

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**SISTEMAS DE ROTAÇÃO ARROZ E SOJA EM SUCESSÃO A PLANTAS DE
COBERTURA EM PLANOSSOLO HAPLICO**

RODRIGO SCHOENFELD
(Dissertação de Mestrado)

Porto Alegre (RS) Brasil
Agosto de 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**SISTEMAS DE ROTAÇÃO ARROZ E SOJA EM SUCESSÃO A PLANTAS DE
COBERTURA EM PLANOSSOLO HAPLICO**

RODRIGO SCHOENFELD
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Ibanor Anghinoni

Porto Alegre (RS) Brasil
Agosto de 2010

Dedico:

À minha esposa Antonieli, pelo apoio compreensão e amor.

À minha filha Carolina, razão da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Ibanor Anghinoni, pela orientação, companheirismo, confiança, paciência e dedicação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

Aos professores e colegas do Programa Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela amizade e pelos conhecimentos compartilhados.

Ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), por ter possibilitado a realização do curso de Mestrado, disponibilizando tempo e a área experimental.

Aos colegas Engenheiros Agrônomos do IRGA: Valmir Gaedke Menezes, Diretor Técnico, Athos Dias de Castro Gadea - Chefe da Divisão de Pesquisa, Jaime Vargas Oliveira - Chefe da Seção de Agronomia e aos demais colegas da Equipe de Agronomia, pelo apoio nas diversas fases do trabalho.

Ao colega e Professor Paulo Regis Ferreira da Silva pelo apoio e ensinamentos.

Ao CNPq, edital MCT/CNPQ 15/2007, pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

SISTEMAS DE ROTAÇÃO ARROZ E SOJA EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA EM PLANOSSOLO HAPLICO¹

Autor: Rodrigo Schoenfeld

Orientador: Ibanor Anghinoni

RESUMO

Nos últimos anos, a lavoura de arroz irrigado no estado do RS aumentou a produtividade em mais de 2,0 Mg ha⁻¹. Este avanço se deve principalmente a alterações no manejo do solo, da cultura e da adubação e à utilização de cultivares modernas, com potencial produtivo cada vez mais alto. Entretanto, deve-se continuar a busca por práticas capazes de aumentar a produtividade do arroz irrigado e, principalmente, a sua sustentabilidade ao longo do tempo. Sistemas de rotação e sucessão de culturas podem ser alternativas viáveis. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônomo de sistemas de rotação e sucessão de culturas com o arroz irrigado e soja e desenvolver práticas de manejo de culturas capazes de aumentar a sustentabilidade das áreas de várzea utilizadas para a produção de arroz irrigado no estado do RS. Foi, então, conduzido experimento a campo nas safras 2007/08 e 2008/09 na Estação Experimental do Arroz do Instituto Rio Grandense do Arroz, no município de Cachoeirinha-RS. Os tratamentos constaram de três coberturas de solo no inverno, pousio, azevém e azevém + cornichão, e arroz irrigado e soja, no verão, em dois níveis de adubação, em delineamento em blocos casualizados, com parcelas subdivididas com três repetições. Avaliaram-se os seguintes sistemas de rotação e sucessão de culturas: arroz/coberturas de solo/arroz, arroz/coberturas de solo/soja, soja/coberturas de solo/arroz, soja/coberturas de solo/soja. O rendimento do arroz em rotação com soja foi beneficiado em relação à sua sucessão ao próprio arroz. As coberturas de solo no inverno, não constituíram problema para o estabelecimento da cultura do arroz, desde que bem manejadas e a soja é uma alternativa viável para as áreas de várzea, podendo alcançar elevados rendimentos.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, *Glycine max* e azevém

¹Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil.(54p) – Agosto,2010. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq.

RICE AND SOYBEAN ROTATION SYSTEMS IN SUCCESSION TO COVER CROPS IN NA AQUALF SOIL¹

Author: Rodrigo Schoenfeld
Adviser: Ibanor Anghinoni

ABSTRACT

In the last few years, flooded rice yields in the state of Rio Grande do Sul – Brazil improved more than 2,0 Mg ha⁻¹. This improvement is mainly due modifications in the soil, culture and nutrition management and the utilization of modern rice cultivars with even more yield potential. However, it is necessary to continue searching for better management practices to enable increase flooded rice productivity, and farming sustainability along time. Culture rotation and succession systems may be valuable alternatives. The objectives of this research were to evaluate the agronomic performance of rotation and succession systems with rice and soybean and to develop management practices to increase the sustainability of lowland areas used for flooded rice cultivation in the State. A field experiment was conducted in 2007/08 and 2008/09 harvest years at Rice Experimental Station of Rice Rio-Grandense Institute (IRGA), in Cachoeirinha - RS. Treatments were three winter cover crops: fallow, ryegrass and ryegrass + birdsfoot trefoil, and flooded rice and soybean, in the summer, with two fertilization levels, arranged in a split-plot design. The follow crop systems were evaluated: rice/cover crops/rice, rice/cover crops/soybean, soybean/cover crops/rice, and soybean/cover crops/soybean. Rice yield in rotation with soybean was higher than rice yield after rice cultivation; well managed winter cover crops were not problem for rice establishment; and soybean showed as a good alternative for low land areas, where can reach high yields.

Key-words: Oryza sativa, Glycine max, ryegrass

¹Master of Science Dissertation in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brazil. (54p.) – August, 2010. Research supported by CNPq.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 ESTADO DE CONHECIMENTO ATUAL	4
2.1 A CULTURA DO ARROZ NO RS.....	4
2.2 OS SOLOS DE VÁRZEA NO RS.....	5
2.3 A CULTURA DO ARROZ IRRIGADO E A SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO.....	7
2.4 SISTEMAS DE SUCESSÃO DE CULTURAS E COBERTURAS DE SOLO NO INVERNO.....	8
2.5 SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS COM O ARROZ IRRIGADO.....	11
2.6 FATORES LIMITANTES AO USO DE SISTEMAS DE ROTAÇÃO E SUCESSÃO DE CULTURAS EM ÁREAS DE VÁRZEA.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 LOCAL DE EXECUÇÃO.....	17
3.2 ESCOLHA E PREPARO INICIAL DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	17
3.3 INSTALAÇÃO DAS CULTURAS DE COBERTURA NO INVERNO DE 2007 E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	18
3.4 INSTALAÇÃO DAS CULTURAS DE VERÃO NA SAFRA 2007/08 E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	19
3.5 INSTALAÇÃO DAS CULTURAS DE COBERTURA NO INVERNO DE 2008 E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	21
3.6 INSTALAÇÃO DAS CULTURAS DE VERÃO, SAFRA 2008/09 E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	22
3.7 PARÂMETROS AVALIADOS.....	24
3.7.1 No solo da área experimental	24
3.7.2 Nas coberturas de solo no inverno	24
3.7.3 Na cultura do arroz irrigado	24
3.7.3.1 Densidade inicial de plantas.....	24
3.7.3.2 Rendimento de grãos.....	24
3.7.3.3 Componentes do rendimento.....	25
3.7.3.4 Esterilidade das espiguetas.....	25
3.7.4 Na cultura da soja	25
3.7.4.1 Estatura de plantas.....	25
3.7.4.2 Inserção de legumes.....	25
3.7.4.3 Rendimento de grãos.....	25
3.7.4.4 Componentes do rendimento.....	26
3.7.5 Análise estatística	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 SAFRA 2007/08.....	28

4.1.1 Coberturas de Inverno antecedendo o arroz Irrigado	28
4.1.2 Coberturas de inverno antecedendo a soja	31
4.2 SAFRA 2008/09	33
4.2.1 Sucessão arroz/coberturas de inverno/arroz	33
4.2.2 Rotação/sucessão soja/coberturas de inverno/arroz	40
4.2.3 Rotação/sucessão arroz/coberturas de inverno/soja	42
4.2.4 Sucessão soja/coberturas de inverno/soja	45
4.3 ROTAÇÃO E SUCESSÃO DE CULTURAS E O RENDIMENTO DE ARROZ IRRIGADO E DE SOJA	47
5 CONCLUSÕES	49
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
APÊNDICE 1	57
APÊNDICE 2	58

LISTA DE FIGURAS

Figura1: Distribuição dos tratamentos na área experimental: a) coberturas de solo no inverno (safra 2007 e 2008), b) arroz e soja primeiro cultivo (safra 2007/08) e c) arroz e soja segundo cultivo (safra 2008/09). Cachoeirinha-RS..... 27

Figura2: Evolução dos teores de ferro na solução do solo (Planossolo) submetido ao alagamento..... 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de cobertura no inverno e rendimento de grãos de arroz irrigado em sucessão em função de níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2007/08.....	29
Tabela 2: Estande de plantas, esterilidade das espiguetas e componentes do rendimento de arroz irrigado em função de plantas de cobertura de inverno e níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2007/08.....	31
Tabela 3: Rendimento de massa seca da parte aérea das espécies de cobertura de inverno e rendimento de soja em sucessão em função de níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2007/08.....	32
Tabela 4: Rendimento de massa seca da parte aérea de espécies de cobertura de inverno e rendimento de grãos de arroz irrigado cultivado em sucessão no segundo ciclo. Cachoeirinha, 2008/09.....	33
Tabela 5: Teores de nutrientes na parte aérea de plantas de arroz irrigado, com e sem sintomas de toxidez de ferro em dois níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2008.....	37
Tabela 6: Estande inicial de plantas, esterilidade de espiguetas e componentes do rendimento de arroz irrigado no segundo ciclo de cultivo em função das espécies de cobertura de solo no inverno e de níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2008/09.....	39
Tabela 7: Rendimento de massa seca da parte aérea de espécies de cobertura no inverno e de arroz irrigado, após um ciclo de espécies de cobertura/soja em função de dois níveis de adubação. Cachoeirinha, 2008/09.....	41
Tabela 8: Estande inicial de plantas, esterilidade das espiguetas e componentes do rendimento de arroz irrigado cultivado em rotação com soja e sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno em função de níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2008/09.....	42
Tabela 9: Rendimento de massa seca da parte aérea de espécies de cobertura no inverno e de soja, após um ciclo de espécies de cobertura/arroz em função de dois níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2008/09.....	43
Tabela 10: Estatura de plantas, altura de inserção de legumes e número de grãos por legume de plantas de soja cultivada em rotação com arroz em função	

de níveis de adubação e espécies de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2008/09.....	44
Tabela 11: Rendimento de massa seca de espécies de cobertura no inverno e de soja, após um ciclo de espécies de cobertura/soja em função de dois níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2008/09	46
Tabela 12: Estatura de plantas, inserção de legumes e número de grãos por legume de plantas de soja cultivada em sucessão com soja em função de níveis de adubação e espécies de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2008/09.....	46
Tabela 13: Rendimento de massa seca das espécies de cobertura de solo no inverno e de grãos de arroz irrigado e de soja cultivados no verão em rotação ou de maneira contínua, em função de dois níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2008/09.....	48

1 INTRODUÇÃO

O arroz irrigado (*Oryza sativa L.*) é uma cultura que apresenta grande importância econômica e social para o estado do Rio Grande do Sul. Conforme dados do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA, 2010), na safra 2008/09 foram cultivados 1.085 milhões de hectares e a produção foi 6,8 milhões de toneladas, com média de 6,4 Mg ha⁻¹ de produtividade. O estado do Rio Grande do Sul é responsável por 50% da produção do Mercosul e 62% da produção do Brasil (CONAB, 2010). São 18,5 mil produtores, gerando 37 mil empregos diretos e 232 mil empregos indiretos na cadeia produtiva desse cereal. As indústrias beneficiadoras de grãos chegam ao número de 261 e, no Estado são 133 municípios produtores.

