas regiões Norte e Nordeste; cultivo de transição, precedente as pastagens, principalmente na região Centro-

Oeste e cultivo comercial em terras já cultivadas, predominantemente nas regiões Sudeste e Sul.

Recentemente essa forma de cultivo do arroz de terras altas vem sendo aperfeiçoada, com o uso de práticas de manejo de solo adequadas, cultivares melhoradas e mais resistentes às doenças e às intempéries, sendo ainda reforçada pelo preparo de solo e adubação profundos, tornando a cultura viável e competitiva principalmente quando em rotação com leguminosas.

O arroz de terras altas deixou de ser cultivado apenas nas áreas recém-desmatadas, onde geralmente se adota baixo nível de tecnologia, para participar de sistemas de produção mais tecnificados, como nas áreas de cultivo de soja e de integração lavoura-pecuária. Sua produtividade nestes sistemas tem passado dos 4.000 kg ha⁻¹, quando as condições climáticas são favoráveis e adota-se cultivares produtivas e manejo fitotécnico adequado (GUIMARÃES et al., 2003).

A ocorrência de falta de água (veranicos) e extremos de temperatura, quando ocorrem entre duas semanas antes e uma semana após o florescimento reduzem drasticamente a produtividade do arroz de terras altas. O dano direto é a ocorrência de espiguetas chochas, podendo resultar em perda total da produção. A seca é o principal fator limitante para o arroz, ocorre de maneira generalizada e pode ser evitada por meio da semeadura em época adequada, utilização de práticas que resultem na manutenção de maior teor de água no solo e uso de cultivares mais resistentes ao déficit hídrico (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 2001).

4.2 Sistema plantio direto

Em muitas áreas do Brasil o uso intensivo do solo, sem um manejo adequado, tem provocado acentuada redução no teor de matéria orgânica, favorecendo, portanto o processo erosivo.

A erosão do solo, além de ser um fenômeno que interfere na qualidade dos solos para a produção agrícola, tem sérias implicações ambientais. Os efeitos da erosão

geralmente se traduzem em redução da fertilidade do solo pela perda da camada de maior fertilidade do solo, redução de retenção de água e na estabilidade estrutural do solo, além da exposição de camadas de superfície mecanicamente menos resistentes aos efeitos do tráfego. Estas conseqüências dificultam a condução de uma agricultura sustentável e com níveis adequados de retorno do capital investido (TORMENA, 1996).

Segundo Gomes et al. (1997) entre as alternativas que podem ser utilizadas para recuperar, manter ou melhorar a capacidade produtiva dos solos, destacam-se os métodos de manejo denominados “sistemas conservacionistas”. Dentre esses métodos, merece destaque o sistema plantio direto, que por mobilizar o solo só na linha de semeadura, não fraciona e nem desarranja os agregados no perfil, e tão pouco estimula a oxidação acelerada da matéria orgânica, contribuindo diretamente para a agregação e melhoria da estrutura do solo (DENARDIN e KOCHHANN, 1993).

O sistema plantio direto é dentre os tipos de manejos conservacionistas, o que melhor tem se enquadrado às condições edafo-climáticas brasileiras. Segundo Sá (1993 a) acredita-se que o plantio direto como manejo do solo, visando a manutenção da água e a restauração da fertilidade do solo, seja fator preponderante para alcançar altas produtividades, não só ocasionalmente, mas com acréscimo ao longo dos anos.

A manutenção de resíduos culturais na superfície do solo no plantio direto promove condições distintas às propriedades do solo em relação a sua incorporação através do preparo convencional. O não revolvimento do solo leva a uma decomposição mais lenta e gradual do material orgânico, tendo como conseqüência alterações físicas, químicas e biológicas no solo, que irão repercutir na sua fertilidade e na produtividade das culturas (MOODY et al., 1961). Referindo-se à sustentabilidade da produção agrícola, Mielniczuk (1997) cita que o solo deve merecer atenção especial, pois sua degradação pelo uso inadequado, pode tornar essa atividade inviável do ponto de vista econômico e ambiental.

Segundo Fornasieri Filho e Fornasieri (1993) a conservação de água do solo é, geralmente uma das maiores vantagens do sistema plantio direto. Os restos culturais ficam na superfície do solo, onde atuam como barreira à perda de água por evaporação; aumentam a rugosidade superficial, reduzindo a velocidade e o volume do escoamento

superficial, favorecendo a infiltração e aumentando a água disponível para as plantas. A cobertura do solo pelos restos culturais, também protege o solo do impacto direto das gotas.

O sistema plantio direto foi adotado nos anos 70 pelos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, com o objetivo principal de conservação do solo. Atualmente esta técnica de manejo é praticada em todas as regiões do país, sendo cultivados aproximadamente 22 milhões de hectares, abrangendo 50% da área total cultivada com grãos.

De acordo com Borges (1997) o plantio direto possui uma série de vantagens inquestionáveis em relação ao preparo convencional pois reduz a erosão; aumenta o nível de matéria orgânica e, conseqüentemente, a fertilidade; diminui o uso de combustíveis; preserva e recupera mananciais de água; ajuda no controle de emissão de CO₂ e seus efeitos no aquecimento global; reduz os custos gerais da lavoura, com aumento gradativo de produtividade, entre outras.

Segundo Fancelli e Dourado Neto (2000) a adoção do sistema plantio direto traz benefícios de diversas naturezas tais como: possibilita a semeadura das culturas nas épocas adequadas; contribui para a redução do consumo de combustível nas atividades agrícolas; reduz o trânsito de máquinas na área; pode contribuir para a redução do número de terraços na lavoura; proporciona maior conservação de umidade do solo e maior aproveitamento da água disponível para as plantas; contribui consideravelmente para a manutenção de níveis satisfatórios de matéria orgânica no solo; propicia a ocorrência de menor amplitude térmica no solo, favorecendo a fisiologia e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas; contribui para a melhoria da estruturação e porosidade do solo; proporciona maior tolerância a períodos de estiagem (veranicos) e assegura maior probabilidade de obtenção de produtividades mais elevadas, pois proporciona melhores condições para o desenvolvimento vegetal.

Entretanto, ainda segundo Fancelli e Dourado Neto (2000) alguns problemas inerentes à plena utilização do plantio direto podem ser levantados: nem todos os agricultores apresentam qualificação e grau de instrução, exigidos pelo sistema; custo elevado de máquinas; eficiência variável em diferentes tipos de solo e regiões; compactação superficial (principalmente em solos argilosos); falta de estudos relativos à dinâmica de nutrientes no sistema de plantio direto, notadamente para nitrogênio; falta de definição e consenso para

correção de solo após a implantação do sistema de plantio direto; inadequação a algumas culturas; restrito número de opções econômicas para a época de outono/inverno; maior dependência de assistência técnica especializada.

No Cerrado, a grande evolução na adoção do sistema plantio direto observada nos últimos anos deu-se graças a solução parcial ou total dos problemas de primeira geração, tais como a formação e manutenção de cobertura morta, correção das propriedades físicas e químicas do perfil do solo, mecanização da semeadura, manejo das plantas daninhas, dentre outros. Entretanto, sob as condições climáticas reinantes neste bioma, tem sido difícil a formação e principalmente a manutenção de volume de palhada, em quantidade suficiente para proteger plenamente a superfície do solo. Isto, aliado a movimentação de máquinas, pode favorecer o surgimento de problemas de segunda geração, ou aqueles decorrentes da não rotação de culturas e da não formação da cobertura no sistema plantio direto, tais como: recompactação/readensamento do solo; salinização devido à constante deposição dos fertilizantes minerais na superfície (KLUTHCOUSKI et al., 2000).

Tormena e Roloff (1983) relataram que o plantio direto destacava-se como um sistema efetivo para o controle das perdas de solo e água sob as condições do sul do Brasil, mas a compactação do solo em superfície motivada pela ausência do revolvimento e a ocorrência de tráfego de máquinas agrícolas, constitui-se num dos principais problemas. Aliada ao fator compactação, a colocação superficial de fertilizantes e corretivos tem motivado aos agricultores proceder o revolvimento do solo após alguns anos de plantio direto.

De acordo com Sá (1993 b) a manutenção de restos culturais na superfície do solo provoca alterações com reflexos diretos na fertilidade do mesmo. Os efeitos marcantes são: a redução do processo erosivo permite maior oferta e disponibilidade de nutrientes às plantas; as alterações na umidade e na temperatura do solo influenciam a atividade biológica e conseqüentemente a solubilização, a liberação de nutrientes e a eficiência na absorção pelas raízes das plantas; a elevação da taxa de infiltração e o armazenamento de água, por períodos mais prolongados, altera os mecanismos de movimentação e redistribuição de nutrientes com maior mobilidade no solo, como o nitrogênio, o enxofre e o potássio; a composição de resíduos influencia não somente na taxa

de mineralização, como nas propriedades químicas de solos, através dos grupos funcionais formados pelas carboxilas e hidroxilas fenólicas.

Resíduos de gramíneas para cobertura de solo são muito eficientes devido a alta concentração de celulose, lignina e relação C:N, o que proporciona maior resistência a decomposição, prolongando a proteção da superfície do solo (TRIPLETT, 1986). Além disso, as gramíneas possuem sistema radicular abundante, funcionando como uma rede, mantendo os agregados de solo, tornando-os mais resistentes à ação do impacto da gota de chuva e ao transporte pela enxurrada (DECHEN et al., 1981).

Nesse contexto, a inclusão de outras culturas no sistema plantio direto, notadamente o arroz, aumenta as opções de culturas para o sistema que tem como premissa a rotação, a cobertura permanente do solo e o não revolvimento do mesmo.

4.2.1 Arroz de Terras Altas no sistema plantio direto

Grande ênfase é dada à adaptação da cultura do arroz de terras altas ao sistema plantio direto, para consolidá-la como cultura de rotação com a soja ou o milho e na integração agricultura-pecuária, em regiões de boa distribuição de chuvas, ou como uma cultura viável sob irrigação por aspersão.

Segundo Guimarães et al. (1999) as condições ambientais do solo após pastagem são altamente favoráveis ao cultivo do arroz, portanto esta cultura deverá ter participação obrigatória nos sistemas agropastoris, seja através da consorciação (Sistema Barreirão) ou solteiro. É possível até o uso do plantio direto do arroz em área de pastagem, desde que esta seja dessecada e receba dose mais alta de nitrogênio no momento da semeadura. Os mesmos autores comentam que a rotação do arroz com culturas anuais, principalmente a soja, oferece grande oportunidade para a ampliação do cultivo do arroz, porém esta cultura deve ser adaptada aos solos que recebem manejo para o cultivo da soja, como pH corrigido e plantio direto.

O sistema plantio direto tem sido adotado expressivamente por agricultores do cerrado brasileiro. Contudo, seu uso continuado em regiões tropicais, com insuficiência de cobertura do solo e sucessivas adubações superficiais, pode resultar em

alterações nos parâmetros do solo, como compactação e acúmulo de nutrientes na superfície, e na baixa expressão do potencial produtivo das culturas (KLUTHCOUSKI et al., 2000).

A maior limitação do arroz de terras altas ao plantio direto é talvez devida à redução na macroporosidade que o sistema provoca, aliado à concentração superficial dos nutrientes, inibindo o desenvolvimento radicular em profundidade. As raízes não conseguem reduzir seu diâmetro para penetrar nos microporos menores que suas extremidades. Assim, elas têm que deslocar as partículas do solo, sendo que a força necessária rapidamente se esgota e o alongamento das raízes é restringido. Nessas condições, ocorrem problemas de nutrição e absorção de água, devido ao espaço explorado pelas raízes ser restrito aos primeiros 15 cm do perfil. Neste contexto, considera-se primordial a melhoria prévia do perfil do solo para cultivo do arroz de terras altas em plantio direto aliado ao desenvolvimento de cultivares que melhor se adaptam a esse sistema (LIMA et al., 2002)

De acordo com Vieira (1981) no plantio direto, como o solo praticamente não é revolvido, há uma tendência à compactação na camada superficial, resultando num aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total. Entretanto, Bauer e Black (1992) afirmam que mesmo havendo adensamento do solo sob plantio direto e limitado desenvolvimento radicular, isso não necessariamente provoca redução na produção de grãos. Em anos de chuvas normais, o adensamento superficial não se evidencia e os rendimentos são bons, porém em anos de déficit hídrico, se não se romper essa camada, podem haver reduções significativas.

O plantio direto para a cultura do arroz de terras altas ainda é incipiente e repleto de incertezas. Para Kluthcouski et al. (2000) o arroz de terras altas cultivado em sistema plantio direto necessita de informações mais precisas. Em geral as recomendações mais freqüentes para o arroz de terras altas no sistema de sequeiro são de um bom preparo do solo com uso de aração ou escarificação.

Segundo Moura Neto (2001) no caso do arroz de terras altas, o plantio direto é ainda pouco usado pelos agricultores e os resultados práticos são inconsistentes ou inconstantes, ocorrendo muitos insucessos. Uma das alegações para a não inclusão desta cultura em plantio direto é a falta de pesquisas e, sobretudo, de cultivares adaptadas a esta condição.

Kluthcouski et al. (2000) verificaram que não houve resposta do arroz aos níveis de adubação, já a aração profunda resultou nos maiores rendimentos de milho, arroz e feijão, sendo intermediários os efeitos para a escarificação. Ainda segundo os autores, o arroz de terras altas é menos adaptado às condições de solo sob plantio direto principalmente devido ao adensamento do solo e redução na macroporosidade. Este resultados também foram observados por Castro (1989) e Gill et al.(1996).

Seguy e Bouzinac (1992) trabalhando com arroz de terras altas e sistemas de preparo do solo (plantio direto, grade aradora e aração profunda) obtiveram menores produções no sistema plantio direto. Os autores citam ainda que o arroz de sequeiro é muito sensível à qualidade do perfil cultural, quaisquer que sejam as condições climáticas.

Na Região de Cerrados úmidos do Meio – Norte de Mato Grosso, Seguy et al. (1993) encontraram dificuldades com o arroz de terras altas em plantio direto devido principalmente à dificuldade de enraizamento do arroz no solo mais denso. O mesmo foi encontrado por Guimarães et al. (2003) que avaliando sistemas de produção em arroz após pastagens em dois municípios de Goiás, observaram que o sistema plantio direto foi o menos produtivo em ambos os municípios, principalmente porque este sistema induz ao menor desenvolvimento radicular. Entretanto, esta situação não é limitante quando as condições hídricas e químicas do solo são adequadas.

Moura Neto (2001) testando cultivares de arroz de terras altas sob plantio direto e plantio convencional, observou que o plantio direto foi menos favorável ao desenvolvimento das plantas, induzindo a um atraso de cinco dias no florescimento, mas concluiu que o sistema plantio direto é viável para o arroz de terras altas, que cultivar não é fator limitante e que as cultivares atualmente disponíveis comportam-se de modo semelhante quanto a produtividade de grãos nos dois sistemas.

4.2.2 Semeadora-adubadora para plantio direto e mecanismo sulcador

O plantio direto, por constituir em um sistema de produção mais aprimorado, exige infra-estrutura adequada, principalmente relacionada a máquinas especializadas.

A semeadura reveste-se de suma importância para a obtenção de colheitas lucrativas. Assim, a semeadura correta é aquela que bem distribui em número, espaço, tempo e profundidade, a quantidade de sementes recomendada (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

Para adequada emergência são necessários um conjunto de fatores, sendo muito dos quais, de responsabilidade da qualidade de semeadura efetuada pela máquina. Durante a semeadura, a máquina trabalhando em plantio direto, deve efetuar inicialmente o corte da vegetação, abrir um sulco com profundidade suficiente para a deposição do fertilizante abaixo das sementes e promover um volume de solo mobilizado para permitir o início do estabelecimento das plantas. Em seguida, as sementes devem ser depositadas a profundidade adequada, serem recobertas com solo e palha, recebendo compactação lateral e sobre a semente, para que possam absorver água pelo contato íntimo com as partículas do solo. Não se deve permitir que formem bolsões de ar e selamento superficial.

O solo, com adequada cobertura com palha, mantém a umidade e a temperatura em condições mais apropriadas para a germinação das sementes. Portanto, recomenda-se que sejam utilizados componentes de chegamento de solo e palha sobre o sulco de semeadura. Esses componentes são importantes, também, para evitar que os sulcos permaneçam abertos. São os componentes compactadores que evitam que haja ocorrência de bolsões de ar, no entanto, em algumas situações podem promover selamento superficial (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 2003).

As funções de uma semeadora-adubadora para semeadura conforme ASAE (1996) são: cortar as palhas (resíduos); abrir o sulco; dosar a quantidade de semente e adubo recomendada; posicionar a semente e o adubo no sulco na profundidade e distância adequada; cobrir as sementes e o adubo e compactar lateralmente o solo ao redor das sementes.

De acordo com Sato (2002) a principal adaptação ocorrida nas semeadoras-adubadoras de plantio direto em relação às semeadoras-adubadoras convencionais está relacionada com os sulcadores para deposição de adubos e sementes, substituindo-se o sistema de disco duplo convencional por um outro sistema, seja de triplo disco, facas rotativas, facão ou mesmo discos duplos defasados ou desencontrados. Foram desenvolvidos então, diversos sistemas de rompimento do solo, objetivando atender as variadas condições existentes, desde classe de solo até o tipo de palhada preponderante, em um processo de desenvolvimento de produtos contínuo, que dificilmente culminará em apenas um produto eficiente para todas as condições.

Segundo Moura Neto (2001) para as condições de cada propriedade, é importante a escolha criteriosa da semeadora-adubadora (ou a adaptação), que seja capaz de realizar uma boa semeadura. Existe hoje uma infinidade de opções de escolha, desde aquelas para atender o pequeno produtor, até outras de grande capacidade de rendimento. A falta de equipamentos de semeadura, já não é uma barreira à adoção do plantio direto, nem pode ser a causa de retorno a semeadura convencional.

A semeadura mecanizada do arroz em terras altas é realizada por máquinas de diversas marcas e modelos que fazem a semeadura e a adubação em uma única operação. Nesta operação, é necessário que elas doseiem corretamente as sementes e os fertilizantes, e realizem suas distribuições uniformemente nas linhas de semeadura e em profundidades adequadas, conforme as recomendações técnicas para a cultura. As máquinas semeadoras-adubadoras são providas de mecanismos dosadores de sementes e de adubos, de sulcadores, de cobridores e de compactadores de sulcos, que pela natureza dos tipos, podem apresentar desempenhos diferenciados, dependendo da velocidade de operação e da condição da superfície do solo (SILVA et al., 1998).

Segundo Coelho (1996) os mecanismos sulcadores são responsáveis pela abertura do sulco para a deposição de fertilizante e sementes à profundidade pré-determinada.