No Estado, o arroz irrigado é cultivado na metade sul, devido a disponibilidade hídrica e ao relevo relativamente plano. A área orizícola é dividida em seis Regiões Arrozeiras, conforme definido pelo IRGA, ao agrupá-las por suas características semelhantes, assim denominadas: Fronteira Oeste, Campanha, Depressão Central, Planície Costeira Interna, Planície Costeira Externa e Região Sul.

O sistema de produção de arroz irrigado mais utilizado no Rio Grande do Sul é o arroz-pousio, no qual o arroz é cultivado no verão e a resteva é utilizada para pecuária de corte e, em poucos casos, com pastagens cultivadas no inverno. Os solos de várzea no estado do RS atingem 5,4 milhões de hectares. Deste total apenas, um milhão de hectares são cultivados anualmente, devido à limitação hídrica e da falta de alternativas de rotação e sucessão de culturas.

Nos últimos anos, o Estado vem obtendo avanços crescentes em produtividade, cujo incremento foi de 2,0 Mg ha⁻¹ nos últimos cinco anos. Esses avanços se devem a esforços dos produtores, às práticas de manejo, ao

melhoramento genético, que disponibilizou cultivares com maior potencial produtivo, à melhoria na nutrição das plantas e a programas de transferência tecnológica que englobam essas práticas, destacando-se o Projeto 10 do IRGA (MENEZES *et al.*, 2004).

Esse aumento de produtividade tem provocado uma intensificação no uso de áreas cultivadas com arroz irrigado, principalmente em regiões como a Depressão Central do estado do RS, onde se cultiva arroz há mais de 100 anos. À medida que se avança em produtividade, algumas diferenças regionais que antes passavam despercebidas, passam a ter papel importante. Um exemplo disso é o que ocorre quando se comparam as produtividades da região da Fronteira Oeste, com médias de aproximadamente 8,4 Mg ha⁻¹, com muitos produtores obtendo rendimentos maiores que 10,0 Mg ha⁻¹, a outras regiões, como a Planície Costeira Externa, cuja produtividade é em torno de 6,7 Mg ha⁻¹. Essas diferenças ocorrem devido a diversos fatores, dentre eles, culturais, econômicos, fertilidade natural de solo e condições climáticas, principalmente radiação solar e temperatura.

Entre as alternativas capazes de aumentar o potencial produtivo das áreas de várzea cultivadas intensivamente com arroz irrigado, como a Depressão Central e as Planícies Costeiras, destacam-se a rotação e a sucessão de culturas. As maiores dificuldades para adaptação de sistemas diversificados de produção agrícola em áreas de várzea são a dificuldade de drenagem e a inexistência de espécies tolerantes as condições de excesso hídrico. Entre as alternativas viáveis para a rotação de culturas, a soja (*Glycine max*) apresenta características interessantes para esse sistema de produção; entre elas, destaca-se o aporte de nitrogênio ao sistema através da fixação biológica, o que estaria colaborando para a melhoria da fertilidade desses solos, além de ser uma alternativa para diversificação e aumento de renda do produtor, contribuindo para a sustentabilidade do arroz irrigado no estado do RS. A rotação de cultivos de verão arroz irrigado e soja, em áreas de várzea aumenta o rendimento de grãos de arroz irrigado.

O conhecimento do desempenho de espécies de cobertura e de sistemas de rotação de culturas, principalmente das práticas de manejo, é de fundamental importância para o aumento da produção na propriedade e, principalmente, da sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado. A

consorciação de gramíneas e leguminosas é uma alternativa viável capaz de melhorar as condições de fertilidade das áreas de várzea e de reduzir a aplicação de adubos nitrogenados nas culturas de verão. Todavia, a adoção dessas práticas deve representar uma resposta econômica positiva para o produtor. Dessa forma, o objetivo da presente pesquisa foi de avaliar o desempenho agrônômico de sistemas de rotação e sucessão de culturas com o arroz irrigado e a soja e indicar práticas de manejo de culturas capazes de aumentar a sustentabilidade das áreas de várzea utilizadas no sistema de produção de arroz irrigado no estado do RS.

2 ESTADO DE CONHECIMENTO ATUAL

2.1 A cultura do arroz no RS

O arroz é uma das principais fontes de alimento para a população no mundo, pois mais da metade dela tem esse cereal como base alimentar. A área total cultivada com arroz no mundo é em torno de 150 milhões de hectares (AZAMBUJA *et al.*, 2004). No Brasil, a área cultivada na safra 2009/10 foi de 2.76 milhões de hectares, sendo o estado do RS o maior produtor nacional e responsável por cerca de 62% da produção (CONAB, 2010).

Anualmente são cultivados no RS aproximadamente um milhão de hectares com arroz irrigado (IRGA, 2010), de um total de 5,4 milhões de hectares de várzeas (PINTO *et al.*, 2004). Considerando-se o total de áreas de várzeas em relação ao que é utilizada em cada ano, há grande ociosidade em seu uso. Essa ociosidade se deve à limitação de água para irrigação e ao sistema de cultivo utilizado (arroz-pousio), associado à pecuária extensiva. Não se tem conseguido a adaptação de novas espécies comerciais de verão, devido às dificuldades de manejo do solo, principalmente por excesso hídrico.

Em sistemas de produção cada vez mais intensivos, o desgaste dessas áreas e a sustentabilidade do sistema são questões relevantes. Além disso, algumas regiões arrozeiras do Estado, como as Planícies Costeiras e a região Sul, em função das características de solo e clima, têm seus potenciais produtivos limitados, quando comparados a outras regiões como a Campanha e a Fronteira Oeste. A introdução de espécies hibernais pode ser uma alternativa para essas áreas, pois, além de melhorarem a fertilidade natural desses solos, pelo aporte de carbono e de nutrientes ao sistema, podem ser utilizadas para diversificação da produção agrícola e possibilitar a utilização dessas áreas com uma pecuária mais produtiva.

A produtividade média das lavouras de arroz irrigado no estado do RS aumentou em duas toneladas por hectare, no período de 2004 a 2008. Os principais motivos desse aumento são o uso de cultivares modernas e, especialmente, a melhoria das práticas de manejo do solo, da cultura e da irrigação (MENEZES *et al.*, 2004). Outros fatores que podem contribuir para se obter produtividades ainda maiores são a utilização de coberturas de solo no inverno e rotação de espécies cultivadas em terras altas, como a soja, no verão, que contribui para o aumento da produtividade e da sustentabilidade dessas áreas. Atualmente, há poucas pesquisas sendo desenvolvidas nessas áreas. O uso de sistemas de rotação de culturas de grãos e de coberturas de solo no inverno afeta positivamente as condições do solo e aumenta o rendimento das culturas subsequentes. Dentre esses efeitos, pode-se destacar a melhor utilização do solo e dos nutrientes, o aumento dos teores de matéria orgânica, o controle mais eficiente de plantas daninhas e de insetos-pragas e a maior estabilidade econômica para o produtor. Para isso, torna-se fundamental a alternância de uso de culturas com diferentes sistemas radiculares.

2.2 Os solos de várzea no RS

A maioria dos solos de várzea no RS tem como característica a sua formação em condição de drenagem deficiente, o que confere a eles características específicas dos pontos de vista químico e físico. Além disso, o seu manejo é importante e tem particularidades específicas, se comparado a outros solos do Estado.

A origem dos solos de várzea é de sedimentos fluvio-lacustres, lagunares e marinhos das Planícies Costeiras e de sedimentos oriundos de rochas sedimentares, ígneas e metamórficas nas outras regiões orizícolas. Esses diferentes materiais de origem geram grande diversidade de classes de solos (PINTO *et al.*, 2004).

A classe de solos predominante no RS é a dos Planossolos, com cerca de 60% da área cultivada com arroz irrigado. Ocorrem também Chernossolos, Gleissolos e Neossolos. Esses solos passam boa parte do ano com drenagem deficiente, principalmente no período de inverno, e cerca de 120 dias inundados com o cultivo do arroz irrigado. Do ponto de vista químico, ocorrem

ciclos de oxidação-redução, que influenciam principalmente o pH, a disponibilidade de nutrientes, como fósforo, cálcio e magnésio, redução dos óxidos de ferro e manganês e elevação da condutividade elétrica (SOUZA *et al.*, 2010). Do ponto de vista químico, em sua condição natural são solos geralmente pobres em nutrientes, sendo deficientes principalmente em cálcio e magnésio, que são perdidos principalmente por lixiviação, nos seus processos de gênese.

A classe dos Gleissolos é encontrada nas várzeas de rios e de planícies lagunares, geralmente associada a dos Planossolos. Suas principais características são a presença de um horizonte A escuro, argila de atividade alta e altos valores de saturação por bases (eutróficos). Os Gleissolos Háplicos têm como principal unidade representativa a unidade Banhado e ocorrem na região oeste do Estado, nas várzeas das bacias do rio Uruguai, e na região Sul, nas várzeas dos rios Piraí e Negro. Os Gleissolos ocorrem nas partes mais baixas das várzeas e nas depressões junto ao leito dos rios, aparecendo, na toposequência, logo abaixo dos Planossolos. Eles muitas vezes apresentam o horizonte superficial descaracterizado pelo uso agrícola, principalmente com perda de argila. A fertilidade natural dos Gleissolos é maior do que a dos Planossolos, devido aos maiores teores de argila e de matéria orgânica. Além disso, em função da posição que ocupam nos relevos, recebem muitos sedimentos provenientes dos rios com as enchentes e, também, de regiões mais elevadas (STRECK *et al.*, 2008). Do ponto de vista de uso agrícola, esses solos são utilizados para a cultura do arroz irrigado e, se bem drenados, podem ser utilizados por culturas de terras altas como o milho, a soja, e também as pastagens.

Os Chernossolos têm como característica, a coloração escura. Do ponto de vista químico, são solos geralmente férteis com altos valores de saturação por bases e alta CTC em todo o perfil (PINTO *et al.*, 2004). Do ponto de vista de uso agrícola, os Chernossolos utilizados com a cultura do arroz não apresentam grandes limitações. Os maiores problemas dizem respeito à mecanização: se secos, são duros e se molhados, são plásticos e pegajosos (STRECK *et al.*, 2008).

Os Neossolos apresentam uma aptidão muito restrita para o uso com arroz irrigado, pois são muito arenosos ou são muito pedregosos. Ocupam

cerca de 12% da área de solos de várzea no RS. Os Neossolos, devido a pouca profundidade, apresentam alguns problemas para a mecanização, constituem ambientes bastante frágeis e com riscos de degradação; sendo necessários cuidados específicos em seu manejo.

Os Neossolos arenosos quartzarênicos ocorrem em duas regiões distintas: nos areais nos municípios de Cacequi, Alegrete, Manuel Viana e Rosário do Sul, na Fronteira Oeste, e na faixa litorânea da Planície Costeira Externa. Quando cultivados no sistema convencional, o uso intensivo determina perdas de matéria orgânica e redução do potencial produtivo. Além de arenosos, têm baixa CTC e fertilidade natural. Estão localizados em relevo bastante plano, geralmente cultivados com arroz irrigado e, em alguns casos, usados com pecuária em sistemas de integração lavoura-pecuária (STRECK *et al.*, 2008). Outra característica nessas áreas é a altura do lençol freático. Devido ao nível das lagoas, é comum em várias épocas do ano o afloramento do lençol freático, sendo a drenagem uma das principais práticas de manejo para viabilizar a cultura do arroz.

Outros Neossolos que também são utilizados para cultivo do arroz irrigado, com área bastante expressiva em municípios da Fronteira Oeste como Uruguaiana, são da unidade de mapeamento Pedregal, e se caracterizam por serem pouco profundos, com afloramentos de rochas e dificuldades para mecanização, porém com fertilidade alta, apresentando produtividades bastante elevadas (STRECK *et al.*, 2008).

2.3 A cultura do arroz irrigado e a sustentabilidade do sistema de produção

O uso intensivo das áreas de várzea e o alto nível de produtividade alcançado com a cultura do arroz irrigado nos últimos anos, associados ao mercado altamente competitivo, fazem com que os produtores busquem, cada vez mais, alternativas capazes de aumentar o potencial produtivo de suas áreas e reduzir os custos de produção e os riscos de impacto ao ambiente.

As práticas de manejo para alta produtividade, associadas a programas de pesquisa e de transferência de tecnologia ao setor produtivo, têm sido responsáveis por um aumento significativo na produtividade de grãos

(MENEZES *et al.*, 2004; IRGA, 2010). Além do manejo, o melhoramento genético tem sido indispensável para obtenção de alta produtividade e para uso mais eficiente dos insumos agrícolas (KOUTROUBAS e NTANOS, 2003).

A cultura do arroz apresenta alto potencial produtivo desde que manejada adequadamente. Dentre as diversas práticas, o manejo da fertilidade do solo tem papel fundamental na sustentabilidade desses sistemas, uma vez que eleva a eficiência e o aproveitamento de adubos e de corretivos de solo. Outros cuidados devem ser tomados em relação ao controle de plantas daninhas, pragas e doenças, que também contribuem para a redução na produtividade das lavouras de arroz no sul do Brasil (VENTURA *et al.*, 1984 *apud* SILVEIRA *et al.*, 1998).

No estado do Rio Grande do Sul, os solos de várzea são basicamente explorados com o cultivo do arroz irrigado associado à pecuária extensiva. A adoção de sistemas de rotação e sucessão de culturas, no entanto, poderia modificar esse sistema de produção, permitindo o uso mais intensivo da terra. Entretanto, existem dificuldades de adaptação de espécies e de cultivares de cobertura em áreas de várzea no inverno, devido às suas características de hidromorfismo dos seus solos, que associadas ao clima, pela ocorrência de precipitações elevadas durante o inverno e início da primavera, podem causar estresse por excesso hídrico em espécies não adaptadas (MENEZES *et al.*, 1994).

2.4 Sistemas de sucessão de culturas para cobertura de solo no inverno

A utilização de espécies de coberturas de solo no inverno tem por finalidade o aporte de resíduos ao sistema e a consequente reciclagem de nutrientes, para melhorias da fertilidade do solo. Entre as mudanças que ocorrem, destaca-se o aumento do estoque de carbono (C) e, conseqüentemente, de nitrogênio (N), aumentando, com isso, o potencial produtivo de solos com baixa fertilidade (BAYER *et al.*, 2006). É importante que sejam conduzidos ensaios de média e longa duração para avaliar os efeitos da incorporação de resíduos e, principalmente, para desenvolver práticas de manejo capazes de aumentar a produtividade e a sustentabilidade da cultura

do arroz irrigado, cultivado em sucessão à cultura de cobertura (WASSMAN *et al.*, 1995).

As práticas conservacionistas de manejo do solo têm como requisitos a adição contínua de resíduos e o mínimo revolvimento do solo. A presença de plantas e seus resíduos, a atividade radicular, os fatores relacionados à agregação da matéria orgânica e todas essas inter-relações aumentam a complexidade do sistema solo-planta e surgem diversas propriedades que emergem do solo; dentre elas o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), que influi na dinâmica de nutrientes no solo (ANGHINONI, 2007).

As coberturas de solo no inverno, principalmente de gramíneas, podem produzir elevado rendimento de massa seca e alta absorção de nutrientes, principalmente de nitrogênio (N) e de potássio (K). A cultura do arroz irrigado apresenta elevada demanda por K, porém a quantidade exportada no grão é muito pequena. Após a colheita dos grãos de arroz, esse nutriente fica na palha, pois não faz parte de nenhum constituinte da planta, e é facilmente perdido por lixiviação e escoamento superficial. Por isso, a importância de se ter plantas cultivadas em sucessão ao arroz, capazes de ciclar nutrientes, evitando que sejam perdidos. Com a adoção de sistema sem intervalo de pousio, o K será absorvido e reciclado permanecendo a maior parte no tecido vegetal e evitando que seja perdido (MIELNICZUK, 2005).

Na escolha das espécies que serão utilizadas como cobertura de solo no inverno, a sua relação C/N é um fator importante a ser levado em conta, pois influencia o seu período de decomposição no solo, a imobilização e a quantidade de N mineral disponível para as plantas (VICTORIA *et al.*, 1992). Trabalhos conduzidos na cultura do milho demonstram que resíduos de gramíneas com alta relação C/N demoram mais tempo para se decompor no solo, resultando em menor disponibilidade de N para o desenvolvimento e o rendimento dessa cultura, quando comparado ao seu cultivo em sucessão a espécies leguminosas (PAVINATO *et al.*, 1994; DA ROS e AITA, 1996). A adição de resíduos com alta relação C/N resulta em maior imobilização inicial do N da palha pela microbiota do solo, pois serve como fonte de energia, reduzindo a disponibilidade desse nutriente para a cultura em sucessão (DA ROS e AITA, 1996).

O azevém (*Lolium multiflorum*) é uma gramínea que vem sendo muito utilizada como cobertura de solo no inverno nas áreas de várzea no RS, seja para pastejo pelos animais em sistemas de integração lavoura-pecuária ou para formação de resíduos culturais, antecedendo a cultura de verão. Essa espécie de cobertura auxilia a drenagem da água da lavoura, devido à evapotranspiração, e o controle de plantas daninhas (MENEZES *et al.*, 2001). Uma das dificuldades na utilização do azevém é a produção de ácidos orgânicos, que podem prejudicar o estabelecimento de plântulas de arroz irrigado, especialmente quando cultivado em semeadura direta (BOHNEN *et al.*, 2005; ALMEIDA, 1988). Buscam-se alternativas no manejo do azevém como cobertura de solo no inverno, pelo manejo antecipado com herbicidas e pastejo, para obter melhores condições de estabelecimento da lavoura de arroz e de controle eficiente de plantas daninhas (DIAS *et al.*, 1995). O conhecimento do desempenho de outras espécies que se adaptem a condições de solo de várzeas no inverno, antecedendo à cultura do arroz, é um requisito atual para sustentabilidade de sistemas de produção com arroz irrigado.

Nas áreas de várzea do RS, há grande potencial para uso de espécies leguminosas em sistema de sucessão de culturas devido às inúmeras vantagens que elas proporcionam para o sistema de produção de grãos. O maior problema de utilização das leguminosas é o seu estabelecimento em condições de excesso hídrico. Entre as alternativas, destacam-se o trevo-branco, o cornichão e a serradela nativa. O uso dessas espécies como cobertura de solo no inverno implica em melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, em redução da dose de adubo nitrogenado na cultura do arroz cultivado em sucessão, em maior eficiência de controle de plantas daninhas e em diversificação dos sistemas de produção. Isso tudo vai contribuir para maior sustentabilidade da atividade agrícola no ecossistema de várzea.