Os sulcadores do tipo discos duplos, cujo trabalho é auxiliado por um terceiro disco de corte para a palha, ainda são os modelos mais utilizados no país devido a sua versatilidade e também pelo fato de mobilizarem menor volume de solo, porém os mesmos

apresentam inúmeras limitações operacionais. A maior delas relaciona-se as unidades adubadoras, principalmente quando se pretende operar em profundidades de mais de 7 cm, em solos mais argilosos, ou levemente compactados. Para tentar resolver o problema, mais recentemente foram introduzidos no mercado versões de sulcadores do tipo haste sulcadora ou facão, para permitir maior profundidade de trabalho (podem atingir até 15 cm e são específicos para a unidade adubadora), associadas à sulcadores de discos duplos na unidade semeadora (COELHO, 1998; LEVIEN, 1999).

Para a abertura de sulco de profundidade uniforme, que possibilite a colocação de sementes e fertilizantes, existem diversos mecanismos sulcadores distintos, como por exemplo: o facão, a guilhotina, discos duplos, discos defasados, etc. Comparando as hastes sulcadoras em relação aos discos duplos, Araújo et al. (2001) concluíram que as hastes sulcadoras promovem maior mobilização do solo nos sulcos da semeadura, aumentando a incidência de plantas daninhas, a ocorrência de erosão e a possibilidade de falhas no aterramento do sulco. O mesmo foi encontrado por Tessier et al. (1991) que verificaram que a haste proporcionou maior profundidade de semeadura e desagregação do solo junto a semente, diminuindo o número de plântulas de trigo que emergiram e a velocidade de emergência em relação ao disco duplo.

Schlosser et al. (1999) explicam que o sulcador tipo haste, se movimentando deslizando, recebendo maior resistência do solo, promovendo maior distúrbio na linha de semeadura, e sofrendo menos efeito dos resíduos para aprofundar no solo, operando em maior profundidade. Por outro lado, o disco abre o sulco rompendo o solo por compressão, se desloca rolando sobre o solo, estando mais sujeito à interferência dos resíduos na abertura do sulco, que pode dificultar seu aprofundamento.

O Instituto Agrônomo do Paraná (2003) avaliando a profundidade do sulco para deposição de fertilizante em semeadoras-adubadoras de plantio direto em um solo muito argiloso, no município de Marechal Cândido Rondon – PR, constataram que a semeadora-adubadora que trabalhou com discos duplos desencontrados, não atingiu a profundidade combinada para o teste. Citam que este fato é comum ocorrer com todas as máquinas que trabalham com discos neste tipo de solo, onde há muita resistência à penetração

para os componentes de ataque ao solo. Citam ainda, que a maioria das semeadoras ainda não possuem um sistema de controle de uniformidade da profundidade do sulcador de fertilizante.

Segundo Gassen e Gassen (1996) para se minimizar os efeitos da compactação superficial causados pelo não revolvimento do solo e o tráfego de máquinas no plantio direto, é indicado a utilização de sulcadores ou facão na semeadora-adubadora, trabalhando a uma profundidade de 10 cm.

Segundo Araújo et al. (2001) a aderência de solo nos sulcadores (disco de corte, disco duplo e haste) das semeadoras resulta em redução do corte da palha e em embuchamentos. A necessidade de utilizar hastes sulcadoras ou facões para romper a camada superficial compactada e penetrar no solo, aumenta a exigência de tração das semeadoras de plantio direto, as quais passaram a requerer tratores com potências superiores a 85 cv.

4.3 Dinâmica do nitrogênio no solo

O nitrogênio está entre os elementos mais abundantes na natureza, sendo encontrado na litosfera, hidrosfera e na atmosfera, sendo esta o maior reservatório de N. No solo apenas uma pequena fração de N da litosfera está disponível às plantas. A fonte de N para os vegetais é a atmosfera, onde aproximadamente 78% do gás atmosférico é constituído de gás N_2 mas apesar dessa imensa quantidade de N_2 atmosférico, a principal fonte de N às plantas não simbióticas é o solo. Embora seja pequena a quantidade de nitrogênio encontrada na massa seca das plantas (2-4%), comparadas ao carbono (40%), o N é um elemento indispensável, fazendo parte de numerosos compostos orgânicos de vital importância às plantas, tais como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos (MENGEL e KIRKBY, 1987).

Na maioria dos solos, apenas 5% do N-total está na forma mineral como nitrato e amônio, que são as formas absorvidas pelas plantas. A reserva de N no solo é principalmente orgânica, estando sujeita às transformações que determinarão as relações de equilíbrio entre N-orgânico e mineral, em função do comportamento do NO_3^- e NH_4^+ como íons no solo e das necessidades de plantas e microorganismos (CERETTA e FRIES, 1998).

Dois pontos básicos devem ser considerados na redistribuição no solo e aproveitamento do nitrogênio pelas plantas: a) o movimento do íon nitrato e b) a relação C/N influenciando a taxa de mineralização, a imobilização pelos microorganismos no solo e a relação oferta/demanda pelas culturas.

Para Ceretta (1997) os níveis de N no solo são determinados basicamente pelo balanço entre a quantidade mineralizada, a partir da matéria orgânica e da decomposição de resíduos vegetais, da adição por fertilizantes e pelas perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação.

Os teores de nitrogênio inorgânico do solo são altamente dinâmicos, sendo alterados constantemente em razão dos processos de mineralização, amonificação e aminação, da matéria orgânica e da imobilização, fixação temporária pelos microorganismos, os quais atuam simultaneamente. Portanto em certo momento, a fração inorgânica representa a diferença entre o nitrogênio mineralizado e o N imobilizado caracterizando o N disponível do solo. As quantidades disponíveis dependem de fatores relacionados à matéria orgânica como: cultura anterior; relação C/N dos resíduos e teor de matéria orgânica do solo e também de fatores que afetam a mineralização como: aeração, umidade, temperatura e reação do solo (CERETA, 1997).

Thomas et al. (1981) atribuem menor concentração de nitrogênio no solo no cultivo sob plantio direto, principalmente pela menor evaporação de água devido ao efeito da palha e o movimento descendente da água através de macroporos, possibilitando perdas de nitrato para as camadas mais profundas. Os mesmos autores relacionam a dinâmica do nitrogênio do solo, em plantio direto, à relação C/N do material que é depositado na superfície. Assim, plantas cuja relação C/N é superior a 50, proporciona imobilização do nitrogênio por longos períodos. Por outro lado, deve ser considerado que com o passar do tempo pode haver um equilíbrio entre mineralização - imobilização - disponibilidade - perdas, uma vez que a produção microbiana pode adaptar-se e se estabilizar. Em condições tropicais as perdas de nitrato tendem a ser mais intensas, e nesse caso, a combinação de culturas com diferentes exigências em nitrogênio e diferentes sistemas radiculares torna-se fundamental no manejo da adubação nitrogenada.

4.3.1 Mineralização e imobilização

A decomposição dos resíduos orgânicos é um processo essencialmente biológico, sujeito à interferência de diversos fatores. Entre estes, a relação C/N, assume importante papel na mineralização e imobilização do N-mineral da solução do solo.

No processo de mineralização, o N orgânico é liberado na forma inorgânica, primeiro ocorrendo à liberação dos grupos N-amino da matéria orgânica através da proteólise, seguindo-se a amonificação, que consiste na redução do N-amino para N-NH₃ (MENGEL e KIRKBY, 1987).

Quando resíduos orgânicos, ou palhada são deixados na superfície do solo, passam a ser fonte de energia e carbono para a população microbiana. Se estes resíduos orgânicos são ricos em nitrogênio (resíduo de leguminosas), o nitrogênio em excesso para a biossíntese microbiana, durante o processo de decomposição, será liberado como amônia, resultando em sobras de nitrogênio para o solo (processo de mineralização de nitrogênio), (FRIES, 1997).

A relação C:N da palha presente na superfície ou incorporada no sistema tem importância na liberação de nitrogênio para as culturas posteriores. Culturas como a aveia, centeio e milho, apresentam relações maiores que 30:1, o que proporciona maior imobilização inicial de nitrogênio, que a mineralização (PAULETTI e COSTA, 2000).

Na constituição das células microbianas há uma incorporação de um átomo de N para cada dez de carbono. Este processo dá-se durante a transformação da matéria orgânica pelos microrganismos que liberam carbono na forma de CO₂ e 1/3 restante é metabolizado para constituição celular dos microrganismos. A influência dos resíduos na atividade biológica é diretamente proporcional a sua relação C/N. Na adição ao solo de resíduos orgânicos com alto teor de carbono e baixo teor de N, os microrganismos imobilizam o N mineral presente no meio para que a transformação seja efetivada (MARY et al., 1993).

Para Aita (1997), um parâmetro pouco estudado e que interfere na velocidade de decomposição dos resíduos de culturas é a disponibilidade de N do solo. Em

solos com baixos teores de nitrogênio mineral, poderá haver limitação no crescimento microbiano e, portanto, na decomposição da palha.

4.3.2 Desnitrificação, volatilização e lixiviação.

Uma parte do N liberado dos restos culturais permanece no solo na forma orgânica já que o nutriente foi assimilado pela população microbiana, juntamente com o carbono, durante a decomposição. O excedente de N, resultante dos processos microbianos de mineralização e imobilização, aparecerá no solo na forma mineral. Dependendo das condições predominantes no solo, uma fração expressiva desse N poderá ser perdida por desnitrificação, volatilização de amônia e lixiviação de nitrato (AITA, 1997).

Para Coelho (2000) a baixa eficiência de fertilizantes nitrogenados (uréia) em condições tropicais tem sido atribuída ao grande potencial de perdas, sendo a lixiviação, a desnitrificação e a volatilização de amônia os mecanismos mais importantes.

A desnitrificação é o processo de redução biológica do N mineral, a produtos finais como óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO) e N_2 que são facilmente difundidos na atmosfera pela condição de gases. Embora seja um processo freqüente em solos com baixo suprimento de O_2 , poderá ocorrer também em solos bem drenados, onde materiais orgânicos tenham sido adicionados ao solo (AITA, 1997).

Herron et al. (1971) trabalhando em um solo Brunizen de textura franco-argilo-siltosa e cultivado com milho constataram que o nitrogênio mineral acumulou em nível significativo, quando as taxas de aplicação deste nutriente foram maiores que 100 kg ha^{-1} . A quantidade acumulada de nitrogênio no solo foi maior com o atraso da época de aplicação quando comparada a aplicação em área total, duas semanas antes do plantio, com aplicação ao lado das linhas de plantas com altura de 30 e 75 cm. Esta prática, juntamente com o aumento da dose de aplicação proporcionaram uma liberação substancial de nitrogênio pelo solo, através da nitrificação, impedindo que houvesse perdas por lixiviação e por desnitrificação no período inicial quando a cultura pouco utilizou o fertilizante.

A volatilização ocorre quando após a aplicação de N no solo na forma de uréia, acontecem reações de hidrólise enzimática formando carbonato de amônio, que resulta na liberação de CO_2 e H_2O e em maior concentração de NH_3 . Parte deste último

composto, em forma de gás, é perdida e outra parte pode ser retida no solo, principalmente após a hidrólise para amônio (KHENGRE e SAVANT, 1977). As perdas são potencialmente maiores se a uréia for aplicada em superfície.

Lund et al. (1974) afirmavam que as características do perfil do solo devem ser consideradas quando se deseja aplicar grandes quantidades de nitrogênio. O teor de água no solo, distribuição dos tamanhos das partículas e capacidade de troca cátions têm uma grande correlação com a variabilidade de concentração de nitrato no perfil do solo.

Kinjo et al. (1978) relatam que o nitrato é um dos íons sujeitos a perda por lixiviação, devido a sua baixa energia de adsorção com as partículas do solo, o que tem justificado a prática de se parcelar a aplicação de fertilizantes nitrogenados, para se obter maior aproveitamento pelas plantas.

Para Muzilli, (1983) o potencial de lixiviação é maior em sistemas conservacionistas possivelmente devido a maior infiltração de água, maior manutenção de umidade e presença de poros contínuos.

Bassoi (1994) verificou que o milho tem uma considerável absorção de nutrientes que se movimentam até cerca de 50 cm de profundidade, desde que esse processo não atinja grande magnitude. No mesmo trabalho, o autor relata que a lixiviação de nitrato até as profundidades de 50 e 100 cm foi pequena, não representando nenhuma perda considerável para a nutrição mineral da cultura.

Segundo Thomas (1960) nos horizontes B de solos com propriedades de reter eletrólitos, existe taxa reduzida no movimento do nitrato, comparado com o da água, enquanto o íon amônio mostra-se menos sujeito às perdas por lixiviação, devido à sua maior retenção pelos colóides do solo.

Francis e Schepers (1994) verificaram que em solos permeáveis as perdas de nitrogênio por lixiviação podem ser minimizadas por meio do parcelamento da adubação.

Em condições de campo, Leal e Alvahydo (1971) estudaram a transformação e deslocamento do íon amônio em um solo arenoso, verificando que as perdas do nitrogênio adicionado ao solo começaram a ocorrer mais intensamente no final de, aproximadamente, dois meses quando o nitrogênio amoniacal foi nitrificado. Scarsbrook

(1965) relata que plantas jovens podem armazenar o excesso de nitrogênio, translocando-o para os tecidos e aproveitá-lo posteriormente, pois com aplicações tardias de nitrogênio ocorreria uma redução na eficiência de absorção e utilização do nutriente pela planta.

4.4. Nitrogênio na cultura do arroz de terras altas

O uso adequado de nutrientes é fundamental para aumentar ou sustentar a produção agrícola. Vários estudos comprovam o efeito do nitrogênio no aumento da produtividade, principalmente pela utilização de doses e épocas de aplicação mais adequadas.

O nitrogênio é um dos macronutrientes essenciais à vida da planta devido ao seu papel no metabolismo de aminoácidos e proteínas envolvendo processos enzimáticos e assimilações através de reações de oxi-redução. As recentes pesquisas sobre os processos envolvidos no ciclo do nitrogênio estão diretamente ligadas à produção de alimentos e controle ambiental (ANTI, 1997).

O nitrogênio constitui um dos principais nutrientes que limitam a produtividade agrícola nos trópicos. Na ausência de outros fatores limitantes, a produtividade das plantas reflete a sua composição genética para eficiência no uso de N, e ou capacidade de fixar N_2 em associação com bactérias diazotróficas, especialmente sob condições de estresse de N.

Segundo Fageria e Wilcox (1977) a resposta de arroz ao N varia amplamente com o tipo da planta, clima, manejo de água e propriedades do solo.

Segundo Ferraz Júnior et al. (1997) o aumento da produtividade do arroz e a melhoria da qualidade nutricional (teor de proteína no grão) dependem da eficiência de uso do N. O maior acúmulo de N pela planta garantirá até a senescência uma boa produção com qualidade dos grãos e boa estrutura para a colheita.

Entre os macronutrientes, o nitrogênio é o mais exigido pela cultura do arroz de terras altas, e o mais exportado como produto colhido (FAGÉRIA, 1999; CRUSCIOL

et al., 2002b; CRUSCIOL et al., 2003b). Esse nutriente está envolvido diretamente no crescimento da planta. A marcha de absorção desse elemento é lenta a partir da emergência, alcançando intensidade máxima no florescimento, quando a planta absorve mais de 75% do N total, e a partir daí grande parte do N é transportado para os grãos em desenvolvimento (FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993).

As raízes das plantas de arroz absorvem o nitrogênio nas formas de nitrato e amônio da solução do solo oriundo de diversas fontes: fixação biológica do N₂ atmosférico, adubação e mineralização da matéria orgânica (ANTI, 1997).

Os componentes da produção de grãos são importantes características que podem ser afetadas pela nutrição, entre outros fatores. Para a cultura do arroz, o desenvolvimento desses componentes pode ser influenciado pelo nitrogênio, devido as múltiplas funções desse nutriente na planta.

Segundo Barbosa Filho (1987), Fornasieri Filho e Fornasieri (1993) e Costa e Okuyama (1980) o nitrogênio aumenta o número de perfillhos e portanto o número de panículas, o número das espiguetas, a massa dos grãos e o teor de proteína. Entretanto a deficiência de N provoca redução no crescimento da planta e no número de perfilhos e espiguetas viáveis (PEREIRA e CORDEIRO VAZQUEZ, 1964; COSTA e OKUYAMA, 1980; FORNASIERI FILHO, 1982; FAGERIA, 1976).

Altas doses de N em cobertura em cultivares de porte alto, podem estimular o perfilhamento, provocar acamamento, maior incidência de brusone e predispor a lavoura a um maior dano por seca. Em cultivares de porte baixo, pode haver maior resposta à adubação nitrogenada (BARBOSA FILHO, 1987; INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 2001).

Os genótipos de arroz de terras altas diferem quanto à necessidade de nitrogênio. Em média para produção de 1 tonelada de grãos são absorvidos 27 e 32 kg de nitrogênio pelos genótipos do grupo tradicional e do grupo intermediário/moderno, respectivamente (FAGERIA et al., 1995a e 1995b). Segundo Stone et al. (1999) os genótipos de arroz do grupo intermediário/moderno necessitam de doses de nitrogênio duas vezes superiores às recomendadas para genótipos do grupo tradicional que são de 40 a 50 kg de N ha⁻¹

Para Fageria (1984) o nível, a forma, o modo e a época de aplicação do fertilizante nitrogenado são fundamentais para otimizar as respostas da cultura do arroz ao nitrogênio. Raij et al. (1996) recomendam de 50 a 70 kg ha⁻¹ para a cultura de arroz de sequeiro no Estado de São Paulo.

Aumentar a eficiência do uso de nitrogênio pelas culturas anuais, como o arroz de terras altas, é importante do ponto de vista econômico e ambiental. A eficiência de uso de nutrientes pelas culturas pode ser aumentada pelas práticas de manejo apropriadas e do uso de cultivares mais eficientes na absorção e utilização. A aplicação de N quando a cultura o necessita em maior quantidade durante o seu ciclo é uma das práticas de manejo mais importantes no aumento da eficiência do N (FAGERIA, 1998).

Segundo Suhet et al. (1987) na tomada de decisão para a aplicação de fertilizantes nitrogenados, nas diferentes culturas, devem ser considerados os seguintes fatores: potencial de produtividade; estimativa de quantidade de N disponível no solo para as culturas durante o período de crescimento; quantidade de fertilizantes nitrogenados necessários para um ótimo retorno econômico.

Guimarães et al. (2000) observaram que o efeito da adubação nitrogenada no sistema plantio direto de arroz após pastagem é maior que o após soja. A produtividade máxima após pastagem foi de 2.705 kg ha⁻¹ com a aplicação de 100 kg de N ha⁻¹ totalmente na semeadura, 177% superior à observada sem a aplicação de N. A produtividade máxima após soja foi de 3.447 kg ha⁻¹ com a aplicação de 108 kg de N ha⁻¹ totalmente na semeadura, 23% superior à observada com a dose zero de N.

Bordin et al. (2003) trabalhando com arroz de terras altas (cv. IAC 2002) em plantio direto, constataram que a maior produtividade (3039 kg ha⁻¹) foi alcançada com a dose de 75 kg ha⁻¹ de N.

Farinelli et al. (2004) também constataram que a dose de 75 kg de N ha⁻¹ proporcionou maior produtividade de grãos (3647 kg ha⁻¹), não diferindo estatisticamente das doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ de N, em arroz de terras altas no sistema plantio direto.