Outra alternativa de cobertura de solo é o uso de gramíneas consorciadas com leguminosas, pois na sua utilização em pastejo, melhora a qualidade da dieta animal, beneficia o arroz irrigado cultivado em sucessão pelo aporte de nitrogênio (N) e ainda, melhora as propriedades físicas e químicas do solo. A introdução de espécies leguminosas também pode ser uma alternativa para melhorar a fertilidade do solo de áreas que naturalmente

apresentam baixa fertilidade, como os solos mais arenosos ou degradados pelo seu uso antrópico. Entre as leguminosas, o cornichão (*Lotus corniculatus* L.) é uma das mais utilizadas, por sua melhor adaptação a condições de solo mal drenados e a sistemas de produção. O potencial de uso de espécies leguminosas em áreas de várzea é pouco conhecido e há necessidade de mais pesquisa, o que torna relevante o trabalho com essas espécies.

Entre as alternativas de cobertura de solo, a consorciação de azevém com leguminosas, foi apresentada por Menezes *et al.* (1994), que faz referência à utilização de serradela (*Ornithopus micranthus* (Benth) Arechavaleta). É importante, porém, o conhecimento de espécies de inverno que se adaptem às condições de várzea, pois, além de serem boas formadoras de cobertura, elas podem propiciar o aumento do rendimento de grãos da cultura do arroz em sucessão.

2.5 Sistemas de rotação de culturas com arroz irrigado

Os sistemas de rotação de culturas também contribuem para maior sustentabilidade dos sistemas produtivos. Entre as principais vantagens, destacam-se a redução na infestação de plantas daninhas, controle de doenças através da quebra de ciclos e a ciclagem de nutrientes, devido à utilização de espécies de plantas com diferentes sistemas radiculares (REGO, 1994).

Além do controle do arroz vermelho, a rotação de culturas contribui para o incremento do rendimento de grãos do arroz irrigado cultivado em sucessão (MONTEALEGRE e VARGAS, 1989; PAULETTO *et al.*, 1991). A redução da quantidade de sementes de arroz vermelho no solo pela rotação de culturas foi verificada por Marchezan (1995) e Avila *et al.* (2000).

Existem relatos que, desde o início da colonização do RS, as áreas de várzea vêm sendo cultivadas. A partir do início do século XX, o atual modelo de produção de arroz irrigado passou a se intensificar. Essa forma de uso levou à limitação de cultivo de algumas áreas, com redução de produtividade, principalmente devido à infestação de plantas daninhas e à redução da fertilidade dos solos. Diversos trabalhos vêm sendo realizados buscando viabilizar outras culturas para as áreas de várzea, entre elas o milho (*Zea*

mays), o sorgo (*Sorghum bicolor*) e a soja (*Glycine max*). Assim, pesquisas realizadas pela Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, desde 1986 (GOMES e MAGALHÃES JÚNIOR, 2004), procuraram identificar cultivares de milho mais adaptadas às condições de solo de várzea. A partir de 1998, esses trabalhos estenderam-se à região da Campanha. O milho é uma espécie que tem, na várzea, várias características capazes de restringir o seu crescimento. É fundamental a escolha da cultivar que possua colmo vigoroso, estatura adequada, baixa inserção de espiga e resistência ao acamamento e ao quebramento.

Outra espécie que está sendo trabalhada como alternativa para as áreas de várzea é o sorgo. Esta espécie apresenta alta resistência à seca e tolerância ao excesso hídrico após a emissão da quinta folha. Essas características fazem dessa cultura uma alternativa para sistemas de rotação em áreas de várzea pela redução do banco de sementes de arroz vermelho.

Outros trabalhos realizados desde 1976 através de uma rede de ensaios visando identificar cultivares de sorgo melhores adaptadas ao RS, indicam como fatores fundamentais para o sucesso da lavoura de sorgo a escolha da cultivar, a época de semeadura e a adubação nitrogenada. Assim, Montealegre e Vargas (1989) verificaram que a rotação de arroz com sorgo reduziu sensivelmente a população de arroz vermelho da área, com o uso do herbicida atrazine para controle de arroz vermelho.

A soja é, provavelmente, a alternativa com maior potencial de utilização em áreas de pousio em rotação com o arroz irrigado no RS, pelo aumento da renda do produtor, além de melhorar essas áreas, principalmente pelo aporte de N proveniente da fixação biológica. Desde 1980, a cultura da soja vem sendo estudada em sistemas de rotação com arroz irrigado principalmente nas regiões Sul, Planície Costeira Interna e Campanha. Porém a sua expansão é limitada pelos resultados instáveis de rendimento ocasionados tanto pelo excesso como pela falta de água. A soja apresenta baixa tolerância ao excesso hídrico e alguns solos de várzea naturalmente apresentam problemas de drenagem deficiente. Entretanto, os diferentes genótipos dessa cultura apresentam grande variabilidade na adaptação ao excesso hídrico (HEATHERLY e PRINGLE, 1991). Há, porém, muitas dúvidas sobre o manejo

desses sistemas de rotação e sucessão de culturas no sistema produtivo das várzeas no RS.

Os primeiros trabalhos realizados com soja na várzea são do início de 1970. Resultados publicados pelo Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Sul, órgão que antecedeu a Embrapa, mostraram que a soja apresentava elevado potencial produtivo nessas áreas, cujos rendimentos foram, na média de cinco locais, em torno de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ (GOMES e MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

A principal limitação para implantação de sistemas de rotação e sucessão de culturas em áreas de várzea é o excesso hídrico e a falta de espécies e cultivares adaptadas a essas condições. As características de hidromorfismo desses solos fazem com que a sua condutividade hidráulica seja baixa. A drenagem superficial é, então, o fator decisivo para implantação de culturas de sequeiro e as espécies de cobertura de inverno ajudam nesse processo de drenagem. Outro aspecto importante é o aplainamento do solo para correção do micro relevo para escoamento rápido da água superficial (SOSBAI, 2007). Assim a viabilização de sistemas de rotação do arroz irrigado com a soja, depende do avanço dos trabalhos de pesquisa sobre a adaptação e das as reações de diferentes genótipos às condições de alagamento e má drenagem. A utilização de cultivares não adaptadas à essas condições, implica em baixo rendimento de grãos, sendo este o principal limitante para a expansão da cultura da soja nessas áreas. Períodos de alagamento causam morte de plantas, alterações morfológicas e fisiológicas, problemas de nodulação, impedindo a fixação simbiótica, que variam conforme o genótipo utilizado (BACANAMWO e PURCELL, 1999; PIRES *et al.*, 2002; THOMAS *et al.*, 2005). No entanto, informações sobre o cultivo da soja em áreas de várzea são escassas, pouco se sabendo sobre as opções de cultivo e manejo para a introdução de sistemas de rotação e sucessão de culturas como arroz irrigado.

O IRGA lançou, em 2003 o Programa Arroz RS, com o objetivo de garantir a sustentabilidade e a rentabilidade da cadeia produtiva do arroz com aumento da produtividade, uso eficiente dos recursos naturais e humanos e ampliação de mercado. Esse programa entrou na segunda fase em 2007. Dentre os seus projetos, destaca-se o Projeto Rotação e Sucessão de Culturas, que tem por objetivo viabilizar a cultura da soja em áreas de várzea em sistema de rotação com o arroz irrigado, por meio da geração, adequação e

disponibilização de práticas racionais de manejo, incluindo a sucessão com culturas de inverno.

As principais metas desse projeto são: a) indicação de cultivares comerciais de soja mais adaptadas a condições de várzea; b) desenvolvimento de linhagens de soja com níveis superiores de tolerância ao estresse hídrico; c) sistematização das informações pertinentes às principais práticas de manejo da soja em rotação com o arroz irrigado, mediante um guia de práticas eficientes de manejo e d) estímulo à interação e à troca de experiências de produtores de soja em rotação com o arroz em áreas de várzea.

Na safra 2007/08, em um ensaio com 33 genótipos de soja, cultivados na EEA/Cachoeirinha, do IRGA, foram obtidos rendimentos elevados, sendo os maiores obtidos pelas variedades Monsoy 7575, Monsoy 7878 e Monsoy 7879, todos acima de 4,0 Mg ha⁻¹. Também se destacaram as cultivares Fundacep 59 e Fundacep 53 (LANGE, 2009).

Na safra 2008/09, em ensaio com 60 genótipos para tolerância ao excesso hídrico, ficou evidenciado a variabilidade genética entre os materiais. Desse trabalho, 34 genótipos se destacaram e avançaram no programa de melhoramento para tolerância ao excesso hídrico (LANGE, 2010). Também, nesta safra, em ensaio de desempenho agrônômico com 28 cultivares de soja, ficou claro que há genótipos de soja adaptados ao cultivo no RS, com capacidade de produzir elevados rendimentos de grãos em solos de várzea, mesmo em condições desfavoráveis, principalmente de excesso hídrico (LANGE, 2010).

2.6 Fatores limitantes ao uso de sistemas de rotação e sucessão de culturas em áreas de várzea

A maior dificuldade para adoção de sistemas de rotação e sucessão de culturas em áreas de várzea é a condição de drenagem deficiente e, principalmente, a falta de espécies adaptadas para cobertura do solo no inverno e cultivares de soja melhor adaptadas a excesso hídrico. A condutividade hidráulica desses solos geralmente é baixa, sendo a drenagem o fator principal para implantação de sistemas de sucessão e rotação de culturas, principalmente em seu estabelecimento inicial. A precisão no aplainamento do

solo, os drenos superficiais e a correção do microrelevo são indispensáveis (SOSBAI, 2010).

No sistema de plantio direto em terras altas, a adição de grandes quantidades de resíduos por sistemas de cobertura do solo é fundamental para aumentar a quantidade de carbono orgânico (C), influenciando principalmente a dinâmica do nitrogênio. Nas áreas de várzea, esse acúmulo de resíduo tem aspectos positivos como controle de plantas daninhas, mas pode causar problemas principalmente no estabelecimento inicial da lavoura, devido ao acúmulo de ácidos orgânicos, principalmente acético, propiônico e butírico (CAMARGO *et al.*, 2001).

Além dos ácidos orgânicos, outro fator relevante é a relação C/N que, com o aumento dos resíduos em cobertura, pode causar problemas na disponibilidade de N, devido à imobilização, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento do arroz. Isto se deve à maior oferta de C ao sistema solo-planta, que estimula a atividade microbiana (SÁ, 1996), que passa a atuar mais como agente de mineralização do N orgânico do solo, do que como fonte de N potencialmente mineralizável (VARGAS *et al.*, 2005).