Michelon et al. (2002) e Kunz et al. (2002) obtiveram resposta quadrática para produtividade de grãos (cv. Primavera), com o aumento das doses de

nitrogênio. A máxima produtividade foi obtida (5696 kg ha^{-1}) com a aplicação de 130 kg ha^{-1} de N.

Entretanto, Arf et al. (2002) verificaram que as doses de N não interferiram nas características agronômicas e produtivas dos cultivares de arroz, as quais foram afetadas pelo plantio direto.

Sousa e Pereira (2002) avaliando o efeito de doses de nitrogênio no arroz de terras altas (cv. BRS-Bonança), constataram que a altura da planta foi influenciada pelas doses de nitrogênio, sendo verificado um comportamento quadrático em relação à dose de N. Para a característica produtividade, houve influencia apenas da aplicação do nitrogênio, também verificado-se um comportamento quadrático, sendo que a dose máxima estimada foi de 160 kg ha^{-1} .

Stone et al. (1979) verificaram aumentos na produtividade de grãos com a aplicação de até 60 kg ha^{-1} , quando a água no solo não foi limitante, mas sendo esta limitante, não houve resposta a adubação nitrogenada.

Mauad (2001) avaliando os efeitos de doses de nitrogênio (5, 75 e 150 mg de N/kg de solo) em arroz de terras altas (cv. IAC 202), concluíram que o incremento da adubação nitrogenada aumentou o número de colmos e panículas por metro quadrado, o número total de espiguetas e a produtividade. Entretanto, a fertilidade dos colmos, fertilidade das espiguetas e massa de grãos diminuíram. Alvarez (2004) trabalhando com arroz de terras altas (cv. Primavera) e doses de nitrogênio em cobertura (0, 30, 60 e $90 \text{ kg de N ha}^{-1}$), também observaram que adubação nitrogenada aumentou o número de panículas por metro quadrado, o número de espiguetas por panícula, e que reduziu a fertilidade das espiguetas e a massa de grãos.

Stone e Silva (1998) verificaram que a dose de 40 kg ha^{-1} de N foi suficiente para o arroz de terras altas em relação à produtividade de grãos, não havendo diferença significativa para a dose de 80 kg ha^{-1} , sendo que em regiões sujeitas à deficiência hídrica, deve-se parcelar a adubação, aplicando-se 1/3 na semeadura e 2/3 na diferenciação do primórdio floral.

Costa et al. (2002) trabalhando com arroz de terras altas, cv. IAC 202, constataram que a aplicação do nitrogênio no estágio de diferenciação do primórdio da

panícula, aumentou o número de espiguetas por panícula e contribuiu para maior peso de grãos. Já a aplicação do nitrogênio no perfilhamento proporcionou diminuição do número de espiguetas por panícula até a dose de 60 kg de N ha⁻¹.

Fageria (1998) estudando o efeito da adubação nitrogenada em diferentes épocas no arroz de terras altas, encontrou melhor resposta para a produção de matéria seca e produção de grãos, com a aplicação de 1/3 de N na semeadura, 1/3 de N aplicado 40 dias após e 1/3 de N aplicado no início do primórdio floral.

Em estudo desenvolvido por Santos et al. (1986) houve aumento significativo na produção de grãos com até 35 kg ha⁻¹ de N, quando aplicado na fase de diferenciação do primórdio da panícula e em condições adequadas de água no solo em arroz de sequeiro.

Face ao exposto acima, percebe-se que a resposta do arroz à adubação nitrogenada é muito variável, por conseguinte não há uma recomendação única para doses de nitrogênio e nem para épocas, devendo-se considerar também outros fatores como: cultivar, sistema de produção, região de cultivo, dentre outros.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Área experimental

O experimento foi conduzido nos anos agrícolas de 2001/02 e 2002/03, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, localizada no município de Botucatu - SP. A localização geográfica do experimento está definida nas coordenadas 22° 51' de latitude sul e 48° 26' de longitude oeste, com altitude média de 770 metros, declividade média de 4,5% e exposição face oeste.

A área experimental vem sendo cultivada no sistema plantio direto desde o ano agrícola de 1997. As culturas foram: vegetação espontânea/milho (1997/98), aveia preta/milho (1998/99), aveia preta/soja (1999/00), aveia preta/milho (2000/01), triticale/arroz (2001/02) e aveia preta/arroz (2002/03).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é subtropical chuvoso, apresentando inverno seco, tipo Cfa. A temperatura média anual é de 20,3 °C. Na Figura 1 estão apresentadas as temperaturas médias mensais dos anos de 2001, 2002 e 2003. Os balanços hídricos mensais, dos anos de 2001, 2002 e 2003, estão apresentados, respectivamente, nas Figuras 2, 3 e 4.

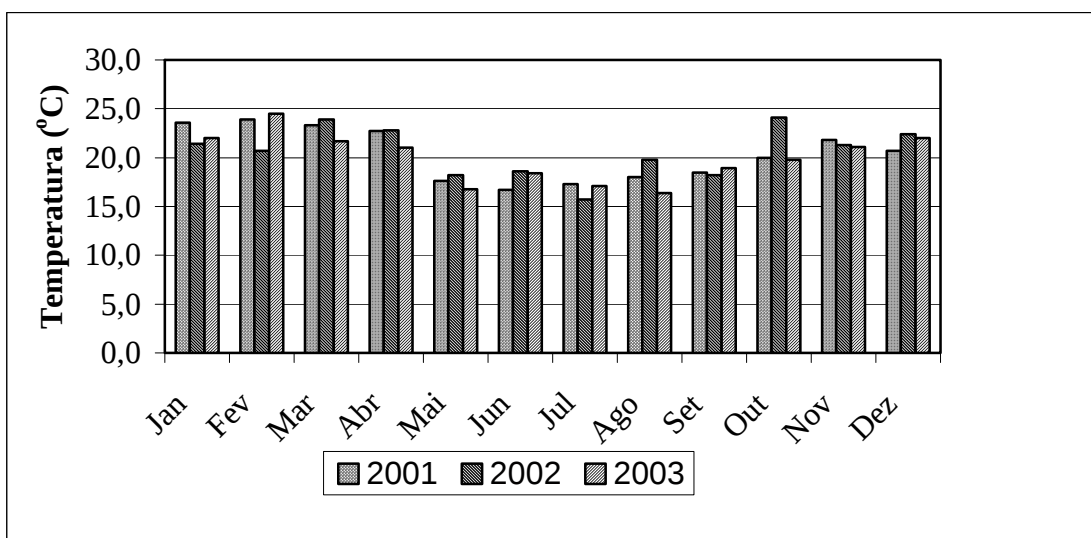


Figura 1 - Temperaturas médias mensais nos anos de 2001, 2002 e 2003. FCA/UNESP, Botucatu-SP.

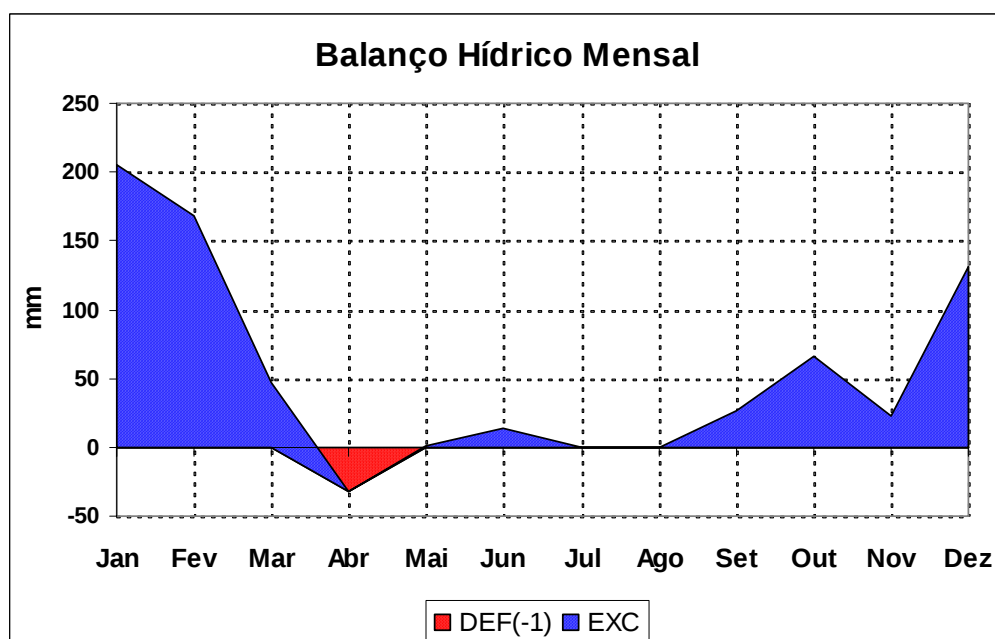


Figura 2 - Balanço hídrico mensal no ano de 2001. FCA/UNESP, Botucatu-SP.

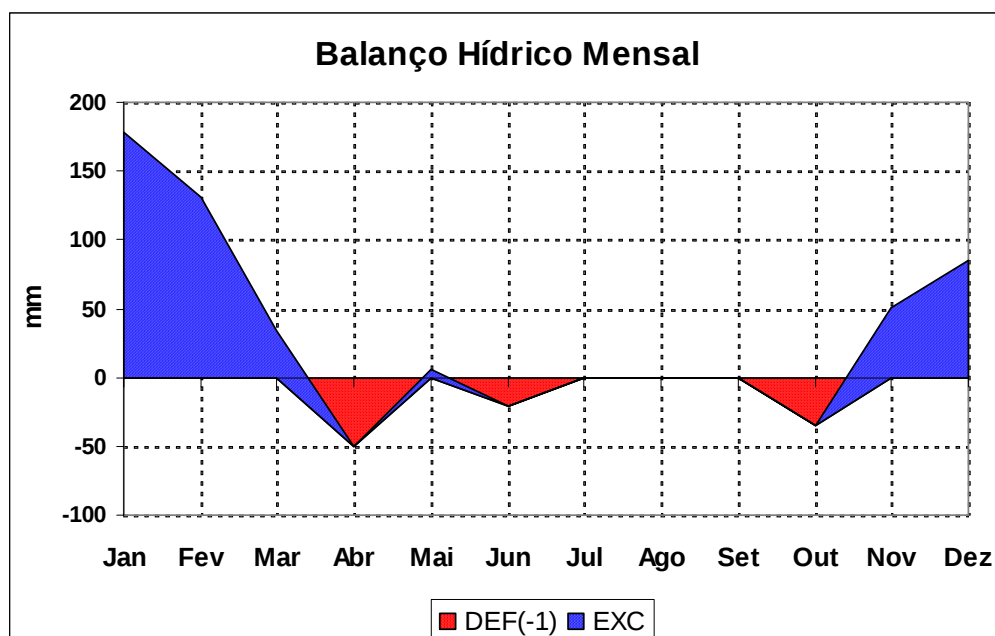


Figura 3 - Balanço hídrico mensal no ano de 2002. FCA/UNESP, Botucatu-SP.

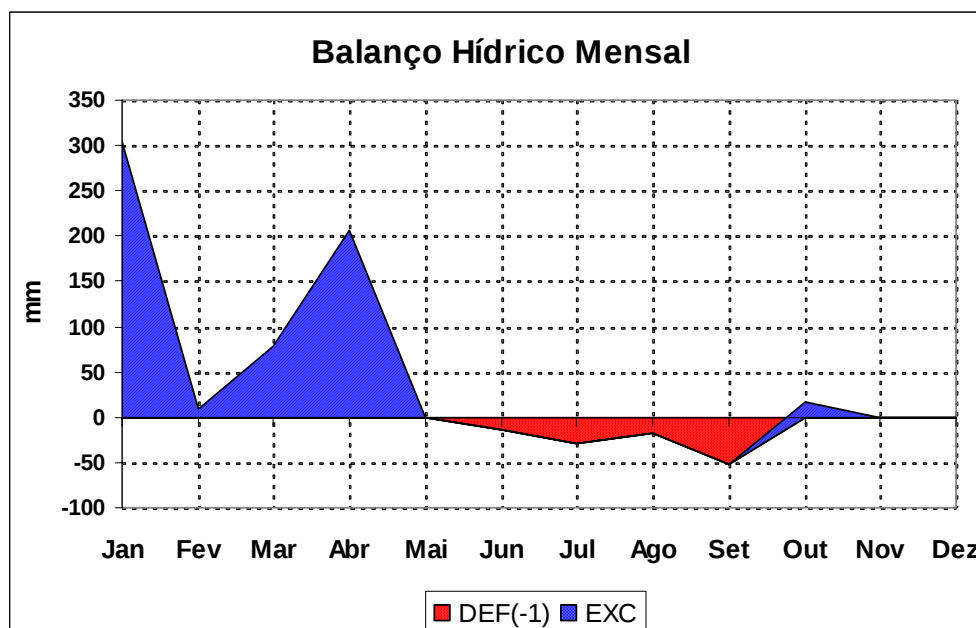


Figura 4 - Balanço hídrico mensal no ano de 2003. FCA/UNESP, Botucatu-SP.

5.2 Caracterização do solo

O experimento foi conduzido em um solo classificado por Carvalho et al. (1983) como Terra Roxa Estruturada e adaptado de acordo com Embrapa (1999), como sendo Nitossolo Vermelho distróférrico.

Os dados morfológicos dos horizontes do perfil desse solo estão apresentados (Carvalho et al., 1983):

- | | |
|-----------------|--|
| Ap | 0-12 cm; vermelho ferrugem (10R 3/6 úmido), argila, granular, grande, forte, ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso, transição plana e clara. |
| B ₂₁ | 12-40 cm; vermelho (10R 4/6 úmido), argila pesada, composta por blocos subangulares médios a grandes, forte e prismática, média, moderadamente desenvolvida, cerosidade moderada, comum, duro, firme, muito plástico e muito pegajoso, transição plana e gradual. |
| B ₂₂ | 40-85 cm; vermelho (10R 4/6 úmido), argila pesada, composta por blocos subangulares e angulares, grandes e prismática, média, fortemente desenvolvida, cerosidade forte, abundante, muito duro, friável, muito plástico e muito pegajoso, transição plana e gradual. |
| B ₂₃ | 85-135 cm; vermelho (10R 4/6 úmido), argila pesada, blocos subangulares, médios, moderadamente desenvolvidos, cerosidade moderada, comum, duro, friável, muito plástico e muito pegajoso, transição plana e gradual. |
| B ₃ | 135-200 cm; vermelho (10R 4/6 úmido), argila pesada, blocos subangulares, médios, fracamente desenvolvidos, cerosidade fraca, pouca e descontínua, ligeiramente duro, muito friável, muito plástico e muito pegajoso. |

Os resultados da análise granulométrica da camada 0-20 cm do solo estão na Tabela 1. O método utilizado para determinação da granulometria do solo, foi o de Bouyoucus, descrito por Kiehl (1979).

Tabela 1. Resultado da análise granulométrica do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento.

Partícula	Diâmetro (mm)	g kg ⁻¹
Areia	2,0 a 0,05	190
Silte	0,05 a 0,002	150
Argila	<0,002	660
Textura do solo		Muito argilosa

5.2.1 Análise Química do solo

Para determinação da fertilidade do solo, foi coletada uma amostra composta na camada de 0-20 cm da área experimental antes da instalação do experimento. A metodologia utilizada foi a descrita em Raij et al. (2001). As análises foram processadas no Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo da FCA/UNESP-Botucatu (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados da análise química do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento.

Prof. (cm)	pH em CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	H ⁺ +Al ³⁺ -----mmol _c dm ⁻³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V (%)
0-20	4,7	24	21	69	1,1	36	17	54	123	44

Seguindo os dados da análise do solo e de acordo com as recomendações de Raij et al. (1996), a calagem foi realizada em (05/2001) superficialmente objetivando elevar a V a 50%, utilizando calcário dolomítico com PRNT de 92%.

5.2.2 Teor de água no solo

O teor de água do solo foi determinado pelo método gravimétrico (Embrapa, 1979). Foram coletadas 2 amostras por subparcela por ocasião da semeadura da cultura do arroz nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. O solo foi pesado em balança digital de precisão de 0,01 g e levado à estufa elétrica, com temperatura de 105°C, permanecendo por 24 horas. Em seguida, as amostras foram pesadas novamente para obtenção do teor de água.

Na Tabela 3 encontram-se os valores médios de teores de água no solo, no momento da semeadura da cultura do arroz para os dois anos do experimento.

Tabela 3. Teor de água no solo (%) no momento da semeadura do arroz

Profundidade do solo (cm)	Teor de água (%)	
	2001/02	2002/03
0-10	22,8	19,7
10-20	23,0	20,7

5.2.3 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico, de acordo com Embrapa (1979). Foram coletadas 2 amostras por subparcela, em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm).

Tabela 4. Densidade do solo (kg dm^{-3}) em função da profundidade nos dois anos do experimento no momento da semeadura do arroz.

Profundidade do solo (cm)	Densidade do solo (kg dm^{-3})	
	2001/02	2002/03
0-10	1,32	1,33
10-20	1,32	1,34
20-30	1,33	1,36

5.3 Delineamento experimental e tratamentos utilizados

O delineamento experimental foi de blocos casualizados disposto em parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por dois mecanismos sulcadores de fertilizantes (haste sulcadora e disco duplo) e as subparcelas por doses de nitrogênio em cobertura (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹). Cada subparcela teve a dimensão de 5,4 m de largura x 12 m de comprimento. Na Tabela 5 estão contidas as informações das fontes de variação e respectivos graus de liberdade da análise de variância.

Tabela 5. Fontes de variação e graus de liberdade (G.L.) da análise de variância.

Fontes de Variação	G.L.
Blocos	3
Sulcador (S)	1
Resíduos	3
Parcelas	(7)
Dose (D)	3
Interação S x D	3
Resíduo (B)	18
TOTAL	31

5.4 Cultivar utilizado

O cultivar utilizado foi o IAC 202, obtido do cruzamento entre os cultivares Lemont e IAC 25, pelo Instituto Agronômico de Campinas, no ano de 1998. O cultivar é indicado para terras altas e apresenta as seguintes características: altura média de 87 cm, sendo considerado de baixo porte; com massa de 2,20 g por 100 grãos; ótima resistência ao acamamento; ciclo médio de florescimento de 87 dias; resistência moderada a brusone (*Pyricularia oryzae* c.v.); recomendado para o sistema de cultivo irrigado por aspersão e sequeiro e excelentes características culinárias (Instituto Agronômico de Campinas, 1998).

5.5 Implantação e condução do experimento

Antes da semeadura do arroz, no primeiro ano do experimento, foi realizada a aplicação de calcário em superfície na dose de 1 ton ha^{-1} e em junho, foi semeado a cultura do tritcale para formação de cobertura morta. O tritcale e as plantas presentes na área foram dessecadas com o herbicida sistêmico não seletivo glyphosate (480 g L^{-1} i.a.), na dose de 3 L ha^{-1} . Momentos antes da semeadura do arroz, coletou-se amostra da massa de cobertura morta na área, que foi estimada em 2848 kg ha^{-1} .