O aumento da disponibilidade de resíduos de cobertura provenientes de azevém reduziram a produção de arroz cultivado em sucessão no sistema mix pré-germinado (PINTO *et al.*, 2003). Existe, entretanto, carência de informações científicas sobre o assunto, e principalmente, de estratégias de manejo de resíduos capazes de reduzir os efeitos negativos do acúmulo de palha.

Uma alternativa para reduzir o efeito da imobilização de N, seria a introdução em sistemas de consorciação de uma leguminosa junto com a gramínea, o que estaria contribuindo para diminuição da relação C/N. Outras medidas, como o aumento de nitrogênio na semeadura e dessecações antecipadas podem contribuir para redução desse problema. Todas essas práticas têm por finalidade aumentar a taxa de decomposição de resíduos e diminuir o período de imobilização de N pelos microorganismos do solo (VICTORIA *et al.*, 1992).

A rotação de culturas do arroz irrigado com a soja encontra, como limitantes as dificuldades de implantação da soja em áreas de várzea. Outra questão é cultural, pois produtores de soja do Planalto do RS estão mais

adaptados ao uso de alta tecnologia. Por outro lado, os produtores de arroz encontram mais dificuldades em implementar mudanças e adotar novas tecnologias. Os baixos rendimentos de soja obtidos em anos anteriores, devido ao manejo inadequado, e a frustração de safra por limitações hídricas, a falta de cultivares adaptadas e o melhor entendimento das práticas de manejo dessa cultura na várzea são, portanto, fatores limitantes ao uso de sistemas de sucessão e rotação de culturas em áreas de várzea.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho consistiu em avaliar espécies de plantas de cobertura de solo no período de inverno em esquema de sucessão e rotação com o arroz e soja, no verão, durante dois anos agrícolas.

3.1 Local de execução

O experimento foi conduzido a campo nos anos agrícolas 2007/08 e 2008/09, na Estação Experimental do Arroz (EEA), do Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA), autarquia do governo do Estado do Rio Grande do Sul, localizada no município de Cachoeirinha, região orizícola da Depressão Central do RS, situada a 29°55'30'' de latitude sul e a 50°58'21'' de longitude oeste e à altitude de 7 m acima do nível do mar.

O clima da região é do tipo subtropical úmido, conforme classificação de Köeppen (BRASIL, 1973), sendo considerado como transição entre os tipos Cfa₁ (isoterma anual inferior a 18°C) e Cfa₂ (isoterma anual superior a 18°C). As temperatura média do ar é de 14,3°C no mês mais frio (julho) e de 25,2 °C no mês mais quente (janeiro), sendo a média anual de 19,6 °C. A precipitação pluvial média anual é de 1398 mm (IPAGRO, 1979).

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Solos e Águas, da EEA/IRGA, em Cachoeirinha, RS e no Laboratório de Análises da Faculdade de Agronomia da UFRGS, em Porto Alegre-RS.

3.2 Escolha e preparo inicial da área experimental

Para escolha da área do experimento, foi levado em conta o período em pousio (quatro anos), para facilitar o controle de plantas daninhas,

principalmente de arroz vermelho. O solo da área experimental é classificado com Planossolo Háplico Ta Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). A análise do solo realizada em fevereiro de 2007 indicou os seguintes valores: argila, 14%, pH (água), 4,8; P e K disponíveis (Mehlich 1): 17 e 46 mg dm⁻³, respectivamente; Ca, Mg e Al trocáveis (KCl 1,0 mol L⁻¹): 1,0 , 0,3 e 1,5 cmol_c L⁻¹, respectivamente, CTC_{pH 7,0}, 8,1 cmol_c kg⁻¹ e matéria orgânica (22 g kg⁻¹), conforme Tedesco *et al.* (1995). Com base na análise do solo, aplicou-se, em 04 de abril de 2007, 4,2 Mg ha⁻¹ de calcário (PRNT 100%), para elevar o pH do solo até 6,0, tendo em vista a cultura da soja, prevista na rotação. Após uma roçada, com roçadeira marca Huskvarna, para manejar a cobertura de plantas espontâneas da área, foram feitas duas gradagens, (grade leve/fechada), para a incorporação do calcário, seguidas de nivelamento superficial com a utilização de plaina laser. A área experimental, mesmo sistematizada apresenta dificuldades de drenagem em função do tipo de solo. Foi necessário um sistema de drenagem com sulcos próximos um do outro, espaçamento de cerca de 5 metros, para facilitar o escoamento de água.

3.3 Instalação das culturas de cobertura no inverno de 2007 e procedimento experimental

As espécies de plantas de cobertura de solo no inverno foram: azevém, consórcio azevém + cornichão e vegetação espontânea (pousio) foram os tratamentos, sendo dispostos em duplicata dentro de cada uma das três repetições e arranjados em blocos casualizados, constituindo seis parcelas de 7,0 m de largura e 23,5 m de comprimento em cada bloco (Figura 1a).

A semeadura dessas espécies ocorreu em 30 de abril, a lanço, na densidade 30 kg ha⁻¹ para o azevém e de 6 kg ha⁻¹ para o cornichão, que apresentavam 69% e 60% de germinação, respectivamente. A adubação foi de 200 kg ha⁻¹ da fórmula 05-20-30, para o azevém e foi adicionado mais 20 kg N ha⁻¹ na base na forma de uréia para aumentar a quantidade de nitrogênio, visando um melhor estabelecimento das espécies de cobertura, mais a aplicação de 46 kg ha⁻¹ de N, como uréia, em cobertura no dia 25 de junho de 2007; no consórcio azevém + cornichão, foram aplicados somente 250 kg ha⁻¹ da fórmula 05-20-30, na semeadura.

Em 13 de setembro de 2007 foram coletadas as amostras para determinação de massa seca da parte aérea e as parcelas foram manejadas com a aplicação de herbicida profloroxim, visando reduzir as gramíneas, no caso o azevém, e favorecer o cornichão. No dia 14 de setembro de 2007 o azevém foi manejado com o equipamento triton. No dia 01 de outubro de 2007 foi feita a dessecação de toda a área, com herbicida glifosato visando a semeadura da lavoura de arroz. No dia 19 de outubro de 2007 todas as parcelas foram novamente manejadas com o triton, para acelerar a decomposição dos resíduos e facilitar a semeadura do arroz cultivado em sucessão.

3.4 Instalação das culturas de verão na safra 2007/08 e procedimento experimental

Para implantação das culturas de verão, os blocos foram subdivididos em faixas (2), para aplicação dos dois tratamentos de adubação: recomendação completa (adubação alta) e metade da recomendação (adubação baixa). As parcelas das culturas de cobertura de inverno foram também divididas em faixas (2) para implantação das culturas de arroz e de soja. Nesta distribuição, os tratamentos de adubação constituíram as parcelas principais (21 x 23,5 m), as coberturas de inverno as subparcelas (7,0 x 23,5 m) e as culturas de verão, as subsubparcelas (7,0 x 11,75 m), conforme apresentado na Figura 1b.

Os tratamentos de adubação para o arroz foram para as recomendações, em função da análise do solo, para expectativas de incremento de rendimento de 2,0 Mg ha⁻¹ (adubação baixa) e 4,0 Mg ha⁻¹ (adubação alta) (SOSBAI, 2007). As doses aplicadas foram: a) 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 40 kg ha⁻¹ de K₂O e 60 kg N ha⁻¹. Do nitrogênio 5 kg foram aplicados na linha de semeadura e o restante em cobertura, com 2/3 quando as plantas estavam no estágio V₃-V₄ (COUNCE *et al.*, 2000) e 1/3 no estágio V₈, na adubação baixa; e b) 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 70 kg ha⁻¹ de K₂O e 120 kg N ha⁻¹, sendo deste, 10 kg ha⁻¹ aplicados na linha de semeadura e o restante em cobertura, 2/3 quando as plantas estavam no estágio V₃-V₄ e 1/3 no estágio V₈, na adubação alta.

A semeadura do arroz irrigado com a cultivar IRGA 424 foi realizada no dia 09 de novembro de 2007. Esta cultivar é de porte baixo, ciclo médio, tolerante à toxidez por ferro, resistente à brusone (SOSBAI, 2010) e de alto potencial de rendimento de grãos, porém muito exigente em manejo. A semeadura foi feita de forma direta no solo, com semeadora de parcelas de nove linhas, na densidade de 100 kg ha^{-1} e espaçamento entre linhas de 17 cm. As sementes foram previamente tratadas com inseticida fipronil (4g i.a. 10 kg^{-1} de sementes), para controle preventivo da bicheira-da-raiz (*Orizophagus oryzae*) e com fungicida à base de thiram e carboxin (25 ml/10 kg de sementes¹). O controle de plantas daninhas foi realizado com a aplicação de 200 mL ha^{-1} do herbicida penoxsulam e $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ do herbicida cyhalofop butil no estágio V_3-V_4 no dia 29 de novembro de 2007.

A primeira aplicação de nitrogênio foi feita no dia 29 de novembro de 2007, antecedendo o início da irrigação. No dia 19 de dezembro, quando as plantas estavam no estágio V_7 , foram diagnosticados sintomas de toxidez por ferro. No dia 21 de dezembro a irrigação foi suprimida, sendo a área experimental mantida sem adição de água até o dia 05 de janeiro de 2008. E quando as plantas estavam no estágio V_8-V_9 , foi aplicado em cobertura $1/3$ do N restante reiniciando-se a irrigação. Novamente, no dia 24 de janeiro, quando as plantas estavam no estágio R_0 , os sintomas de toxidez de ferro se intensificaram e a irrigação foi novamente suprimida até o dia 8 de fevereiro de 2008, quando as plantas estavam no estágio R_2 . Antes do reinício da irrigação foi aplicado, nas parcelas com nível baixo de adubação, $30 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ (KCl) e $15 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (uréia) e, nas parcelas com nível alto de adubação, $60 \text{ kg de K}_2\text{O}$ e $30 \text{ kg de N ha}^{-1}$. Esse manejo visou minimizar os problemas de toxidez de ferro no arroz irrigado. Em 13 de fevereiro de 2008, quando as plantas estavam no estágio R_3 , próximo à exsurgência da panícula, foi aplicado o fungicida stratego 350 EC mistura de triazol com estrobirulina na dose de $0,75 \text{ L ha}^{-1}$. A colheita do arroz foi realizada no dia 03 de abril de 2008.