O arroz foi semeado mecanicamente no dia 11/12/2001 com uma semeadora-adubadora, modelo PST2 da marca Marchesan, no espaçamento de 0,45 m entre linhas e dois mecanismos sulcadores de fertilizantes (haste sulcadora-Figura 5 e disco duplo-Figura 6). A semeadora-adubadora foi regulada para depositar $10,8 \text{ g/m}$ de adubo a 10 cm de profundidade e 100 sementes/m a 4 cm de profundidade. A densidade de semeadura utilizada foi de acordo com as recomendações de Breseghello (1998). A emergência das plântulas ocorreu em 17/12/2001.

A adubação de semeadura foi de 240 kg ha^{-1} da fórmula com 4-14-8. O controle das plantas daninhas em pós-emergência foi realizado por meio de aplicação do herbicida propanil ($340 \text{ g L}^{-1} + 2,4 \text{ D } 28 \text{ g L}^{-1}$ i.a.) na dose de 8 L ha^{-1} , aos 20 dias após a emergência (DAE). Os herbicidas foram aplicados com um pulverizador tratorizado utilizando um volume de calda de 250 L ha^{-1} .

A adubação de cobertura em superfície nas subparcelas que receberam os tratamentos com nitrogênio, foi realizada na época do perfilhamento do arroz, 37 dias após a emergência (DAE), utilizando a uréia como fonte de N (45% de N). A colheita foi realizada em abril de 2002.

Após a colheita do arroz na safra 2001/02, para a implantação do segundo ano do experimento, toda área foi dessecada e em maio semeou-se a aveia preta para formação de cobertura morta. A aveia preta e as plantas presentes na área foram dessecadas com o herbicida sistêmico não seletivo glyphosate (480 g L^{-1} i.a.), na dose de 3 L ha^{-1} . Momentos antes da semeadura do arroz, coletou-se amostra da massa de cobertura morta na área, que foi estimada em 3500 kg ha^{-1} .

O arroz foi semeado no dia 22/11/2002 da mesma forma que para o primeiro ano. A emergência das plântulas ocorreu em 01/12/2002. Quanto a densidade de semeadura, utilizou-se 186 sementes por metro.

Para o controle em pré-emergência das plantas daninhas fez-se a mistura dos herbicidas glyphosate e oxadiazon, aplicando 2377,5 g i.a. ha⁻¹ e 1000 g i.a. ha⁻¹, respectivamente.

A adubação de cobertura nas subparcelas que receberam os tratamentos com nitrogênio, foi realizada na época do perfilhamento do arroz, 42 dias após a emergência (DAE), utilizando a uréia como fonte de N (45% de N).

Na Figura 7 está contida foto com vista parcial do experimento na safra 2001/02.



Figura 5. Haste sulcadora utilizada na semeadora-adubadora para deposição de fertilizante.



Figura 6. Disco duplo desencontrado utilizado na semeadora-adubadora para deposição de fertilizante.



Figura 7. Vista parcial do experimento na safra 2001/02 (da esquerda para direita, disco duplo e haste sulcadora)

5.6 Amostragens e avaliações realizadas

5.6.1 Profundidade de abertura do sulco

A profundidade de abertura do sulco ou profundidade de deposição de fertilizante, foi obtida após a passagem da semeadora-adubadora, marcando-se o perfil da superfície do solo, correspondendo à medida (em cm) obtida com o uso de uma régua graduada em milímetros, entre a linha que representou o perfil natural do solo e o ponto extremo do sulco aberto. Avaliou-se 2 linhas da área útil das subparcelas.

5.6.2 Profundidade de deposição de sementes

A profundidade de semeadura foi determinada, 20 dias após a semeadura, através do corte da parte aérea das plantas rente ao solo, coletando-se com o uso do enxadão, a semente com o mesocótilo. Em seguida, utilizando uma régua graduada em milímetros, determinou-se a distância entre a parte inferior da semente e a superfície onde se efetuou o corte, a qual correspondeu à profundidade de deposição de sementes. Foram coletadas aleatoriamente 10 plantas por linha da área útil das subparcelas (Marques, 1999).

5.6.3 População de plântulas

A população foi obtida contando-se o número de plântulas emergidas por metro linear em duas linhas na área útil da subparcela, aos 15 dias após a emergência.

5.6.4 Altura de plantas, número de colmos, componentes da produção e produtividade de grãos

5.6.4.1 Altura de plantas

Foi medida a distância média compreendida entre o nível do solo e a extremidade superior da panícula mais alta, determinada durante o estágio de grão pastoso, em 10 plantas ao acaso, na área útil de cada subparcela.

5.6.4.2 Número de colmos

Antecedendo a colheita, foi realizada a contagem do número de colmos contidos em 2 m de fileira de plantas, na área útil de cada parcela e posteriormente calculado por metro quadrado.

5.6.4.3 Componentes da produção

5.6.4.3.1 Número de panículas

Antecedendo a colheita, foi realizada a contagem do número de panículas contidas em 2 m de fileira de plantas, na área útil das subparcelas, e posteriormente calculado por metro quadrado.

5.6.4.3.2 Número total de espiguetas por panículas

Foram coletadas 15 panículas na área útil de cada subparcela, antecedendo a colheita, e acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados, para posterior contagem do número total de espiguetas.

5.6.4.3.3 Fertilidade das espiguetas

Determinada para cada subparcela a partir da relação entre o número de espiguetas granadas por panícula e o número total de espiguetas por panícula, multiplicada por cem. A contagem do número de espiguetas granadas e chochas de 15 panículas por parcela foi realizada após a separação dos mesmos através do fluxo de ar.

5.6.4.3.4 Massa de 1000 grãos

Determinado através da coleta ao acaso na área útil e da pesagem de quatro amostras de 1000 grãos de cada subparcela, corrigindo posteriormente o teor de água para 13% (base úmida).

5.6.4.4 Produtividade de grãos

A colheita foi realizada com colhedora mecânica de parcela marca Wintersteiger modelo Nurserymaster, colhendo-se as quatro linhas centrais de cada subparcela. A produtividade foi determinada mediante pesagem dos grãos com casca, corrigindo-se o teor de água dos grãos para 13% e convertendo a unidade para kg ha^{-1} .

5.6.5 Produção de matéria seca e diagnose foliar da cultura

5.6.5.1 Produção de matéria seca da parte aérea

No florescimento da cultura do arroz, realizou-se a coleta das plantas contidas em 2 m da linha na área útil de cada subparcela. O material coletado foi seco em estufa a 60°C até atingir peso constante e posteriormente pesado para determinação da matéria seca.

5.6.5.2 Diagnose foliar

Foram coletadas 50 folhas bandeira ao acaso na área útil de cada subparcela no período do florescimento, quando cerca de 50 % das panículas estavam visíveis (Raij et al., 1996). O material coletado foi seco em estufa a 60°C até atingir peso constante e moído em moinho tipo Willey. Nas amostras foram determinados os teores de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre), segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), com a finalidade de se avaliar o estado nutricional da cultura.

5.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias para fator mecanismo sulcador foram comparados pelo teste t (LSD) à 5% e o fator doses de N analisados pela análise de regressão. Para a interação mecanismo sulcador x doses de N, realizou-se o desdobramento de doses de N dentro de mecanismo sulcador por meio da análise de regressão. O critério para adoção de equação na análise de regressão foi primeiro as equações significativas ($P \leq 0,05$) e em segundo o modelo que proporcionou maior coeficiente de determinação (R^2). Para a realização da análise estatística utilizou-se o software SISVAR.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Profundidade de abertura de sulco, profundidade de deposição de sementes e população de plântulas

Os resultados para profundidade de abertura do sulco, profundidade de deposição de sementes e população de plântulas para os dois anos de condução do experimento, estão apresentados na Tabela 6. Observa-se que houve efeito significativo para todas as variáveis em função dos mecanismos sulcadores.

Com relação à profundidade de abertura do sulco, tanto no primeiro quanto no segundo ano, observa-se que o tratamento que utilizou haste sulcadora foi o que proporcionou a maior profundidade em relação ao tratamento com disco duplo. A haste sulcadora tem maior capacidade de penetração e mobilização no solo para abertura de sulco do que o disco duplo, principalmente em solos mais argilosos e com alto teor de água. Segundo Schlosser et al. (1999) a haste rompe o solo deslizando e promovendo maior distúrbio na linha de semeadura, operando em maior profundidade, além de sofrer menos efeito dos resíduos da superfície para abertura do sulco. Por outro lado, os discos rompem o solo por compressão em forma de “V”, se deslocam rolando sobre o solo, estando mais sujeito à interferência dos resíduos na abertura do sulco, que pode dificultar seu aprofundamento.

Os valores de profundidade de abertura de sulco de semeadura atingidos pela haste e disco, segundo Coelho (1998), podem chegar a 15 e 7 cm, respectivamente, portanto, valores próximos aos obtidos neste trabalho e também por Grego (2002). Coelho (1998) ainda

cita que os conjuntos compostos por elementos que contém facção apresentaram maiores áreas de sulco, maior demanda de energia e maior volume de solo mobilizado.

Tabela 6 - Profundidade de abertura do sulco de semeadura, profundidade de deposição de sementes e população de plântulas em função dos mecanismos sulcadores.

Mecanismo Sulcador	Profundidade de abertura do sulco		Profundidade de deposição de sementes		População	
	-----cm-----				plântulas m ⁻¹	
	2001/02	2002/03	2001/02	2002/03	2001/02	2002/03
Disco duplo	6,8 b	7,3 b	4,7 b	4,9 b	92 a	155 a
Haste sulcadora	14,2 a	14,4 a	6,6 a	6,8 a	71 b	130 b
F_{tratamento}	705,62	1963,25	504,81	1704,99	30,86	99,73
CV (%)	7,39	4,16	4,20	2,19	13,5	5,03
DMS	0,562	0,33	0,17	0,09	7,93	5,16

Obs: Médias seguidas de letras distintas, diferem entre si (teste t a $P \leq 0,05$).

Com relação à profundidade de deposição de sementes, tanto no primeiro quanto no segundo ano, observa-se que o tratamento com haste sulcadora foi o que apresentou a maior profundidade em relação ao tratamento com disco duplo, provavelmente porque a haste sulcadora abriu um sulco maior para deposição do adubo, afetando a deposição de sementes. Em solos argilosos o sulco pode não fechar após a abertura, devido ao solo não desagregar-se e voltar a cair no sulco, fazendo com que as sementes atinjam maior profundidade de deposição. Acredita-se que em solos arenosos, este efeito seja menor devido a maior desagregação deste em relação ao argiloso. Segundo SILVA et al (2000) a profundidade de deposição do adubo pode afetar a profundidade da semente por provocar um maior deslocamento do solo, depositando-o nas laterais do sulco de semeadura por onde trafegam as rodas controladoras de profundidade.

A profundidade recomendada para a semeadura do arroz de terras altas, segundo Bresseghe (1998) varia de 3 à 5 cm, apresentando algumas consequências importantes tais como: a emergência é rápida, aumentando a capacidade de competição com as plantas daninhas e evita-se consumo excessivo de reservas da semente para a emergência.

Tessier et al. (1991) verificaram que a haste proporcionou maior profundidade de semeadura e desagregação do solo junto a semente, diminuindo o número de plântulas de trigo que emergiram e a velocidade de emergência em relação ao disco duplo.

Araújo et al. (2001) afirmam que hastes sulcadoras em relação aos discos duplos desencontrados promovem maior mobilização de solo nos sulcos de semeaduras, aumentando a incidência de plantas daninhas, possibilidade de falhas no aterramento do sulco e ocorrência de erosão.

Segundo Takahaschi et al. (2001) que avaliaram uma semeadora adubadora de plantio direto pneumática com diferentes mecanismos sulcadores e rodas compactadoras, detectaram que o mecanismo sulcador tipo haste, depositou o fertilizante e as sementes de milho em profundidades maiores que o sulcador de discos. Silva (2003) também observou maiores valores de profundidade de deposição de sementes de milho no mecanismo sulcador tipo haste.

Rouverson et al. (2004) estudando a influência de três modelos de rodas compactadoras, três profundidades de semeadura e três níveis de carga sobre a roda compactadora na emergência e no desenvolvimento da cultura do milho, relatam que a profundidade de semeadura foi o fator que mais afetou o desenvolvimento vegetativo da cultura do milho. Segundo Fancelli e Dourado Neto (2000), as plântulas de milho provenientes de semeaduras mais profundas emergem tardiamente.

Com relação à população de plântulas tanto para o primeiro quanto para o segundo ano, observa-se que o tratamento com disco duplo foi o que proporcionou maior número de plântulas em relação ao tratamento com haste sulcadora. Isto ocorreu devido à menor profundidade de deposição da semente e, conseqüentemente, maior emergência de plântulas de arroz neste tratamento.

Outro fator que pode ter contribuído para a menor população no tratamento com haste sulcadora pode ter sido a possibilidade de falha no aterramento do sulco, formando bolsões de ar, fazendo com que não houvesse completo contato do solo com as sementes e conseqüentemente menor emergência e população inicial. O contato íntimo do solo com as sementes promove trocas de calor e umidade, o que garante uma germinação eficiente e boa produtividade. Segundo Ortolani et al. (1986) durante a germinação das sementes, o calor, a umidade e o oxigênio são fundamentais e devem estar presentes adequadamente. Entretanto, para que haja uma boa emergência a profundidade de semeadura torna-se importante pois poderá impedi-la, mesmo havendo boa germinação.

Uma outra hipótese para a menor população de plântulas no tratamento com haste sulcadora seria o tamanho de agregados no leito de semeadura, que poderia ter acarretado mudanças no comprimento do caminho da plântula até a superfície do solo (ARAÚJO et al., 2001; NARS e SELLES, 1995).

Vários autores relatam que os mecanismos sulcadores podem ocasionar problemas como a redução da população de plantas em função do fechamento deficiente de sulco (RIGHES et al., 1990; FARRET et al., 1992; FEY et al., 2001).

A importância da fase de emergência sobre o desenvolvimento da cultura tem sido grandemente ignorada. A redução na emergência está correlacionada com menor produtividade de grãos de diversas culturas.

Entre os fatores que interferem na uniformidade de emergência e população de plantas, tem-se o processo de semeadura. Como principais fatores que interferem nesse processo, tem-se a velocidade de semeadura, eficiência dos mecanismos de abertura e fechamento do sulco, teor de água do solo, etc (FEY et al., 2001).

Fey et al. (2001) verificaram que os mecanismos sulcadores influenciaram a emergência de plantas aos 7 dias após a semeadura. Na população de plantas, o mecanismo sulcador tipo facão apresentou a menor população e o sulcador tipo disco, a maior. No entanto, não houve influência dos mecanismos sulcadores na produtividade de grãos. Este resultado é discordante de Mello e Takahashi (2000), que observaram maior população inicial de plantas de milho, quando foi usado a haste sulcadora em relação ao disco duplo, sendo atribuída à descompactação do solo provocada pelo haste, na linha de semeadura.

6.2 Altura de plantas, variáveis relacionadas com a produção, matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos.

Os resultados para altura de plantas, número de colmos e panículas por metro quadrado nos dois anos de condução do experimento, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Altura de plantas, número de colmos e panículas por metro quadrado em função do mecanismo sulcador e doses de nitrogênio.

Tratamento	Altura de plantas		Colmos		Panículas	
	2001/02	2002/03	2001/02	2002/03	2001/02	2002/03
Mecanismo sulcador	-----cm-----		-----nº m ⁻² -----			
Disco duplo	77,7	60,1	153 a	232 a	113 a	180 a
Haste sulcadora	76,7	61,8	97 b	184 b	74 b	125 b
Doses de N (kg ha⁻¹)						
0	74,1	58,7	80	176	67	124
40	77,5	60,2	141	193	102	153
80	79,1	61,0	138	223	106	158
120	78,0	63,7	140	240	100	175
Valores de F⁽²⁾						
Mecanismo sulcador (S)	1,21 ns	1,76 ns	48,89 **	52,63 **	30,32 *	500,53 **
Doses de Nitrogênio (N)	5,63 ns	2,09 ns	13,48 *	33,97 **	6,36 ns	14,97 **
Valor de F para regressão da interação S x N						
Disco duplo						
Linear	8,63 **	5,88 *	22,59 **	30,46 **	12,49 **	30,36 **
Quadrática	13,71 **	0,01 ns	33,30 **	0,25 ns	23,09 **	5,68 *
Haste sulcadora						
Linear	7,42 *	1,18 ns	11,63 **	56,24 **	8,30 *	21,98 *
Quadrática	0,36 ns	0,31 ns	0,09 ns	0,21 ns	0,82 ns	0,58 ns
CV parcela (%)	3,32	6,12	18,26	8,92	21,65	4,51
CV subparcela (%)	2,47	6,72	14,27	6,76	12,60	10,07

⁽¹⁾ médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%

⁽²⁾ ns, * e ** não significativo, significativo no nível 5% e significativo no nível 1% pelo teste F.

Com relação à altura de plantas no primeiro ano pode-se constatar que só houve efeito significativo para a interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio. O desdobramento da interação está apresentado na Figura 8. Observa-se que os dados obtidos foram ajustados a uma função quadrática para disco duplo, sendo que a dose máxima estimada que proporcionaria a maior altura de plantas seria de 74 kg ha⁻¹. Tal comportamento pode ser explicado devido ao fato de que o nitrogênio estimulou o crescimento da planta até o ponto em que começou a ocorrer competição por água, luz e nutrientes, ocorrendo decréscimo da altura com o aumento das doses de nitrogênio. O mesmo foi encontrado por Sousa e Pereira (2002) e por Alvarez (2004) que observou que os valores para altura da planta apresentaram comportamento quadrático, tanto no sistema de sequeiro quanto no irrigado por aspersão, em relação às doses de nitrogênio. Entretanto Mauad (2001) relata que houve aumento na altura da

planta com a dose de 75 mg de N/kg de solo, porém não diferindo significativamente da maior dose que era de 150 mg de N/kg de solo.

Para o tratamento com haste sulcadora, os dados obtidos foram ajustados a uma função linear em relação as doses de nitrogênio aplicadas. Este comportamento pode ser explicado devido ao fato de que neste tratamento houve uma menor população de plântulas (Tabela 6) contribuindo para que ocorresse menos competição com o aumento das doses de nitrogênio aplicadas. Alvarez (2004) verificou que a altura da planta aumentou de forma linear com a adubação nitrogenada na ausência da aplicação de silício. O nutriente que mais afeta a altura da planta é o nitrogênio. Vários autores verificaram aumento da altura da planta em função do aumento das doses de nitrogênio (DINIZ, 1976; COELHO, 1977; AQUINO, 1984; CAMPELO JÚNIOR, 1985; SANTOS, 1986; ARF, 1993; OLIVEIRA, 1995; BAZANINI, 2002; CAZETTA, 2002). Freitas et al. (2002) observaram que houve aumento na altura da planta à medida que se aumentou o espaçamento entre linhas e a dose de nitrogênio aplicada.