Os tratamentos de adubação na cultura da soja foram para rendimentos de $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ (adubação baixa) e de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ (adubação alta) (CQFS RS/SC, 2004), que corresponderam à aplicação de $7,5 - 30 - 45$ (N, P_2O_5 e K_2O) e $15 - 60 - 90$ (N, P_2O_5 e K_2O) kg ha^{-1} , respectivamente, a aplicação de 150 e 300 kg ha^{-1} da fórmula 5-20-30, com base na análise do solo. Os

adubos foram aplicados em cobertura, 10 dias após a emergência das plantas. As sementes foram previamente inoculadas, a dose de inoculante utilizada foi de 4 ml kg⁻¹ de sementes, esta dose é o dobro das recomendações para a cultura da soja, visto que em áreas de várzea, é comum problemas de inoculação devido ao excesso hídrico, sendo o aumento de dose uma das maneiras de minimizar esse problema. A soja foi semeada diretamente no solo, com semeadora de parcelas marca Semeato, no dia 28 de novembro de 2007. Foi utilizada a cultivar Fundacep 59RR, por ser um material adaptado a condições de várzea, principalmente excesso hídrico, má drenagem e por terem sido obtidos rendimentos elevados em ensaios conduzidos na EEA/Cachoeirinha em anos anteriores. Além disso, em virtude de ser um material RR (tecnologia Roundup Ready), resistente ao herbicida glifosato, facilitaria o controle de plantas daninhas nessas áreas. Foi utilizada a densidade de 12 sementes por metro linear, com espaçamento de 45 cm entre linhas.

O controle de plantas daninhas foi feito com a aplicação de herbicida glifosato na dose de 3,0 L ha⁻¹, no momento em que as plantas de soja estavam com a segunda folha trifoliada totalmente desenvolvida. Preventivamente, foram feitas duas aplicações de fungicida, a primeira no estágio R1, início da floração e a segunda quando as plantas estavam no estágio R5, início do enchimento de grãos. Foi utilizado o fungicida Ópera, mistura de triazol e estrobirulina, na dose de 0,5 L ha⁻¹, para a prevenção da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). A colheita da soja foi feita em 30 de abril de 2008.

Na área experimental estava instalado um sistema de irrigação por aspersão para a cultura da soja, nessa safra, o sistema foi utilizado quatro vezes, totalizando 48 mm de água aplicados no enchimento de grãos.

3.5 Instalação das culturas de cobertura no inverno de 2008 e procedimento experimental

Após a colheita do arroz e da soja, as coberturas de inverno foram novamente semeadas (10/05) nas mesmas parcelas do ano anterior (Figura 1a). No consórcio azevém + cornichão a densidade de semeadura do azevém

foi de 10 kg ha⁻¹, menor do que no ano anterior (30 kg ha⁻¹), com objetivo de favorecer o estabelecimento do cornichão, que se estabelecera com baixa densidade no inverno anterior. A densidade do cornichão foi novamente de 6 kg ha⁻¹ e as sementes de azevém e cornichão apresentavam 77% e 80% de germinação, respectivamente. Neste ano, não foi utilizada adubação na semeadura das coberturas de inverno.

Em 30 de setembro de 2008, foram coletadas amostras para determinação de massa seca das coberturas de inverno. No dia 03 de outubro foi aplicado herbicida glifosato na dose de 5,0 L ha⁻¹, como dessecante, visando a implantação da cultura de arroz.

3.6 Instalação das culturas de verão, safra 2008/09 e procedimento experimental

Para implantação das culturas de verão neste segundo ano, as subsubparcelas de arroz e soja (Figura 1c) foram subdivididas em faixas (2) para, em cada uma, implantar as culturas de arroz e de soja (Figura 3c), constituindo as subsubparcelas (7,0 x 5,875 m).

No arroz os tratamentos de adubação foram os mesmos aplicados no ano anterior, adubação baixa e adubação alta, ou seja: a) 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 30 kg ha⁻¹ de K₂O e 60 kg N ha⁻¹. Do N 5 kg foram aplicados na linha de semeadura e o restante em cobertura, com 2/3 quando as plantas estavam no estágio V₃-V₄ e 1/3 no estágio V₈, para adubação baixa; b) 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 50 kg ha⁻¹ de K₂O e 120 kg N ha⁻¹, sendo 10 kg ha⁻¹ aplicados na linha semeadura e o restante em cobertura, com 2/3 quando as plantas estavam no estágio V₃-V₄ e 1/3 no estágio V₈, para adubação alta.

As sementes de arroz foram previamente tratadas com inseticida fipronil (4g i.a./10 kg de sementes⁻¹), para controle preventivo da bicheira-da-raiz e com fungicida à base de thiram e carboxin (25 ml 10 kg de sementes⁻¹) para a prevenção de doenças fungicas.

O arroz foi semeado em 11 de novembro de 2008 e a cultivar utilizada foi a IRGA 424, mesma da safra anterior. A semeadura foi realizada com semeadora de parcelas de nove linhas, de forma direta, sem preparo de solo, na densidade de 100 kg ha⁻¹ e espaçamento entre linhas de 17 cm. O controle

de plantas daninhas foi realizado em 30 de novembro de 2008 e constou da aplicação de 200 mL ha⁻¹ do herbicida penoxsulam e 1,5 L ha⁻¹ do herbicida cyhalofop butil no estágio V₃-V₄.

A primeira aplicação de nitrogênio foi feita no dia 30 de novembro de 2008 antecedendo o início da irrigação, e a segunda, no dia 23 de dezembro de 2008, quando as plantas se encontravam no estágio V₈. Na safra 2008/09, ao contrário da safra anterior, não foi suprimida a irrigação visando minimizar os sintomas de toxidez de ferro, que novamente foram relevantes. Em 20 de fevereiro de 2009, quando as plantas estavam no estágio R3, foi aplicado o fungicida Stratego 350 EC, mistura de triazól com estrobirulina, na dose de 0,75 L ha⁻¹. A colheita do arroz foi realizada no dia 03 de abril de 2009.

Os tratamentos de adubação para a soja nesta safra também repetiram os da safra anterior: para rendimentos de 2,0 Mg ha⁻¹ (adubação baixa) e 4,0 Mg ha⁻¹ (adubação alta). As quantidades aplicadas foram de 150 kg e 300 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-30, conforme análise do solo, aplicadas a lanço logo após a semeadura.

As sementes foram inoculadas com a dose de 4 ml kg⁻¹, duas vezes a dose recomendada, conforme descrito anteriormente. A semeadura foi efetuada no dia 24 de novembro de 2008, diretamente no solo sem preparo prévio, utilizando semeadora de parcelas marca Semeato. Foi utilizada a cultivar BRS Charrua RR, material de ciclo tardio e de crescimento determinado. Esse material apresenta um porte um pouco menor que a Fundacep 59 RR, utilizada na safra anterior, com aproximadamente 85 cm, o que lhe confere resistência ao acamamento. Foi utilizada a densidade de 12 sementes por metro linear.

O controle de plantas daninhas foi realizado com a aplicação de herbicida glifosato na dose de 3,0 L ha⁻¹, aplicado no momento em que as plantas de soja estavam com a segunda folha trifoliada totalmente desenvolvida.

Preventivamente, foram feitas duas aplicações de fungicida Ópera, mistura de triazól e estrobirulina na dose de 0,5 L ha⁻¹; a primeira no estágio R1, início da floração, e a segunda quando as plantas estavam no estágio R5 (início do enchimento de grãos). A colheita da soja foi feita em 04 de maio de 2009.

Nesta safra devido a ocorrência regular de chuvas na área experimental não foi necessário a utilização de irrigação para a cultura da soja.

3.7 PARÂMETROS AVALIADOS

3.7.1 No solo da área experimental

Análises químicas (básicas) foram realizadas, conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995) das amostras coletadas antes da instalação das plantas de cobertura do solo no inverno em 2007, na semeadura das culturas e após a sua colheita, para verificar a variação de fertilidade em cada sistema de manejo e para o estabelecimento das doses para os níveis de adubação, conforme SOSBAI (2007) para o arroz irrigado e a CQFS RS/SC (2004), para as plantas de cobertura e para a soja.

3.7.2 Nas coberturas de solo no inverno

Rendimento de massa seca: em duas amostras de 0,25 m² em cada parcela, após serem secas em estufa a 60°C, até atingir peso constante.

3.7.3 Na cultura do arroz irrigado

3.7.3.1 Densidade inicial de plantas

Obtida pela contagem das plantas emergidas aos dez dias após emergência, avaliada entre os estádios V₂ e V₃, portanto, antes do início do perfilhamento.

3.7.3.2 Rendimento de grãos

Obtido em área colhida de 28 m², por máquina colhedora de parcelas, corrigindo-se a umidade para 130 g kg⁻¹ e extrapolando-se os valores para um hectare.

3.7.3.3 Componentes do rendimento

Número de panículas por metro quadrado, obtido pela razão entre o número de panículas da amostra pela área colhida; número de grãos panícula, calculado pela razão entre o número total de grãos formados (extrapolado por regra de três a partir do peso de 200 grãos) e o número de panículas colhidas na área da amostra; peso do grão, obtido pela pesagem de duas amostras de 200 grãos, contados manualmente, com correção da umidade para 130 g kg^{-1} .

3.7.3.4 Esterilidade das espiguetas

A esterilidade de espiguetas foi obtida pela contagem do número de espiguetas estéreis, separadas da amostra através do equipamento soprador de grãos, sendo expressa em percentagem em relação ao número total de espiguetas por panícula.

3.7.4 Na cultura da soja

3.7.4.1 Estatura de plantas

Obtida pela medida da altura de 5 plantas por metro quadrado em cada parcela.

3.7.4.2 Inserção de legumes

Obtida através da medida entre o nível do solo e a inserção do primeiro legume, leitura feita em 5 plantas por metro quadrado.

3.7.4.3 Rendimento de grãos

Obtida na área útil da sub-parcela ($8 \text{ m}^2 = 4 \text{ linhas} \times \text{cinco metros}$), corrigindo-se a umidade para 130 g kg^{-1} e extrapolando-se os valores para um hectare.

3.7.4.4 Componentes do rendimento

Número de plantas m^{-2} , obtida pela contagem das plantas emergidas aos dez dias após emergência, através de amostragem de $4 m^2$ (9 linhas X 0,5 m), número de grãos por legume.

3.7.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo F-teste. Como não havia interesse em comparar as culturas em rotação (arroz e soja), essa análise foi feita de forma separada, para cada cultura, ajustando-se a análise à distribuição das unidades experimentais. Quando houve efeito simples ou de interação dos tratamentos, a comparação das médias foi feita pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

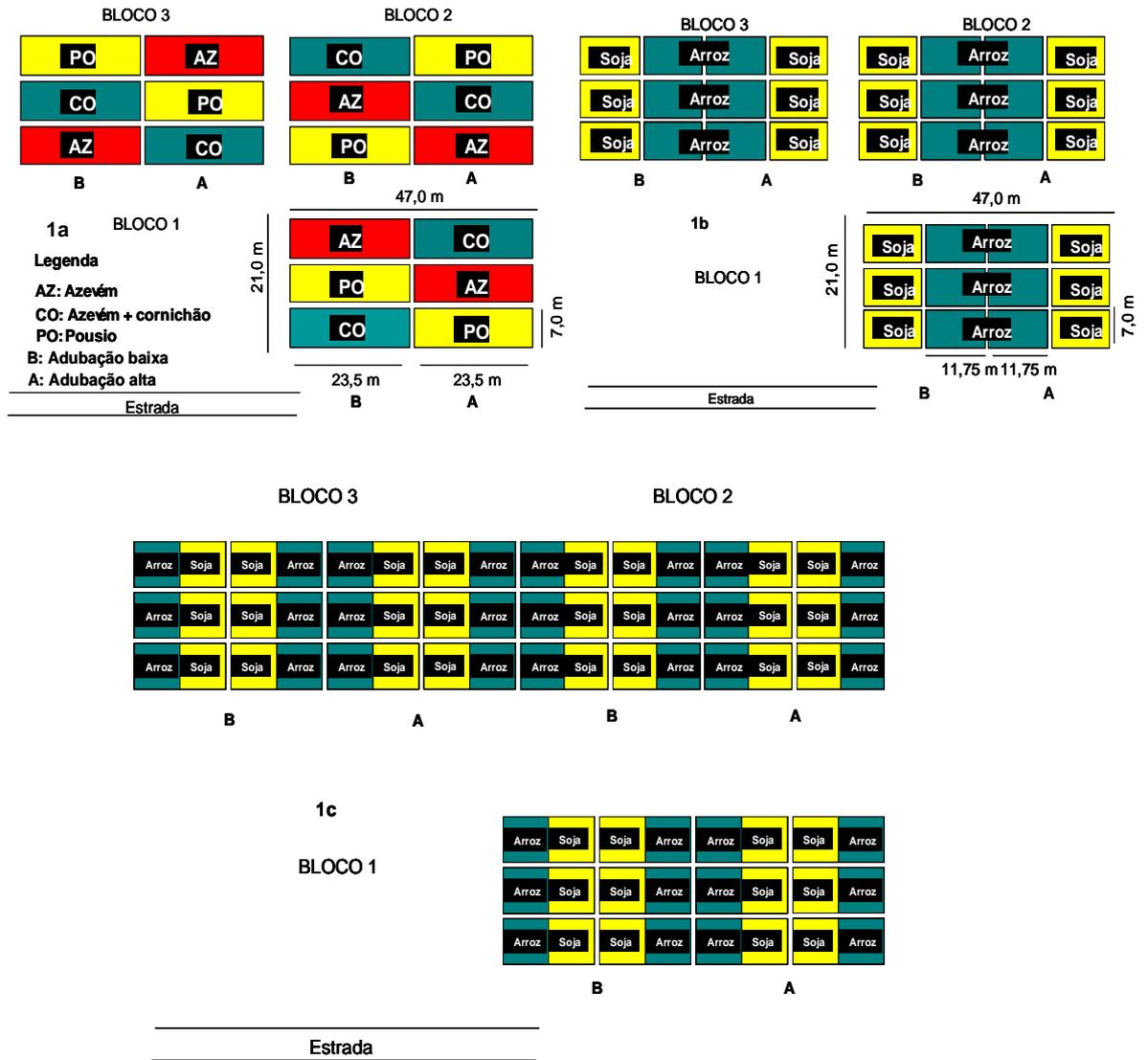


Figura 1: Distribuição dos tratamentos na área experimental: a) coberturas de solo no inverno (2007/08), b) arroz e soja no primeiro cultivo (safra 2007/08) e c) arroz e soja no segundo cultivo (safra 2008/09). Cachoeirinha-RS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Safra 2007/08

4.1.1 Coberturas de inverno antecedendo o arroz irrigado

O azevém e o seu consórcio com cornichão produziram rendimentos similares e elevados (maiores que $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) de massa seca da parte aérea (Tabela 1), conforme classificação de Amado *et al.* (2002). Considerando o objetivo de aporte de massa ao sistema, esses resultados de produção são satisfatórios e foram superiores ($p < 0,05$) que os obtidos no pousio. Deve-se levar em conta a adubação aplicada nos tratamentos com plantas de cobertura ($56, 40$ e 60 kg ha^{-1} de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$, respectivamente), que deve ter contribuído, em muito, para que fossem obtidos esses elevados rendimentos.

As altas produtividades produzidas pelas coberturas de solo no inverno não afetaram o estabelecimento das culturas de arroz e de soja, na sequência, pois não houve redução no estande inicial e não foi verificada deficiência nutricional aparente, principalmente de N, que poderia ter ocorrido pela alta relação C/N do azevém. Com altos aportes de resíduos vegetais, a liberação de ácidos orgânicos, oriundos de sua decomposição, poderia ter sido um problema potencial para estabelecimento da cultura de arroz (CAMARGO *et al.*, 2001; SOUZA e BORTOLON, 2002; BOHNEN *et al.*, 2005). Esse problema não ocorreu no presente trabalho, pelo fato da dessecação ter sido feita com a antecedência de 40 dias.

Deve-se considerar que a produtividade de massa seca das plantas de cobertura, superior a $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, pode ser aproveitada para pastejo de animais, desde que respeitada as condições de manejo para as áreas de várzea, evitando problemas de compactação e de preparo do solo. Além de

alternativa de diversificação de renda, o uso dessas áreas com a pecuária pode ajudar a minimizar possíveis problemas com ácidos orgânicos pela redução da palhada.

No consórcio azevém + cornichão, apesar da produtividade de massa seca ser similar a do azevém (Tabela 1), a densidade de plantas da leguminosa era muito baixa, o que terminou com o azevém encobrindo o cornichão, causando sombreamento e diminuindo seu desenvolvimento. Esse efeito em áreas de pastejo com animais, provavelmente seria minimizado, pois a massa de azevém estaria sendo diminuída, dando condições para melhor desenvolvimento do cornichão. Outra questão é que na semeadura do arroz dentro da época recomendada, o cornichão é comprometido, uma vez que a melhor fase de crescimento ocorre em outubro. Diante disso, a expectativa de maior quantidade de nitrogênio aportado ao sistema devido à inclusão da leguminosa no consórcio fica comprometida.

Tabela 1: Rendimento de massa seca da parte aérea de plantas de cobertura no inverno e rendimento de grãos de arroz irrigado em sucessão em função de níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2007/08.

Coberturas de inverno	Massa seca	Adubação no arroz	
		Baixa ⁽¹⁾	Alta ⁽²⁾
Mg ha ⁻¹			
Pousio	1,5b	10,7a	9,7a
Azevém	4,3a	10,0ab	10,3a
Azevém + cornichão	4,2a	9,1b	9,9a
Média	3,3	9,9	9,9

Significativo pelo teste de Duncan a 5% - Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si.

⁽¹⁾ Adubação para incremento de 2,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007); ⁽²⁾ Adubação para incremento de 4,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007).

Os rendimentos de grãos de arroz obtidos na safra 2007/08, (em média 9,9 Mg ha⁻¹, (Tabela 1), foram elevados, e conforme a expectativa para a cultivar IRGA 424, semeada na época correta, com manejo adequado, principalmente, controle de plantas daninhas e irrigação.

Não houve, no entanto, diferenças ($p > 0,05$) entre os níveis de adubação (Tabela 1); as diferenças havidas ($p < 0,05$) ocorreram entre os efeitos das coberturas antecedentes no menor nível de adubação e não tiveram

relação com a quantidade ou a natureza dos respectivos resíduos. A ausência de diferença entre os níveis de adubação não era esperada, uma vez que respostas em várias safras e locais (SCHOENFELD *et al.*, 2007 e 2008) evidenciaram incrementos consistentes e significativos de produtividade do arroz irrigado com o aumento da adubação, utilizada nos mesmos níveis do presente trabalho. Provavelmente o período de quatro anos de pousio da área experimental antes da instalação do experimento, juntamente com a reciclagem e resíduos, deve ter contribuído para a não ocorrência de resposta à adubação, especialmente nas parcelas com azevém e azevém + cornicão. Isto, no entanto, não explica os elevados rendimentos e a falta de resposta à adubação no tratamento em pousio. É provável, entretanto, que a ação do calcário ($4,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) aplicado antecedendo ao ciclo de inverno, tenha contribuído para a disponibilização de nutrientes.

Há, no entanto, um outro fator que deve ter contribuído para a falta de resposta aos tratamentos aplicados. Trata-se da ocorrência de toxidez intensa de ferro, conforme descrito no Material e Métodos. Para minimizar esses efeitos, houve necessidade de retirar a água por duas vezes e aplicar quantidades adicionais de nitrogênio e potássio (15 e 30 kg ha^{-1} de N e K_2O , no nível baixo; e 30 e 60 kg ha^{-1} de N e K_2O , no nível alto, de adubação). Embora esse seja o manejo irrigação indicado para minimizar a toxidez por ferro (SOUZA, 1991), o mesmo pode ter ocasionado menor eficiência no uso do nitrogênio, propiciando maiores perdas, principalmente por volatilização de amônia e desnitrificação, devido aos processos de secamento e inundação aos quais a área experimental foi submetida.