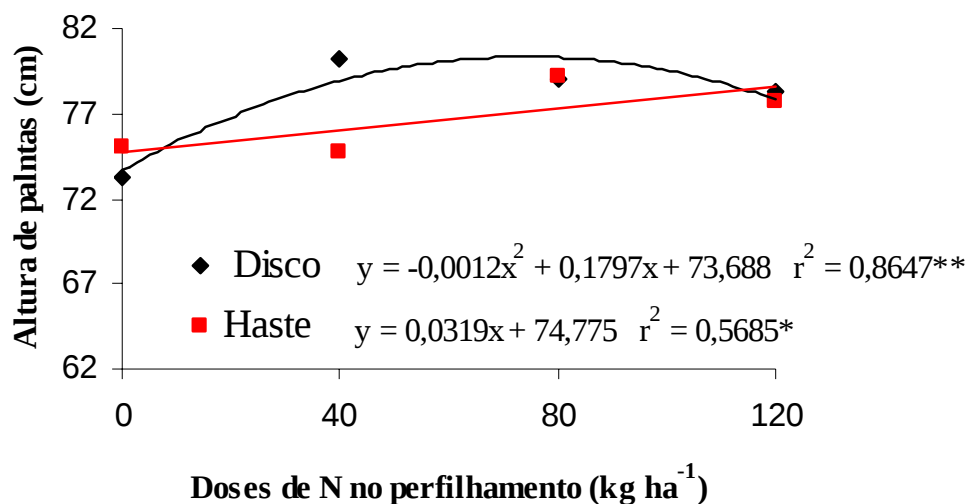


Figura 8. Altura de plantas em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2001/02. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

No segundo ano do experimento, também houve efeito significativo da interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio (Tabela 7). O desdobramento da interação está apresentado na Figura 9. Observa-se que os dados obtidos foram ajustados a uma função linear para disco duplo em relação as doses de nitrogênio aplicadas, comportamento este que difere do constatado no primeiro ano. Isto pode ter ocorrido devido ao fato de que neste ano a média da altura das plantas foi 16 cm menor em relação ao primeiro ano.

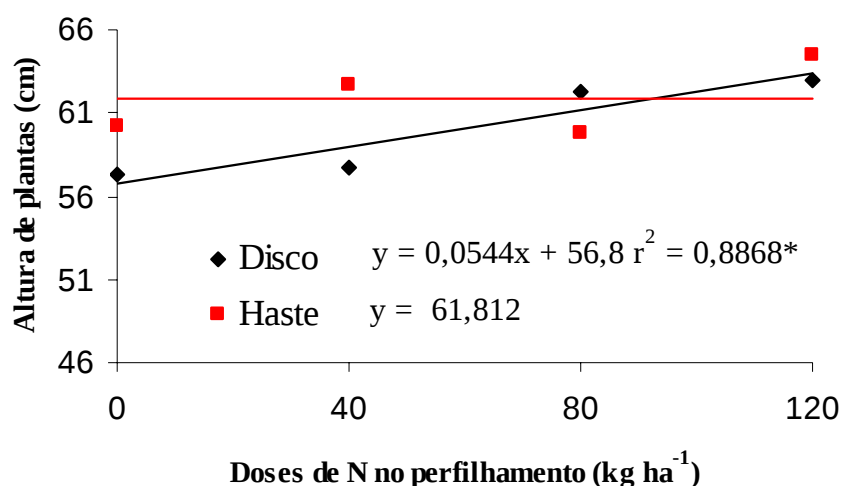


Figura 9. Altura de plantas em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Com relação ao número de colmos m⁻², no primeiro ano, houve efeito significativo de mecanismo sulcador, doses de nitrogênio e da interação mecanismo sulcador e doses de nitrogênio (Tabela 7).

Pode-se determinar através do número de colmos a capacidade de perfilhamento de uma determinada cultivar.

Constatou-se maior número de colmos m⁻² para o tratamento com disco duplo (153 colmos m⁻²) em relação ao tratamento com haste sulcadora (97 colmos m⁻²). O menor número de colmos obtidos quando se utilizou a haste sulcadora está relacionado à maior profundidade de deposição das sementes na hora da semeadura conforme se observou na Tabela 6. Isto diminuiu a emergência de plântulas e provavelmente inibiu o desenvolvimento das gemas axilares inferiores, inibindo o perfilhamento (FORNASIERI e FORNASIERI FILHO, 1993).

O número de colmos está relacionado com a densidade de semeadura e com a capacidade de perfilhamento do genótipo, sendo este, influenciado pelo suprimento de nitrogênio (MURATA e MATSUSHIMA, 1975).

O desdobramento da interação sulcador x doses de nitrogênio está apresentado na Figura 10. Analisando-se o efeito de doses dentro de mecanismos sulcadores, verifica-se que os dados foram ajustados a uma função quadrática para disco duplo, sendo que a dose máxima estimada para se obter o maior valor seria de 81 kg ha⁻¹. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de que o nitrogênio estimulou o perfilhamento até o ponto em que

começou a ocorrer competição por água, luz e nutrientes, diminuindo o número de colmos com o aumento das doses de nitrogênio (CAMPELO JÚNIOR, 1985; STONE et al., 1979; FAGERIA, 1984).

Segundo Barbosa Filho (1987 e 1991), altas doses de nitrogênio induzem à formação de grande número de colmos e folhas novas o que cria condições desfavoráveis à produção, tais como sombreamento e competição.

Já para a haste sulcadora, verificou-se aumento linear do número de colmos em função da adubação nitrogenada, provavelmente, devido ao menor valor inicial de número de colmos em relação ao disco duplo, principalmente, decorrente da maior profundidade de deposição de sementes e, conseqüentemente, menor estande inicial de plântulas. O aumento do número de colmos em função da adubação nitrogenada foi obtido por vários autores (DINIZ, 1976; BARBOSA FILHO, 1987; FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993; MAUAD, 2001; ALVAREZ, 2004).

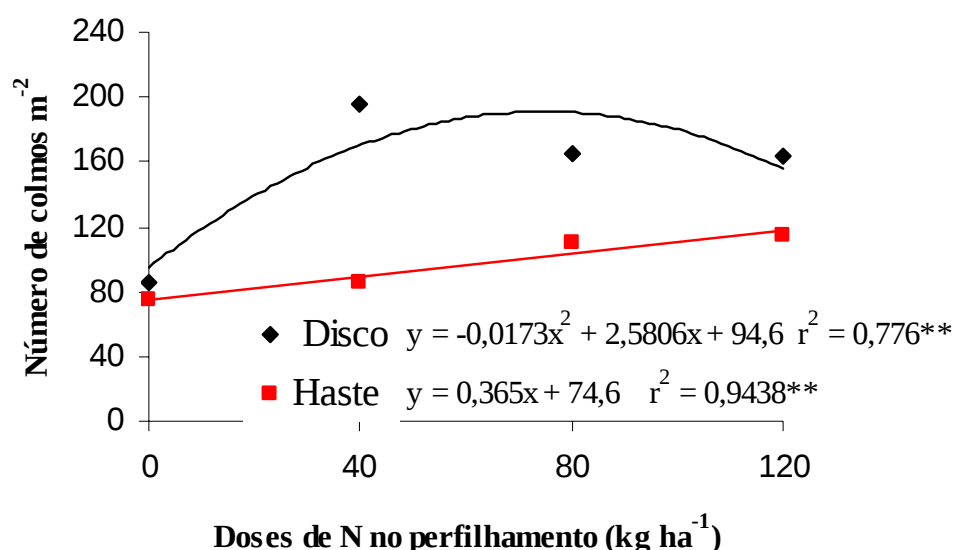


Figura 10. Número de colmos m^{-2} em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2001/02. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

No segundo ano, também houve efeito significativo para mecanismo sulcador, doses de nitrogênio e para a interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio (Tabela 7). Assim como constatado no primeiro ano, verificou-se maior número de colmos m^{-2}

quando se utilizou o disco duplo ($232 \text{ colmos m}^{-2}$) em relação à haste sulcadora ($184 \text{ colmos m}^{-2}$), apesar da maior densidade de sementes utilizada neste ano.

O desdobramento da interação sulcador x doses de nitrogênio está apresentado na Figura 11. Analisando-se o efeito de doses dentro de sulcadores, verifica-se que os dados foram ajustados à uma função linear para ambos os mecanismos.

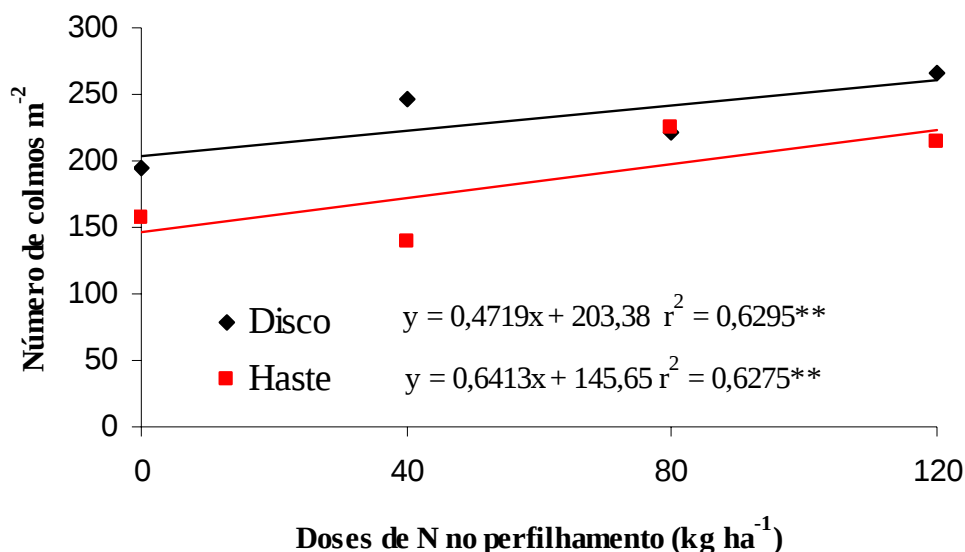


Figura 11. Número de colmos m^{-2} em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Com relação ao número de panículas m^{-2} , no primeiro ano, houve efeito significativo para mecanismo sulcador e para a interação mecanismo sulcador e doses de nitrogênio (Tabela 7).

Constatou-se maior número de panículas m^{-2} quando se utilizou o tratamento com disco duplo ($113 \text{ panículas m}^{-2}$) em relação ao tratamento com haste sulcadora ($74 \text{ panículas m}^{-2}$), seguindo o mesmo comportamento do número de colmos m^{-2} .

O menor número de panículas m^{-2} , quando se utilizou a haste sulcadora em relação ao disco duplo, segue a mesma explicação atribuída para colmos m^{-2} , ou seja, está relacionado a maior profundidade de deposição das sementes na hora da semeadura (Tabela 6), com isto, diminuindo a emergência de plântulas, conseqüentemente, o número de colmos m^{-2} e assim também o número de panículas.

O número de panículas é função direta do número de colmos, assim como das transformações das gemas vegetativas em reprodutivas, no qual o nitrogênio tem papel fundamental, visto que esse elemento participa da divisão celular e constituição dos tecidos, portanto dependente de fatores genéticos e ambientais, sendo definido no período compreendido entre a germinação até dez dias após a diferenciação do primórdio da panícula. O arroz necessita de nitrogênio durante a fase vegetativa para aumentar o número de perfilhos e, conseqüentemente, o número de panículas.

O desdobramento da interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio está apresentado na Figura 12. Analisando-se o efeito de doses dentro de sulcadores, verificou-se que os dados obtidos foram ajustados a uma função quadrática para o disco duplo, seguindo o mesmo comportamento de número de colmos m^{-2} . A dose máxima estimada para se obter o maior valor de panículas seria de 73 kg ha^{-1} . Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de que o nitrogênio estimulou o perfilhamento e, conseqüentemente, o número de panículas até o ponto em que começou a ocorrer competição por água, luz e nutrientes, estabilizando e até diminuindo o número de perfilhos e, por conseguinte, o número de panículas (STONE et al., 1979; FAGERIA, 1984; CRUSCIOL et al., 2002).

Guimarães e Stone (2003) também obtiveram resposta quadrática para o número de panículas m^{-2} em função do incremento da adubação nitrogenada com arroz de terras altas (cv. Canastra).

No tratamento com haste sulcadora, verificou-se aumento linear do número de panículas m^{-2} em função da adubação nitrogenada, seguindo o mesmo comportamento constatado para número de colmos (Figura 12). Isto ocorreu em decorrência do menor valor inicial de colmos, resultante do menor estande de plântulas. Portanto, não estabeleceu competição entre perfilhos em relação ao aumento das doses de nitrogênio aplicadas e sim a transformação de uma maior quantidade de gemas vegetativas em reprodutivas. O arroz necessita de nitrogênio durante a fase vegetativa para aumentar o número de perfilhos e, conseqüentemente, o número de panículas.

O aumento do número de panículas m^{-2} em função do aumento de doses de nitrogênio foi relatado por Diniz (1976), Barbosa Filho (1987 e 1991), Fornasieri Filho e Fornasieri (1993), Fageria et al. (1997), Mauad (2001), Cazetta (2002) e Alvarez (2004),

resultados que diferem dos obtidos por Coelho (1977), Stone et al. (1979), Arf (1993), Oliveira (1995) e Bazanini (2002).

Figura 12. Número de panículas m^{-2} em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2001/02. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

No segundo ano, houve efeito significativo para mecanismo sulcador, para doses de nitrogênio e para a interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio (Tabela 7).

Constatou-se maior número de panículas m^{-2} quando se utilizou o tratamento com disco duplo (180 panículas m^{-2}) em relação ao tratamento com haste sulcadora (125 panículas m^{-2}), seguindo o mesmo comportamento do primeiro ano.

O desdobramento da interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio está apresentado na Figura 13. Verificou-se que os dados obtidos também se ajustaram a uma função quadrática para o tratamento com disco duplo seguindo o mesmo comportamento do primeiro ano, sendo que a dose máxima estimada para se obter o maior valor de panículas seria de 102 kg ha^{-1} .

No tratamento com haste sulcadora, verificou-se aumento linear do número de panículas m^{-2} , seguindo o mesmo comportamento ocorrido no primeiro ano.

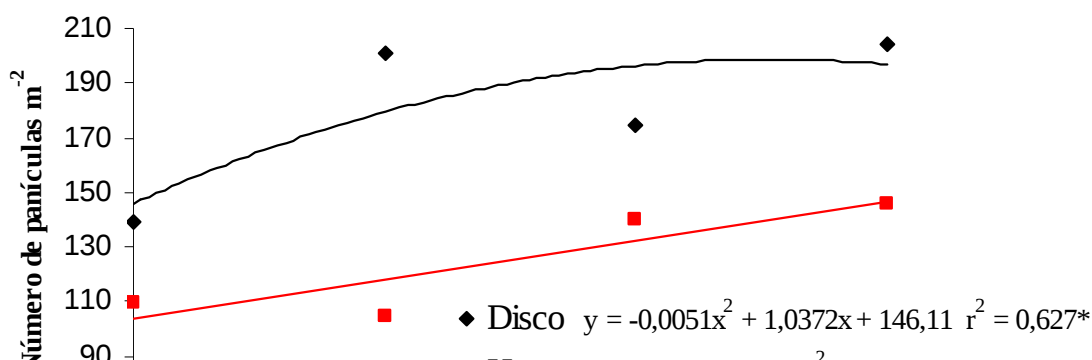


Figura 13. Número de panículas m^{-2} em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Os resultados obtidos para número total de espiguetas e fertilidade das espiguetas nos dois anos do experimento, estão apresentados na Tabela 8.

Quanto ao número total de espiguetas por panícula (primeiro ano), houve efeito significativo das doses de nitrogênio e da interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio.

O número de espiguetas por panícula é determinado durante a fase reprodutiva. Esta fase inicia-se com a diferenciação da gema vegetativa em reprodutiva, dando origem ao primórdio da panícula, e termina no emborrachamento.

Este componente é dependente da diferenciação das ramificações secundárias da ráquis e das espiguetas, e das degenerações que possam ocorrer nessas ramificações e espiguetas, sendo estes processos extremamente sensíveis aos níveis de nitrogênio disponíveis (FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993; MACHADO, 1994).

Tabela 8 – Número total de espiguetas por panícula e fertilidade das espiguetas em função do mecanismo sulcador e doses de nitrogênio.

	Espiguetas total	Fertilidade das espiguetas

Tratamento	2001/02	2002/03	2001/02	2002/03
Mecanismo sulcador	n^o panícula⁻¹		%	
Disco duplo	188	177 b	75	51 b
Haste sulcadora	193	222 a	72	59 a
Doses de N (kg ha⁻¹)				
0	165	197	79	52
40	202	197	74	51
80	208	204	72	58
120	188	202	69	59
Valores de F⁽²⁾				
Mecanismo sulcador (S)	1,57 ns	70,13 **	2,25 ns	27,26 *
Doses de Nitrogênio (N)	24,23 *	0,45ns	4,44 ns	3,76 *
Valor de F para regressão da interação S x N				
Disco duplo				
Linear	0,36 ns	7,77 *	7,69 *	6,82 *
Quadrática	0,88 ns	9,26 **	0,17 ns	0,02 ns
Haste sulcadora				
Linear	19,34 **	2,22 ns	4,67 *	3,62 ns
Quadrática	31,03 **	7,94 *	1,31 ns	0,26 ns
CV parcela (%)	5,78	7,65	8,12	8,02
CV subparcela (%)	10,14	7,81	8,45	10,26

⁽¹⁾ médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%

⁽²⁾ ns, * e ** não significativo, significativo no nível 5% e significativo no nível 1% pelo teste F.

De acordo com Yoshida (1981) citado por Crusciol (1998), o número total de espiguetas é influenciado por fatores genéticos e por condições externas vigentes durante a fase reprodutiva, mais precisamente do início da fase reprodutiva à 5 dias que antecedem o florescimento.

O desdobramento da interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio está contido na Figura 14. Observa-se que só houve efeito significativo para a haste sulcadora, com os dados ajustados à uma função quadrática, sendo que o maior número de espiguetas seria obtido com a dose estimada de 74 kg ha⁻¹. Observa-se maior número de espiguetas por panícula para o tratamento com haste sulcadora a partir da dose de 24 kg ha⁻¹ de nitrogênio em relação ao

tratamento com disco duplo, mesmo o tratamento com haste tendo apresentado menores valores de colmo e panículas m^{-2} (Tabela 7). Este resultado pode ser explicado devido ao fato de que as plantas de arroz possuem capacidade de compensarem o menor número de panículas com a produção de uma maior quantidade de espiguetas por panícula (SOUSA et al., 1995).

Stone et al. (1999) estudando o efeito de doses de nitrogênio em arroz de terras altas, também encontraram resposta quadrática para o número total de espiguetas por panícula. O aumento do número de espiguetas por panícula em função da aplicação de nitrogênio foi relatado por diversos autores (MALAVOLTA, 1981; AQUINO, 1984; BARBOSA FILHO, 1987; FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993; MAUAD, 2001; BAZANINI et al., 2002; GUIMARÃES e STONE, 2003; ALVAREZ, 2004). Entretanto, Coelho (1977), Stone et al. (1979) e Arf (1993) não obtiveram resposta para este componente em relação às doses de nitrogênio aplicadas.

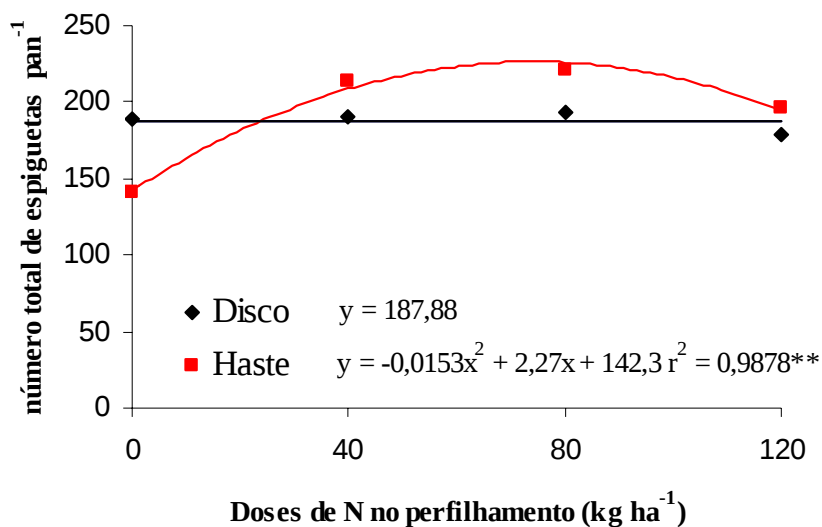


Figura 14. Número total de espiguetas em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2001/02. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

No segundo ano do experimento, houve efeito significativo de mecanismo sulcador, doses de nitrogênio e para a interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio (Tabela 8).

Observa-se também maior número de espiguetas por panícula para o tratamento com haste sulcadora (222 espiguetas pan^{-1}) em relação ao disco duplo (177 espiguetas pan^{-1}), mesmo o tratamento com haste tendo apresentado menores valores de colmo e panículas

m^{-2} (Tabela 7). Este resultado seguiu o mesmo comportamento do primeiro ano e pode ser explicado devido ao fato de que as plantas de arroz possuem capacidade de compensarem o menor número de panículas com a produção de uma maior quantidade de espiguetas por panícula (SOUSA et al., 1995).

Quanto ao desdobramento da interação (Figura 15), constata-se pequeno ajuste das equações. Assim decidiu-se pela não discussão dos resultados uma vez que a expressão matemática fornecida pelo programa estatístico reflete em pequeno grau o evento biológico ocorrido ($R^2 = 0,34$ e $R^2 = 0,37$).

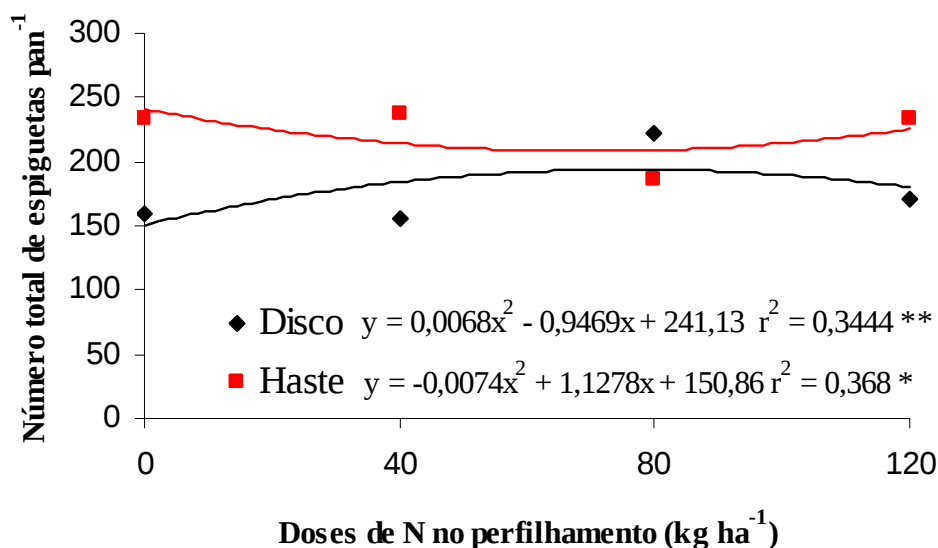


Figura 15. Número total de espiguetas em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Em relação à fertilidade das espiguetas para o primeiro ano, houve efeito significativo para a interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio (Tabela 8).

Segundo Machado (1994), a fertilidade das espiguetas é a relação entre o número de espiguetas granadas e o número total de espiguetas, sendo que este componente da produção é dependente da meiose do grão de pólen (microsporogênese), da antese (abertura das anteras), polinização, fertilização e do início da fase de maturação, ou seja, quando se inicia a translocação de carboidratos. É influenciada por condições adversas ocorrentes no

desenvolvimento dos estádios citados, ou seja, principalmente em torno de 10 dias antes e após o florescimento. As condições adversas que afetam este componente são doses excessivas de adubo nitrogenado, cultivo em solos salinos e condições climáticas desfavoráveis (YOSHIDA e PARAO, 1976).

O desdobramento da interação está apresentado na Figura 16. Observou-se redução da fertilidade das espiguetas com o aumento das doses de nitrogênio para os dois mecanismos sulcadores. Com relação ao tratamento com disco duplo, a mesma explicação dada para número total de espiguetas por panícula é válida para este caso, ou seja, a redução da fertilidade das espiguetas, pode estar relacionado com o maior número de colmos e panículas m^{-2} obtidos neste tratamento em razão das doses de nitrogênio aplicadas. O maior perfilhamento pode ter promovido competição das plantas reduzindo a produção de assimilados que seriam encaminhados para os grãos, diminuindo assim o número de espiguetas granadas por panícula e, conseqüentemente, diminuindo a fertilidade das espiguetas. Este resultado está de acordo com Alvarez (2004), que relata que a fertilidade das espiguetas foi significativamente reduzida com o aumento das doses de nitrogênio.

Para o tratamento com haste sulcadora, o que pode ter ocorrido é que como a planta compensou o menor número de panículas através do maior número total de espiguetas com o incremento das doses de N (Figura 14), houve menor capacidade da planta em translocar assimilados para o enchimento das mesmas, como conseqüência, houve diminuição na fertilidade.

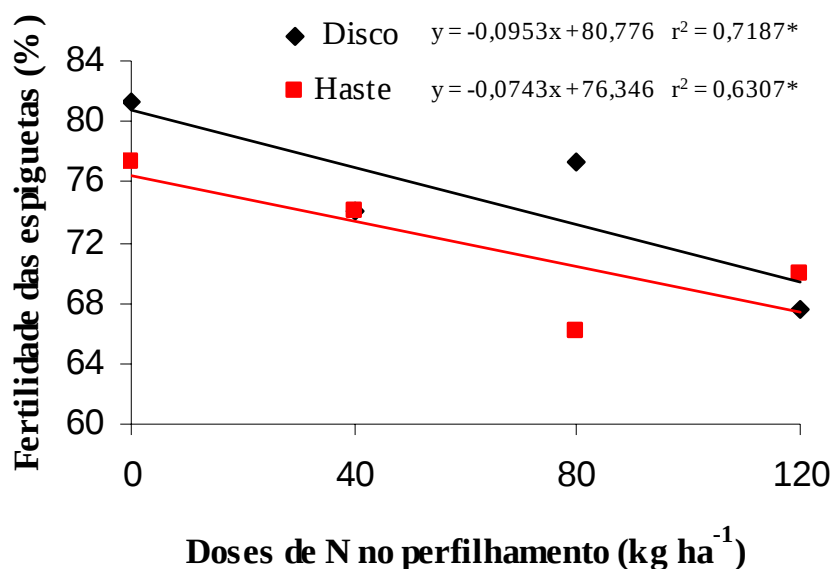


Figura 16. Fertilidade das espiguetas em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2001/02. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

No segundo ano do experimento, houve efeito significativo para mecanismo sulcador, doses de nitrogênio e para a interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio (Tabela 8).

Observa-se que a fertilidade das espiguetas foi menor para ambos os tratamentos em relação ao primeiro ano, principalmente devido à deficiência hídrica ocorrida durante o estágio de emborrachamento e início de enchimento das espiguetas (Figura 4). Dessa forma, a menor disponibilidade de água aumentou o número de espiguetas chochas provavelmente porque reduziu a translocação de assimilados para as espiguetas e, conseqüentemente, diminuiu a fertilidade. Crusciol et al. (2003) concluíram que a menor disponibilidade hídrica, no sistema de sequeiro, causa redução na fertilidade das espiguetas decorrente da menor translocação de fotoassimilados para os grãos.

O desdobramento da interação está apresentado na figura 17. Observa-se que houve aumento linear da fertilidade das espiguetas para o tratamento com disco duplo em função das doses de nitrogênio, porém este aumento mesmo na dose mais alta foi pouco expressivo, sendo que os valores foram inferiores ao tratamento com haste sulcadora.

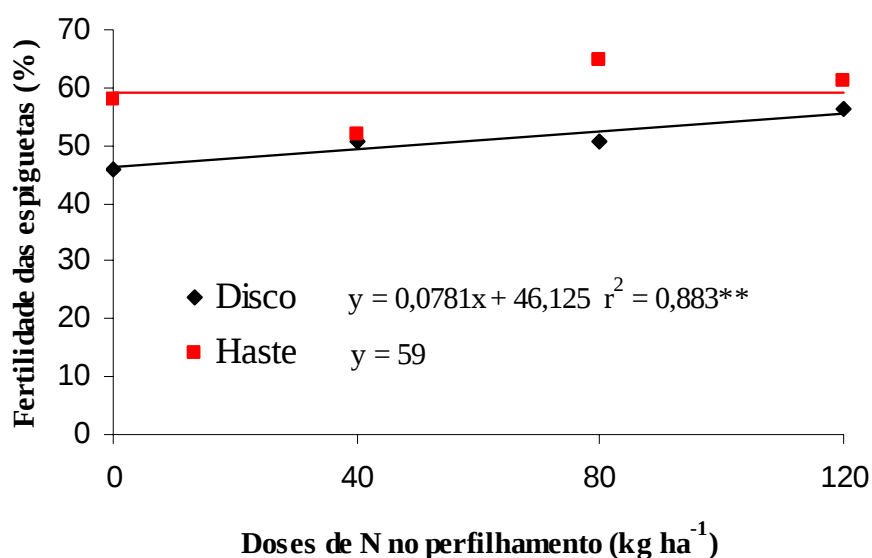


Figura 17. Fertilidade das espiguetas em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Os resultados obtidos para massa de 1000 grãos, matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos, nos dois anos do experimento, estão contidos na Tabela 9.

Com relação a massa de 1000 grãos, no primeiro ano, não houve efeito significativo para mecanismo sulcador, doses de nitrogênio e para a interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio.

A massa do grão é um caráter varietal estável, que depende do tamanho da casca, determinado durante duas semanas que antecedem a antese e do desenvolvimento da cariopse após o florescimento, portanto, depende da translocação de carboidratos, nos primeiros sete dias, para preencher a casca no sentido de seu comprimento, e nos sete dias posteriores, na largura e espessura (MACHADO, 1994). Este componente é pouco influenciado por fatores de ordem climática e nutricional. Entretanto, Campelo Júnior (1985), Arf (1993), Mauad (2001), Bazanini et al. (2002) e Alvarez (2004) observaram diminuição da massa de 1000 grãos, com o aumento das doses de nitrogênio, fato este explicado devido a quantidade de assimilados (carboidratos) não ter sido suficiente para o enchimento de um maior número de espiguetas produzidas. Já Stone et al. (1979), Oliveira (1995), Stone e Silva (1998), Stone et al. (1999), observaram que a adubação nitrogenada não influenciou a massa de 1000 grãos.

Tabela 9 – Massa de 1000 grãos, matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos do arroz em função do mecanismo sulcador e doses de nitrogênio.

Tratamento	Massa de 1000 grãos		Matéria seca da parte aérea		Produtividade de grãos	
	2001/02	2002/03	2001/02	2002/03	2001/02	2002/03
Mecanismo sulcador	----- g -----		----- kg ha ⁻¹ -----		----- kg ha ⁻¹ -----	
Disco duplo	20,4	16,6 b	4726 a	5445 a	2035 a	398
Haste sulcadora	21,1	17,3 a	3698 b	4493 b	1380 b	406
Doses de N (kg ha⁻¹)						

0	20,9	17,3	3111	4579	1566	410
40	21,1	17,1	4074	5070	1782	451
80	20,5	16,8	4296	5113	1798	372
120	20,3	16,6	4778	5114	1684	375
Valores de F⁽²⁾						
Mecanismo sulcador (S)	1,21 ns	18,00 *	10,39 *	11,07 *	826,87 **	0,24 ns
Doses de Nitrogênio (N)	5,63 ns	1,05 ns	5,85 ns	0,83 ns	47,29 **	3,78 ns
Valor de F para regressão da interação S x N						
Disco duplo						
Linear	1,02 ns	2,66 ns	18,37 **	6,93 *	10,63 **	0,90 ns
Quadrática	0,07 ns	0,11 ns	3,24 ns	0,51 ns	71,09 **	0,08 ns
Haste sulcadora						
Linear	0,32 ns	1,08 ns	16,33 **	0,02 ns	11,27 **	4,79 ns
Quadrática	0,08 ns	0,11 ns	2,77 ns	0,92 ns	23,27 **	1,31 ns
CV parcela (%)	8,38	2,95	21,41	16,28	3,77	12,05
CV subparcela (%)	6,64	4,85	9,83	9,92	2,58	13,30

⁽¹⁾ médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%

⁽²⁾ ns, * e ** não significativo, significativo no nível 5% e significativo no nível 1% pelo teste F.

No segundo ano do experimento, só houve efeito significativo para mecanismo sulcador. Observa-se que a massa de 1000 grãos foi maior para o tratamento com haste sulcadora em relação ao tratamento com disco duplo. Isto pode ter ocorrido em função do menor número de colmos m^{-2} obtido por este tratamento fazendo com que a planta não utilizasse tanto assimilados para a manutenção da parte vegetativa, translocando maior quantidade destes para o grão, fato também ocorrido no primeiro ano. Entretanto a massa de 1000 grãos para ambos os tratamentos foi menor se comparado a massa de 1000 para o primeiro ano. Este fato ocorreu provavelmente devido à deficiência hídrica ocorrida no período antes do florescimento (Figura 4) diminuindo a massa de 1000 grãos.

A matéria seca da parte aérea no primeiro ano apresentou efeito significativo para mecanismo sulcador e para a interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio (Tabela 9).

O desdobramento da interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio para matéria seca está apresentado na Figura 18. Observa-se que houve aumento da matéria seca da parte aérea nos dois mecanismos sulcadores em função das doses de nitrogênio, com os dados ajustados à uma função linear. Segundo Malavolta et al. (1997), o nitrogênio participa de diversos processos na planta, entre eles, divisão celular, constituição de tecidos, assim como estimula o número de colmos. Sendo assim, o aumento da matéria seca da parte aérea pode ter

ocorrido devido a participação do nitrogênio na produção de tecido vegetal, exemplificado pelo aumento do número de colmos m^{-2} (Tabela 7). Entretanto, o tratamento com disco duplo proporcionou maiores valores em relação ao tratamento com haste sulcadora, provavelmente devido ao maior número de colmos m^{-2} .

Mauad (2001), observou que o aumento nos níveis da adubação nitrogenada, foram acompanhados pelo aumento dos valores de matéria seca da parte aérea.

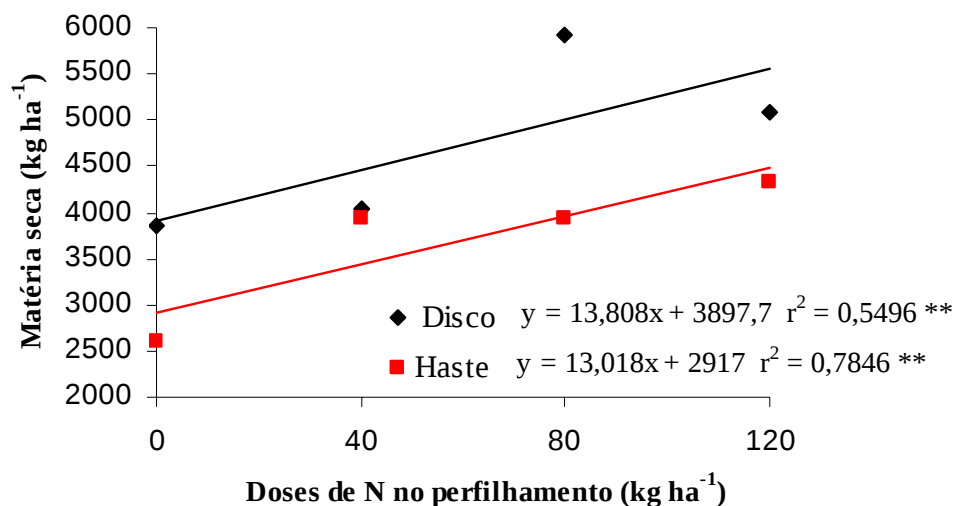


Figura 18. Matéria seca da parte aérea em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2001/02. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

No segundo ano, houve efeito significativo para mecanismo sulcador e para a interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio (Tabela 9). O desdobramento da interação está apresentado na Figura 19.

Observa-se que houve resposta linear à adubação nitrogenada para o tratamento com disco duplo, fato este também ocorrido para o primeiro ano.

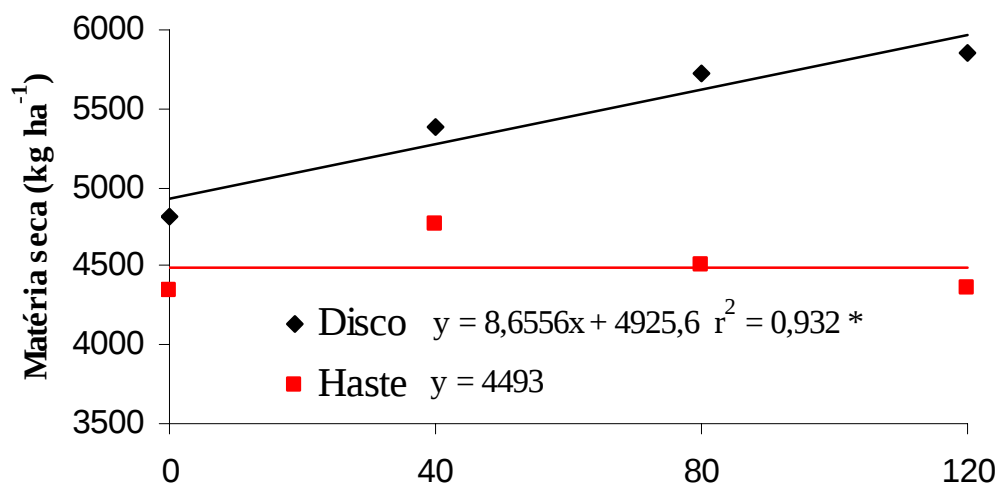


Figura 19. Matéria seca da parte aérea em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Em relação à produtividade de grãos, no primeiro ano, houve efeito significativo para mecanismo sulcador, doses de nitrogênio e para a interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio (Tabela 9).

A produção de grãos de um dado cultivar de arroz é determinada por quatro componentes: número de panículas por metro quadrado, número de espiguetas por panícula, fertilidade das espiguetas e massa de 1000 grãos (BARBOSA FILHO, 1987; FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993).

Observa-se que a produtividade foi maior para o tratamento com disco duplo, sendo superior em 48 % ou 655 kg ha^{-1} em relação ao tratamento com haste sulcadora. A maior produtividade está relacionada ao maior número de colmos e panículas m^{-2} , obtidos por este tratamento.

O desdobramento da interação mecanismo sulcador x doses de nitrogênio está apresentado na Figura 20. Analisando-se o efeito de doses dentro de mecanismos sulcadores, verifica-se que os dados foram ajustados a uma função quadrática para ambos os tratamentos. No tratamento com disco duplo, a produtividade aumentou até a dose de 67 kg ha^{-1} , apresentando valor de 2170 kg ha^{-1} , sendo superior em 16% à produtividade estimada no tratamento sem aplicação de N.

Para haste sulcadora, a produtividade aumentou até a dose de 72 kg ha^{-1} , apresentando valor de 1461 kg ha^{-1} , sendo superior em 15% à produtividade estimada no tratamento sem aplicação de N.

Em função dos resultados dos componentes da produção a maior produção de grãos foi obtida pelo tratamento com disco duplo em razão do maior número de

panículas m^{-2} , influenciado principalmente pela menor profundidade de deposição de sementes, conseqüentemente pelo maior estande inicial (Tabela 6) e maior número de colmos m^{-2} (Tabela 7).

Segundo Stone e Pereira (1994) e Soares e Moraes (1983) o número de panículas m^{-2} foi o componente que mais influenciou a produção, fato este concordante com Pinheiro et al. (1985) que afirmam que na ausência de deficiência hídrica este componente está altamente correlacionado com a produção.

Stone et al. (1979) constataram aumentos na produção de grãos com a aplicação de até 60 kg ha^{-1} , quando a água no solo não foi limitante, mas quando esta se tornou limitante, não houve resposta a adubação nitrogenada.

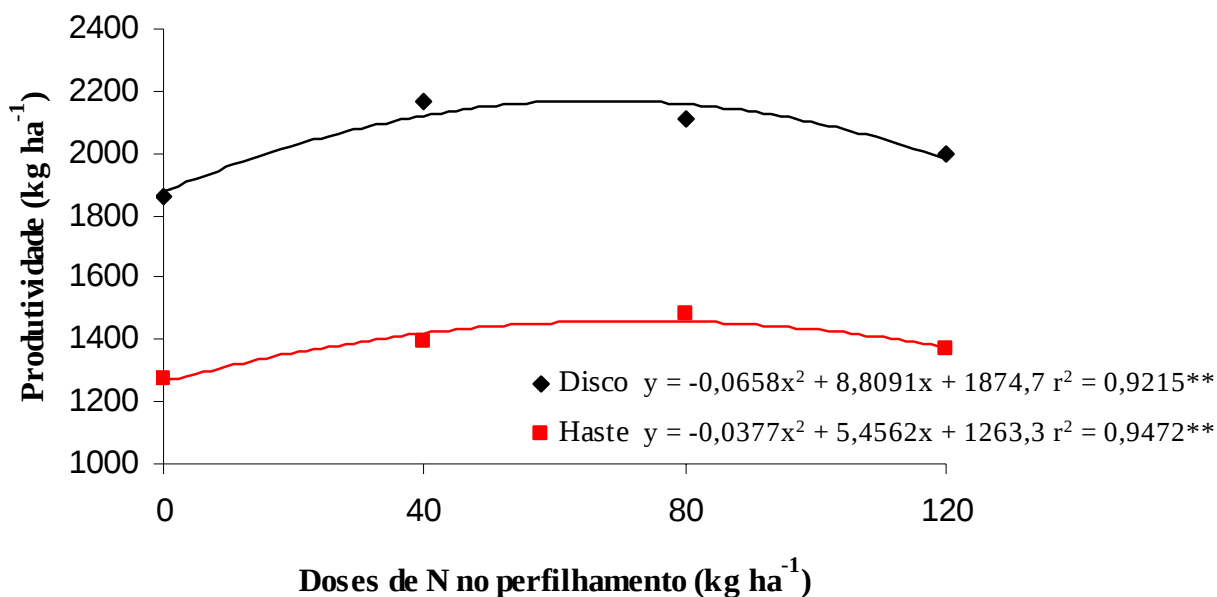


Figura 20. Produtividade de grãos em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2001/02. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

No segundo ano, não houve efeito dos fatores e da interação sobre a produtividade de grãos.

A produtividade foi prejudicada pela deficiência hídrica ocorrida nos estádios finais da fase reprodutiva e na fase de maturação (Figura 4), influenciando a fertilidade das espiguetas, acarretando menor número de espiguetas granadas por panícula e, conseqüentemente, menor produtividade.

6.3 Teor de macronutrientes na folha bandeira

Os resultados para teores de macronutrientes na folha bandeira do arroz no primeiro ano, estão contidos na Tabela 10. Houve efeito significativo de mecanismos sulcadores para nitrogênio, cálcio e magnésio.

Tabela 10 – Teor de macronutrientes em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, safra 2001/02.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
Mecanismo sulcador			g kg⁻¹			
Disco duplo	37,28 b	1,94	12,94	14,81 b	2,06 b	2,66
Haste sulcadora	41,12 a	2,02	13,31	15,81 a	2,81 a	2,55
Doses de N (kg ha⁻¹)						
0	39,12	1,92	11,25	15,00	2,25	2,92
40	38,68	1,95	13,12	15,62	2,50	2,70
80	38,37	2,02	14,12	15,50	2,50	2,51
120	40,62	2,04	14,00	15,12	2,50	2,30
Valores de F⁽²⁾						
Mecanismo sulcador (S)	15,45 *	1,71 ns	0,06 ns	10,67 *	18,00 *	0,16 ns
Doses de Nitrogênio (N)	1,40 ns	1,29 ns	1,67 ns	0,79 ns	1,38 ns	2,91 ns

Valor de F para regressão da interação S x N						
Disco duplo						
Linear	0,93 ns	0,59 ns	1,24 ns	0,01 ns	0,09 ns	5,52 ns
Quadrática	0,12 ns	0,37 ns	0,96 ns	1,81 ns	0,48 ns	0,01 ns
Haste sulcadora						
Linear	0,29 ns	3,02 ns	1,92 ns	0,01 ns	2,40 ns	0,95 ns
Quadrática	3,27 ns	0,52 ns	0,05 ns	0,65 ns	0,48 ns	0,02 ns
CV parcela (%)	7,06	9,20	32,66	5,66	20,51	30,72
CV subparcela (%)	6,08	7,07	22,11	6,18	12,33	16,93

⁽¹⁾ médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%

⁽²⁾ ns, * e ** não significativo, significativo no nível 5% e significativo no nível 1% pelo teste F.

Para o teor de nitrogênio, cálcio e magnésio na folha bandeira, pode-se observar que o tratamento com disco duplo apresentou menores valores em relação ao tratamento com haste sulcadora, provavelmente devido ao efeito diluição, pois houve uma maior produção de matéria seca em decorrência do maior número de colmos m^{-2} , fazendo com que os teores dos nutrientes na planta ficassem diluídos. Entretanto, para ambos os tratamentos, os níveis de nitrogênio e cálcio estiveram acima da faixa considerada adequada para a cultura do arroz, que é de 27-35 e 2,5-10 $g\ kg^{-1}$, respectivamente (RAIJ et al., 1996). Os teores de P, K, Mg e S, estiveram sempre dentro da faixa adequada para a cultura que segundo Raij et al. (1996), é de 1,8-3,0, 13-30, 1,5-5,0 e 1,4-3,0 $g\ kg^{-1}$.

Os resultados para teores de macronutrientes na folha bandeira do arroz no segundo ano, estão contidos na Tabela 11. Houve efeito significativo das doses de nitrogênio e da interação entre os fatores para o teor de N.

Tabela 11 – Teor de macronutrientes em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, safra 2002/03.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
Mecanismo sulcador			$g\ kg^{-1}$			
Disco duplo	31,94	1,65	20,00	3,94	3,23	2,94
Haste sulcadora	32,12	1,70	19,94	3,75	3,08	3,12
Doses de N						
($kg\ ha^{-1}$)						
0	29,75	1,66	20,00	3,63	2,83	3,11
40	32,88	1,70	19,75	3,88	3,10	3,06
80	32,00	1,65	20,13	3,88	3,29	3,05
120	33,50	1,70	20,00	4,00	3,41	2,89

Valores de F ⁽²⁾						
Mecanismo sulcador (S)	0,06 ns	2,49 ns	0,01 ns	0,36 ns	0,53 ns	2,14 ns
Doses de Nitrogênio (N)	9,50 **	0,73 ns	0,15 ns	0,50 ns	4,12 ns	1,06 ns
Valor de F para regressão da interação S x N						
Disco duplo						
Linear	7,52 *	0,45 ns	0,17 ns	0,03 ns	4,58 ns	2,86 ns
Quadrática	1,10 ns	0,81 ns	0,09 ns	0,13 ns	0,03 ns	1,06 ns
Haste sulcadora						
Linear	7,9 *	0,01 ns	0,37 ns	2,55 ns	3,92 ns	0,18 ns
Quadrática	0,81 ns	0,36 ns	0,21 ns	0,51 ns	0,79 ns	0,07 ns
CV parcela (%)	6,52	4,67	13,12	23	18,41	11,57
CV subparcela (%)	4,70	5,08	5,73	16,30	11,27	8,85

⁽¹⁾ médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%

⁽²⁾ ns, * e ** não significativo, significativo no nível 5% e significativo no nível 1% pelo teste F.

O desdobramento da interação está apresentado na Figura 21. Analisando-se o efeito de doses de N dentro de mecanismo sulcador, observa-se que houve aumento linear para ambos os tratamentos. Constata-se para ambos os tratamentos, que os níveis de nitrogênio estão dentro da faixa considerada adequada para a cultura do arroz, que é de 27-35 g kg⁻¹ (RAIJ et al., 1996).

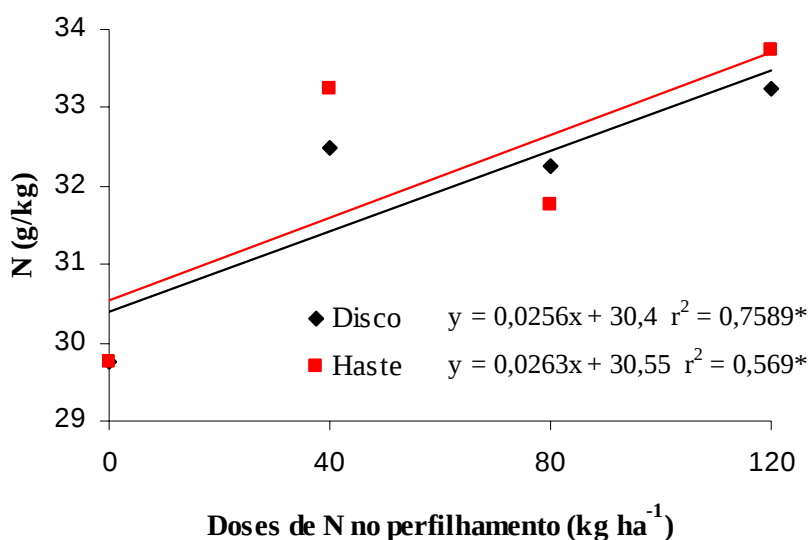


Figura 21. Teor de nitrogênio na folha bandeira em função dos mecanismos sulcadores e doses de nitrogênio, na cultura do arroz de terras altas. Botucatu-SP, 2002/03. *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Os teores de P, K, Ca, Mg e S, estiveram sempre dentro da faixa adequada para a cultura que, segundo Raij et al. (1996) é de 1,8-3,0, 13-30, 2,5-10,0, 1,5-5,0 e 1,4-3,0 g kg⁻¹.

7 CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi conduzido e perante as avaliações e as análises executadas, conclui-se:

- O sucesso no estabelecimento da cultura do arroz de terras altas no sistema plantio direto, dentre outros fatores, está diretamente ligado ao mecanismo sulcador das semeadoras-adubadoras.

- O mecanismo de haste sulcadora promoveu maior profundidade de deposição de sementes, menor estande, menor número de panículas por área e, conseqüentemente, menor produtividade de grãos.

- A aplicação em cobertura de nitrogênio no arroz de terras altas em sistema plantio direto proporciona maiores produtividades de grãos quando a cultura é semeada por meio do mecanismo sulcador de disco duplo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL, Anuário da Agricultura Brasileira, FNP – Consultoria & Comércio, 2004.

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M.R. & DALMOLIN, R.S.D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria, RS, UFSM/Departamento de Solos, p.76-111, 1997.

ALVAREZ, A. C. C. **Produção do arroz em função da adubação com silício e nitrogênio no sistema de sequeiro e irrigado por aspersão**. Botucatu, 2004. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

ANTI, A. B. **Mecanismos de absorção radicular de ^{15}N -mineral (nitrato e amônio) e ^{15}N -uréia em plantas inteiras de arroz (*Oryza sativa* L.)**. Piracicaba, 1997. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

AQUINO, A. R. L. **Níveis e modos de aplicação de uréia ^{15}N no arroz (*Oryza sativa* L.) submetido a veranicos.** Piracicaba, 1984. 134 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

ARAUJO, A. G.; CASAO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Mecanização do plantio direto: problemas e soluções. **IAPAR, Informe da Pesquisa**, Londrina, n.137, 18p. 2001.

ARF, O. **Efeitos de densidades populacionais e adubação nitrogenada sobre o comportamento de cultivares de arroz irrigado por aspersão.** Ilha Solteira, 1993. 63 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 1993.

ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Manejo do solo e adubação nitrogenada em cobertura no comportamento de cultivares de arroz de terras altas irrigados por aspersão. I. Características agronômicas. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 376-379.

ASAE STANDARDS. Standards engineering practices data. 43 ed. Niles Road, 1996. 414 p.

BARBOSA FILHO, M. P. **Nutrição e adubação do arroz.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 127 p.

BARBOSA FILHO, M. P. Adubação do arroz de sequeiro. **Informe Agropecuário**, n. 14, p.32-38, 1991.

BASSOI, L. H. **Nitrato no solo e acúmulo de nitrogênio pelo milho (*Zea mays*.) fertirrigado.** (Tese de doutorado). Piracicaba - SP. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 1994, 103p.

BAUER, A.; BLACK, A. L. Organic carbon effects on available water capacity of three soil textural groups. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 1, p. 248-254. 1992.

BAZANINI, G.C; FREITAS, H. A. S.; BUZETTI, S.; FREITAS, J. G.; ARF, O.; SÁ, M. E. Resposta de cultivares de arroz irrigado por aspersão a aplicação de doses de nitrogênio e redutor de crescimento. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...**Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 598-600.

BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 235-241, 2003.

BORGES, G. O. Sustentabilidade agrícola e o sistema de plantio direto na palha. In: SEMINÁRIO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PALHA NA UFV, 1, 1997. Viçosa, MG. **Resumos...**Viçosa: UFV, 1997, p.7-17.

BRESEGHELLO, F. Semeadura do arroz. In: BRESEGHELLO, F. STONE, L. F. **Tecnologia para arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998, p. 55-58.

CAMPELO JÚNIOR, J. O. **Avaliação da capacidade de extração de água do solo pelo arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L.) sob diferentes doses de nitrogênio**. Piracicaba, 1985. 127 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queirós”

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDULA, C. R.; PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado – “Estação Experimental “Presidente Médici”. **Boletim Científico da**

Faculdade de Ciências Agrônômicas/Universidade Estadual Paulista, Botucatu, n.1, 1983. 95p.

CASTRO, O.M. de. Compactação do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A.L. (Coord.) **Plantio direto no Estado de São Paulo**. Piracicaba: FEALQ/ESALQ, 1989. p. 129-139.

CAZETTA, D. A.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; BUZETTI, S.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C.; SOUZA, D. V.; AGUIAR, E. C.; COSTA, F. J. Resposta do arroz de terras altas à aplicação de doses de nitrogênio após diferentes coberturas vegetais no sistema de plantio direto. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 604-607.

CERETTA, C. A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia/milho, no sistema plantio direto. In: FRIES, M. R & DALMOLIN, R. S. D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria, RS, UFSM/Departamento de Solos, p.47-75, 1997.

CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J., (Ed). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages, SC: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, p.111-20,1998.

COELHO, F. C. Efeito do tamanho de agregados e da microbiota sobre o nitrato, em um latossolo vermelho escuro. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia, MG. A inovação tecnológica e a competitividade no contexto dos mercados globalizados: **Resumos**. Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/ Universidade Federal de Uberlândia, 2000. 392 p.

COELHO, J. L. D. Ensaio e certificação das máquinas para semeadura. In: MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. p.551-570.

COELHO, J. L. D. **Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizados em sistemas conservacionistas de manejo de solo**. 1998. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

COELHO, M. B. **Efeito da água disponível no solo e de níveis de nitrogênio sobre duas variedades de arroz**. 1976. 42f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1977.

COSTA, A.; OKUYAMA, L. A. Adubação da cultura do arroz. In: **Cultura do arroz no Estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1980. p. 39-47. (Circular IAPAR, 20).

COSTA, A. M.; ESTEVES, J. A. F.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade do arroz de sequeiro em função da adubação nitrogenada em sistema de plantio direto. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 591-593.

CRUSCIOL, C. A. C. **Efeitos de lâminas de água e da adubação mineral em dois cultivares de arroz de sequeiro sob irrigação por aspersão**. Botucatu, 1998. 129 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1998.

CRUSCIOL, C. A. C.; FELTRAN, J. C.; MATEUS, G. P. Parcelamento de nitrogênio na cultura do arroz irrigado por inundação após quatro cultivos sucessivos. In: CONGRESSO DA

CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 585-590.

CRUSCIOL, C, A. C.; SORATTO, R. P.; ARF, O.; ANDREOTTI, M. Exportação de nutrientes e qualidade industrial de grãos do arroz de terras altas em função da disponibilidade hídrica e do espaçamento entre fileiras. **Agronomia**, v. 36, n. 1/2 , p. 17-22, 2002b.

CRUSCIOL, C, A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; MACHADO, J. R. Influência de lâminas de água e adubação mineral na nutrição e produtividade de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 647-654, 2003.

CRUSCIOL, C, A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; RODRIGUES, R. A. F.; MACHADO, J. R. Produtividade do arroz de terras altas em função de lâminas de água e da adubação mineral. **Científica**. Jaboticabal, v.31, n.2, p.189-200, 2003b.

DECHEN, S.C.F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, n.2, p. 133-37, 1981.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. Requisitos para a implantação e a manutenção do sistema plantio direto. In: CENTRO NACIONAL DE PESQUISA TRIGO/EMBRAPA. **Plantio direto no Brasil**. Passo fundo: Aldeia Norte. p. 19-27, 1993.

DINIZ, J. A.; BRANDÃO, S. S.; GIÚDICE, R. M.; SEDIYAMA, C. S.; LOUREIRO, B. T. Comportamento de variedades de arroz em terras altas, sob regime de irrigação por aspersão em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Experientiae**, Viçosa, v. 22, p. 235-262, 1976.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. Parte 1. Não paginado.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPSo, 1999. 412p.

FAGERIA, N. K. Identificação de distúrbios nutricionais do arroz e sua correção. Goiânia, CNPAF. 22 p. 1976. (**Boletim Técnico, 2**).

FAGERIA, N. K.; WILCOX, G. E. Influência de nitrogênio e fósforo no crescimento do arroz. **Lavoura Arrozeira**, n. 30, p. 24-28, 1977.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz**. Ed. Campos, Rio de Janeiro. 1984. 341 p.

FAGERIA, N. K.; SANT'ANA, E. P.; CASTRO, E. M.; MORAES, O. P. Resposta diferencial de genótipos de arroz de sequeiro à fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 261-267, 1995a.

FAGERIA, N. K.; SANT'ANA, E. P.; MORAIS, O. P. Resposta de genótipos de arroz de sequeiro favorecido à fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 9, p. 1155-1161, 1995b.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1997. 624p.

FAGERIA, N. K. Época de aplicação de nitrogênio em arroz de terras altas. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 6., Goiânia, 1998. **Resumos expandidos...**Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. p. 96-98.

FAGERIA, N. K. Nutrição mineral. In: VIEIRA, N. R. A.; SANTOS, A. B.; SANT'ANA, E. P. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 172-196p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FAO. Faostat Agriculture. Disponível em: < <http://apps.fao.org/> > acessado em 19 de março de 2002.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D.; BORDIN, L. Características agronômicas de arroz de terras altas sob plantio direto e adubação nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 447-54, 2004.

FARRET, I. S.; FERREIRA, O. O.; PEREIRA, C. F. S.; POZZERA, J.; SANTOS, P. P.; SCHLOSSER, J. F.; SILVEIRA, D. R. Comparação entre dois tipos de sulcadores na emergência de plantas de soja (*Glicine Max* (L.) Merrill), em semeadura direta, sobre resteva de azevém (*Lolium multiflorum*) pastejado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21. Santa Maria, 1992. **Anais...** Santa Maria: SBEA/UFSM/DER, 1992. p. 1600 – 1607.

FERRAZ JUNIOR., A. S. L.; SOUZA, S.R.; FERNANDES, M. S; ROSSIELLO, R. O.P. Eficiência do uso de nitrogênio para produção de grão e proteína por cultivares de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.4, p.435-442, 1997.

FEY, E.; SANTOS, S. R.; WEIRICH NETO, P. H.; PEREIRA, J. O. Rendimento de milho (*Zea mays* L.) utilizando 3 mecanismos sulcadores na semeadura, com 3 teores de água do solo, em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. (Editado em CD- ROM).

FORNASIERI FILHO, D. **Efeitos do N, P, K, S e Zn no desenvolvimento, produção e composição mineral do arroz (*Oryza sativa* L.), cv IAC 47 e IAC 435.** Piracicaba, 1982. 157 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1982.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz.** Jaboticabal: FUNEP, 1993. 221 p.

FRANCIS, D. D.; SCHEPERS, J. S. Nitrogen uptake efficiency in mayze production using irrigation water high in nitrate. **Fertilizer Research.**, 39: 239-44, 1994.

FREITAS, J. G. de.; AZZINI, L. E.; CANTARELLA, H.; BASTOS, C. R.; CASTRO, L. H. S. de.; GALLO, P. B.; FELÍCIO, J. C. Resposta da cultivar de arroz IAC 202 ao nitrogênio, espaçamentos e densidade de semeadura. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 594-597.

FRIES, M. R. Microbiologia e matéria orgânica: recuperação pelo sistema plantio direto. In: FRIES, M. R e DALMOLIN, R. S. D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto.** Santa Maria, RS, UFSM/Departamento de Solos, p.47-75, 1997.

GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. **Plantio Direto:** o caminho do futuro. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. 207p.

GILL, K.S.; GAJRI, P.R.; CHOUDHARY, J. Tillage, mulch and irrigation effectas on corn (*Zea mays* L.) in relation to evaporative demand. **Soil & Tillage Research**, v.39, p.213-227, 1996.

GOMES, A.S.; JUNIOR, F.V.; SILVEIRA, L.D.N. Rendimentos de milho e soja cultivados sob diferentes coberturas mortas, em solos de várzea. **A Granja**, n.588, p. 47-50, 1997.

GREGO, C. R. Sistemas de manejo do solo e da cobertura vegetal na cultura da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) semeada com dois mecanismos sulcadores. Botucatu, 2002. 139f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

GUIMARÃES, C. M.; YOKOYAMA, L. P.; BRESEGHELLO, F. **Sistemas de produção de arroz de terras altas**. In: REUNIÃO NACIONAL DA PESQUISA DO ARROZ, 6, 1999, Goiânia. Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 181-200

GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A.; YOKOYAMA, L. P. Adaptação do arroz de terras altas no sistema plantio direto: manejo da adubação nitrogenada. **Pesquisa em Foco**, n. 46, 2000.

GUIMARÃES, C. M.; OLIVEIRA, I. P. de.; YOKOYAMA, L. P. Sistemas alternativos de produção de arroz após pastagem. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração Lavoura-Pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003, p. 331-343.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F. Adubação nitrogenada do arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.210-214, 2003.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; SILVA, F.X. Espaçamento entre linhas para o arroz de terras altas com arquitetura de planta moderna. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 4 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 67)

HERRON, G. M. et al. Residual mineral N accumulation in soil and its utilization by irrigated corn (*Zea mays* L.). **Agronomy Journal**, Madison, v.63, p.322-27, 1971.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **IAC 202: arroz de sequeiro para o Estado de São Paulo**. Campinas, 1998. “não pag”.(folder).

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Arroz de sequeiro**. Londrina, [2001]. “não pag”. (folder).

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Resultados das avaliações do desempenho de semeadoras adubadoras de plantio direto na Costa Oeste Paranaense**. Ruy Casão Junior, Rubens Siqueira. – Londrina: IAPAR, 2003. 132P.

KHENGRE, S.T., SAVANT, N.K. Distribution pattern of inorganic nitrogen following anhydrous ammonia injection into a vertisol. **Soil Science**, Madison, v.41, p.1134-41, 1977.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. 264p.

KINJO, T., KIEHL, E.J., PRATT, P.F. Movimento de nitrato em colunas de terra de um latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2, p.106-09, 1978.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C.M.; FERRARO, L.A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agrícola**, v.57, p.97-104, 2000.

KLUTHCOUSKI, J.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; RAISSAC, M.M de.; MOREIRA, J.A.A. O arroz nos sistemas agrícolas do cerrado. In: REUNIÃO NACIONAL DA PESQUISA DO ARROZ, 3, 1987, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 1987. p. 282-330.

KUNZ, J. H.; CARLESSO, R.; DA ROSA, G. M.; GARCIA, C. G., PETRY, M. T.; MELO, G. L. Adubação nitrogenada do arroz de sequeiro irrigado por aspersão no RS. In: FERTBIO 2002. Rio de Janeiro, 2002. **Anais...** Rio de Janeiro: CPGA-CS/UFRJ, 2002. 1 CD-ROM.

LEAL, J.R.; ALVAHYDO, R. Transformação e deslocamento do íon amônio em solo da série itaguaí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.6, p.129-35, 1971.

LEVIEN, R. **Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Botucatu, 1999. 305f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

LIMA, L. M.; SOUZA, M. A. S.; SANTOS, P. G.; MELO, L.C. Desempenho de cultivares e linhagens de arroz de terras altas sob sistema de semeadura direta e convencional. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 141-143.

LUND, L.J.; ADRIANO, D.C.; PRATT, P.F. Nitrate concentration in deep soil cores as related to soil profile characteristics. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.3, n.1, p.78-82, 1974.

MACHADO, J. R. **Desenvolvimento da planta e produtividade de grãos de populações de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado por inundação em função de épocas de cultivo**. Botucatu, 1994. 237 F. Tese (Livre docência) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1994.

MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral e Adubação de Arroz de Sequeiro**. 3. ed. São Paulo: Ultrafertil, 1981. 40p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MARQUES, J.P. **Manejo da vegetação espontânea para a implantação da cultura do milho (*Zea mays* L.) em plantio direto e preparo convencional do solo**. 1999. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

MARY, B., FRESNEAU, C., MOREL, J. L.; MARIOTTI, A. C and N cycling during decomposition of root mucilage, roots and glucose in soil. **Soil Biology Biochemical.**, Oxford, v.25, p. 1005-14, 1993.

MAUAD, M. **Produção de plantas de arroz sob a ação de silício e nitrogênio**. Botucatu, 2001. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

MELLO, L.M.M., TAKAHASHI, C.M. Avaliação de mecanismos rompedores e rodas compactadoras de semeadoras-abubadoras para cultura do milho (*Zea mays* L.) em semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2000. (Editado em CD- ROM)

MENGEL, K.; KIRKBY, A.E. **Principles of plant nutrition**. International potash Institute Bern, Switzerland, cap.7, 1987.

MIELNICZUK, J. A sustentabilidade agrícola e o plantio direto. In: PEIXOTO, R.T.G.; AHRENS, D.C.; SAMAHA, M. J. **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa: Instituto Agronômico do Paraná, 1997. p.207-21.

MICHELON, J. C.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; FIORIN, T. T.; DE BONA, F. D.; MELO, G. L.; KUNZ, J. H. Influência da adubação nitrogenada no rendimento e componentes do rendimento do arroz de sequeiro irrigado por aspersão no RS. In: FERTBIO 2002. Rio de Janeiro, 2002. **Anais...** Rio de Janeiro: CPGA-CS/UFRJ, 2002. 1 CD-ROM.

MOODY, J.E.; SHEAR, G.M.; JONES JUNIOR, J.N. Growing corn without tillage. **Soil Science**. Soc. Am. Proc., Madison, v.6, p.516-17, 1961.

MOURA NETO, F.P. **Desempenho de cultivares de arroz de terras altas sob plantio direto e convencional**. Lavras, 2001. 92f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, 2001.

MURATA, Y.; MATSUSHIMA, S. Rice. In: EVANS, L. J. (Ed.) **Crop Physiology: some cases stories Cambridge**. Cambridge University Press, 1975. p. 73-99.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, n.1, p.95-102, 1983.

NARS, H.M.; SELLES, F. Seedlings emergence as influenced by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. **Soil & Tillage Research**. v.34, n.1995. p.61-76.

OLIVEIRA, C. M. M. **Desenvolvimento e produtividade da cultura do arroz irrigado por aspersão sob diferentes umidades do solo e doses de nitrogênio**. Botucatu, 1995. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1995.

ORTOLANI, A.F., BANZATO, O.A., BORTOLI, N.M. Influência da profundidade de semeadura e da compactação do solo, na emergência e desenvolvimento do sorgo granífero

(*Sorghum bicolor* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, São Paulo. **Anais...** Botucatu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. p.21, 1986.

PAULETTI, V.; COSTA, L.C. Época de aplicação de nitrogênio no milho cultivado em sucessão à aveia preta no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.4, p.599-603, 2000.

PEREIRA, J. F.; CORDERO VAZQUEZ, A. Sintomas de lãs deficiências de algunos minerales em plantas de arroz cultivados em solução nutritiva. San José, Ministerio de la Agricultura. Y Ganadería da Costa Rica. 16p, 1964. (**Boletín Técnico, 48**).

PINHEIRO, B. da S.; STEINMETZ, S.; STONE, L. F.; GUIMARÃES, E. P. Tipo de planta, regime hídrico e produtividade do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. V.20, n.1, p.87-95, 1985.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 284p.

RAIJ, B. van.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. Campinas, Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1996. 285 p. (**Boletim técnico, 100**).

RIGHES, A. A.; CENTENO, A. S.; DALLMEYER, A. U.; SILVEIRA, D. R.; FARRET, I. S.; POZERRA, J.; FERREIRA, O. O.; CASTRO, P. E.; SILVEIRA, T. C. da. Semeadura direta: Comparação entre diferentes mecanismos sulcadores. São Paulo: NSI/MA-Cintec-IPT-CEBRAE, 1990. (Monografia 4).

ROUVERSON, P. S.; CORÁ, J. E.; CARVALHO FILHO, A.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A. Efeito de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais em profundidade de semeadura sobre o desenvolvimento do milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.396-404, 2004.

SÁ, J. C. N. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: CENTRO NACIONAL DE PESQUISA TRIGO/EMBRAPA, FUNDAÇÃO CENTRO DE EXPERIMENTAÇÃO E PESQUISA/FECOTRIGO, FUNDAÇÃO ABC. **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo: Aldeia Norte, p.37-60, 1993 a.

SÁ, J.C.M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto** Castro: Fundação ABC. 1993 b. 96p.

SANINT, L.R. Evolución tecnológica, perspectivas futuras y situación mundial del arroz. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, 1997, Camburiú. **Palestras...** Camburiú: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 1997. p. 7-35.

SANTOS, A. B., PRABHU, A. S., AQUINO, A. S., AQUINO, A. R. L., CARVALHO, J. R. P. Épocas, modos de aplicação e níveis de nitrogênio sobre brusone e produção de arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 7, p. 697-707, 1986.

SATO, R. H. **Desempenho de semeadoras-adubadoras no plantio direto das culturas de milho e do feijoeiro**. Lavras, 2002. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, 2002.

SCARSBROOK, C.E. Nitrogen availability. In: BARTHOLOMEW, W.F. & CLARK, F.E. (Eds). **Soil Nitrogen**, Madison: American Society Agronomy, 1965. p.481-502.

SCHLOSSER, J.F., BERTOL, O.J., BERTOL, I., LAVORANTI, O.J. Desempenho de três mecanismos sulcadores de semeadura na presença de diferentes culturas destinadas à cobertura de inverno. **Engenharia Agrícola**, v.19, n.1, p.64-70, 1999.

SEGUY, L.; BOUZINAC, S. Arroz de sequeiro na fazenda progresso: 4550 kg/ha. Piracicaba : Potafós, 1992. 3p. (**Informações Agronômicas**, 58).

SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; TRENTINI, A. Os sistemas de culturas para a região meio norte do mato grosso: recomendações técnicas, 1993, CIRAD-CA-Cooperativa – Rhodia.

SILVA, J. G.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; HAIDAR, H.; OLIVEIRA, I. P. de.; FERREIRA, E. Desempenho de semeadoras-adubadoras no estabelecimento da cultura do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. , n. 1, 1998.

SILVA, J. G., KLUTHCOUSKI, J., SILVEIRA, P. M. Desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v.57, n.1, 2000.

SILVA, P. R. A. **Mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora na cultura do milho (*Zea mays* L.) no sistema de plantio direto**. Botucatu, 2003. 84f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

SOARES, P. C.; MORAIS, O. P. Efeitos de diferentes níveis de nitrogênio sobre variedades tradicional e melhorada de arroz irrigado na zona da mata de Minas Gerais. In: **Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais**. Projeto arroz; relatório 78/80. Belo Horizonte, 1983. p.243-251.

SOUSA, R. O.; GOMES, A. da S.; MARTINS, J. F. da S.; PENÃ, Y. A. Densidade de semeadura e espaçamento entre linhas para arroz irrigado no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.1, n.2, p.69-74, 1995.

SOUSA, H. U.; PEREIRA, J. A. Níveis de nitrogênio e potássio em arroz de terras altas no cerrado do meio norte do Brasil. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 581-584.

STONE, L. F.; OLIVEIRA, A. B.; STEINMETZ, S. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro ao nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 14, p. 295-301, 1979.

STONE, L. F.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Deficiência hídrica, vermiculita e cultivares. II. Efeito na utilização do nitrogênio pelo arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 11, p. 1403-1416, 1984.

STONE, L. F.; PEREIRA, A. L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar na produtividade e nutrição do arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 11, p. 1701-1713, 1994.

STONE, L. F.; SILVA, J. G. Resposta do arroz de sequeiro à profundidade de aração, adubação nitrogenada e condições hídricas do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 6, p. 891-897, 1998.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P. M. da.; MOREIRA, J. A. A.; YOKOYAMA, L. P. Adubação nitrogenada em arroz sob irrigação suplementar por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.6, p.927-932, 1999.

SUHET, A. R.; PERES, J. R. R.; VARGAS, M. A. T. Nitrogênio. In: GOEDERT, W. J. **Solos do Cerrados: Tecnologia e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel; 1987. cap. 6, p.167-202.

TAKAHASHI, C. M.; MELLO, L. M. M.; YANO, E. Distribuição longitudinal de sementes de milho (*Zea mays* L.) em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. CD-ROM.

TESSIER, S. et al. No till seeders effects on seed zone properties and wheat emergence. **Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)**, v.34, p.729-733, 1991.

THOMAS, G. W. Effects of electrolyte imbibition upon cation exchange behavior of soils. **Soil Science**. Society American Proceeding, v.24, p.329-32, 1960.

THOMAS, G. W., WELLS, K. L., MURDOK, L. Fertilization and liming. In: PHILLIPS, R. E., THOMAS, C. W., BLEVINS, L., (Ed.) **No-tillage research reports and reviews**. Univ. Of Kentucky, 1981. p.43-54.

TORMENA, C.A. Resíduos culturais: efeitos no controle da erosão e alterações em propriedades físicas do solo. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais...** Ponta Grossa: Fundação ABC, 1996. p.37-51.

TORMENA, C. A., ROLOFF, G. Dinâmica de algumas propriedades físicas em plantio direto. II - Porosidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2, 1983. **Resumos...** Goiânia: SBSC, v.3, p.135-6, 1983. 3v.

TRIPLETT, G.B. Crop management practices for surface tillage systems. In SPRAGUE, M.A.; TRIPLETT, G.B. (Ed.) **No tillage and surface tillage agriculture: the tillage revolution**. New York: John Wiley, 1986. p 149-82.

VIEIRA, M. J. Propriedades físicas do solo. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, Circular 23, p. 19-32, 1981.

YOKOYAMA, L.P. Aspectos conjunturais e custo de produção do arroz. In: BRESEGHELLO, F. STONE, L. F. **Tecnologia para arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998, p. 9-14.

YOKOYAMA, L.P. O arroz no Brasil de 1985/86 a 1999/00: aspectos conjunturais. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 96-99.

YOSHIDA, S.; PARAÓ, F. T. Climatic influence on yield and components of lowland rice in the tropics. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **Climate and rice**. Los Baños, 1976. p.471-491.