O estande inicial de plantas foi em média de $216 \text{ plantas m}^{-2}$ (Tabela 2); este número está dentro do desejável e suficiente para obtenção de altos rendimentos de grãos (SOSBAI, 2007). O número de panículas por m^2 é o componente do rendimento responsável pela maior parte do rendimento de grãos e o valor médio obtido, de $711 \text{ panículas por m}^2$, é compatível com alto rendimento obtido.

Embora o problema havido de toxidez por ferro, os demais componentes do rendimento e a esterilidade das espiguetas (Tabela 2) se mantiveram dentro da expectativa e sem diferenças ($p > 0,05$) entre os tratamentos. Segundo YOSHIDA (1981), o componente de rendimento mais estável na cultura do

arroz é o peso de grãos, porém, variável em função de cultivar. Comparando esses valores, com os obtidos por SCHOENFELD *et al.* (2007) para a cultivar IRGA 424, eles são compatíveis com o rendimento de grãos obtidos.

Tabela 2: Estande de plantas, esterilidade das espiguetas e componentes do rendimento de arroz irrigado em função de plantas de cobertura de inverno e níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2007/08.

Coberturas de inverno	Adubação no arroz	Estande plantas m ²	Número panículas m ²	Grãos panícula	Esterilidade %	Peso 1000 grãos g
Pousio	Baixa ⁽¹⁾	202ns	711ns	72ns	24ns	23ns
	Alta ⁽²⁾	217	695	68	14	26
Azevém	Baixa	213	715	88	19	23
	Alta	204	718	74	19	26
Azevém + cornichão	Baixa	239	728	73	16	23
	Alta	221	703	74	17	23
Média		216	711	74	18	24

ns: Não significativo ($p > 0,05$).

⁽¹⁾ Adubação para incremento de 2,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007); ⁽²⁾ Adubação para incremento de 4,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007).

4.1.2 Coberturas de inverno antecedendo a soja

Na safra 2007/08, os rendimentos obtidos com a cultura da soja foram elevados (Tabela 3), considerando-se os que têm sido obtidos em áreas de várzea do Estado. As elevadas quantidades de resíduos produzidas pelas espécies de cobertura não foram problema para estabelecimento da cultura de soja, o excesso de palha em cobertura poderia comprometer a semeadura da soja devido às condições de solo de várzea, o que poderia dificultar o corte da palha pelo disco da semeadora. A sistematização da área experimental e a sua drenagem atendem os principais requisitos, segundo a SOSBAI (2005), para o bom estabelecimento da cultura da soja. A irrigação, por aspersão, no período de enchimento de grãos, a fase mais crítica para estresses hídricos, também foi fundamental para o elevado rendimento obtido.

Outro fator que colaborou para a obtenção de alto rendimento foi a cultivar escolhida, a Fundacep 59 RR. Esta cultivar já vinha apresentando bom desempenho nos ensaios conduzidos em Cachoeirinha, RS (LANGE, 2009).

Os maiores problemas de adaptação da soja em áreas de várzea são os períodos prolongados de alagamento que causam morte de plantas, alterações morfológicas e fisiológicas, e nodulação deficiente, impedindo a fixação simbiótica de N, que variam conforme o genótipo utilizado (BACANAMWO e PURCELL, 1999; PIRES *et al.*, 2002; THOMAS, 2005).

Tabela 3: Rendimento de massa seca da parte aérea das espécies de cobertura de inverno e rendimento de soja em sucessão em função de níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2007/08.

Cobertura	Massa Seca	Adubação soja	
		Baixa ⁽¹⁾	Alta ⁽²⁾
.....Mg ha ⁻¹			
Pousio	1,5b	2,5a B	3,2ab A
Azevém	4,3a	2,9a A	2,7b A
Azevém + Cornichão	4,2a	2,9a A	3,3a A
Média	3,3	2,7B	3,1a

Significativo pelo teste de Duncan a 5%. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si.

⁽¹⁾ Adubação para produtividade de 2,0 Mg ha⁻¹ de soja na safra 2008/09 (CQFS RS/SC, 2004).

⁽²⁾ Adubação para produtividade de 4,0 Mg ha⁻¹ de soja na safra 2008/09 (CQFS RS/SC, 2004).

O rendimento da soja (Tabela 3) foi afetado ($p < 0,05$) pela interação de nível de adubação e espécies de cobertura. Assim, enquanto no nível baixo de adubação, não houve diferença entre espécies de cobertura de inverno, no nível alto, o rendimento da soja foi menor quando antecedido do azevém, sem diferença entre as demais coberturas. Embora tenha ocorrido, conforme esperado, maior rendimento de soja no nível alto de adubação no tratamento pousio em relação ao nível baixo, os demais resultados não eram esperados e parecem contrariar os dados de literatura. Na verdade, esperava-se que a contribuição das espécies de cobertura (azevém e azevém + cornichão), com maior produção de massa vegetal (Tabela 3) em aumentar o rendimento de soja fosse ocorrer no nível baixo de adubação. Dias *et al.* (1995) ressaltam que o azevém é espécie de cobertura mais utilizada no RS e tem apresentado resultados satisfatórios. Provavelmente, algum efeito dos quatro anos de pousio da área experimental, antecedendo ao cultivo da soja, possam estar refletindo nos resultados.

4.2 SAFRA 2008/09

4.2.1 Sucessão arroz/coberturas de inverno/arroz

O rendimento de massa seca da parte aérea das espécies de cobertura no inverno de 2009 somente foi afetado ($p < 0,05$) pelo nível de adubação utilizado no cultivo precedente de arroz. O rendimento variou de 2,3 a 2,9 Mg ha⁻¹, respectivamente, para o nível baixo e alto de adubação (Tabela 4) e é considerada como produção média, segundo Amado *et al.* (2002). Embora sejam produções tidas como adequadas para o objetivo de produzir cobertura de solo, mesmo aquelas obtidas no nível alto de adubação, são menores do que as obtidas no inverno de 2007, quando o azevém e o consórcio azevém + cornichão produziram 4,2 Mg ha⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 4: Rendimento de massa seca da parte aérea de espécies de cobertura de inverno e rendimento de grãos de arroz irrigado cultivado em sucessão no segundo ciclo. Cachoeirinha-RS, 2008/09.

Coberturas No inverno	Massa seca coberturas		Rendimento de grãos de arroz	
	Adub. baixa ⁽¹⁾	Adub. Alta ⁽²⁾	Adub. baixa ⁽³⁾	Adub. alta ⁽⁴⁾
	.....Mg ha ⁻¹			
Pousio	2,4	3,1	Nd	7,0ns
Azevém	2,1	2,7	Nd	7,6
Azevém + Cornichão	2,4	3,1	Nd	7,4
Média	2,3 b	2,9 a		7,3

Significativo pelo teste de Duncan a 5%; médias seguidas de mesma não diferem entre si na coluna.

Nd: Não determinado.

⁽¹⁾ Aplicada no arroz safra 2007/08, para incremento de produtividade de 2,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007).

⁽²⁾ Aplicada no arroz na safra 2007/08, para incremento de produtividade de 4,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007).

⁽³⁾ Aplicada no arroz safra 2008/09, para o incremento de produtividade de 2,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007).

⁽⁴⁾ Aplicada no arroz safra 2008/09, para o incremento de produtividade de 4,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007).

Somente foi possível obter os dados de rendimento de grãos de arroz no nível alto de adubação nessa safra (2008/09), que foram, em média, de 7,3 Mg ha⁻¹ (Tabela 4), não havendo efeito das coberturas. Isto porque, nessa safra, os problemas de toxidez de ferro foram bem mais acentuados do que os da safra

anterior, pelo fato de não se retirar a água nos talhões e de não se aplicar quantidades adicionais de nitrogênio e de potássio, conforme consta no material e métodos. Em consequência, os rendimentos de arroz foram 2,6 Mg ha⁻¹ menores aos da safra 2007/08 e houve perda das parcelas componentes do nível baixo de adubação.

No Brasil, os primeiros relatos de toxidez por ferro em arroz foram efetuados por Morel e Machado (1978), em lavouras do Baixo Vale do Itajaí, em Santa Catarina e estão relacionados com a utilização das cultivares denominadas de “modernas”. As primeiras gerações dessas cultivares chegaram ao país no início dos anos 70, mais precisamente em 1974, provenientes da Colômbia. A primeira cultivar com problemas de toxidez por ferro lançada pelo IRGA foi a cultivar BR IRGA 409, em 1979. Nos anos que antecederam ao seu lançamento (1974 a 1979), essa cultivar já demonstrara sintomas de toxidez por ferro nos ensaios. Lopes (1987) já relatava que 95% dos municípios arrozeiros do RS estava apresentando algum histórico de lavouras com problemas de toxidez por ferro, sendo as regiões com maiores problemas, da Campanha e da Fronteira Oeste.

São definidos dois tipos de toxidez por ferro: a toxidez direta, decorrente do excesso de ferro absorvido pelas plantas de arroz; e a toxidez indireta, resultante da sua competição com outros nutrientes, causando desequilíbrio nutricional, especialmente de cátions. Em ambos os casos, pode haver deposição de óxidos de ferro trivalente, por sua re-oxidação pelo oxigênio suprido pelo aerênquima das plantas dessa cultura.

A sintomatologia da toxidez por ferro foi descrita por diversos autores, entre eles Howeller (1973); Morel e Machado (1978) e Ottow *et al.* (1983), tendo como característica ampla variação de tonalidade, do amarelo ao marron (laranja), dependendo do tipo de solo e da cultivar de arroz utilizada. Os sintomas de toxidez direta, segundo Ottow *et al.* (1983) também conhecida como “bronzamento”, são constituídos por diversas manchas pequenas de coloração marron escura, que iniciam nas pontas das folhas mais velhas e depois se estendem para a base das folhas. Antes do aparecimento dos sintomas visuais de toxidez por ferro, ocorre inicialmente um menor desenvolvimento das plantas, ocasionado pela desordem nutricional. Os sintomas associados à toxidez indireta, também conhecida como

“alaranjamento”, aparecem após três semanas do início do alagamento do solo, com amarelecimento das pontas das folhas inferiores, que evolui para a base das folhas, passando gradativamente para as folhas superiores. Muitas folhas inferiores morrem completamente e, em casos severos, a coloração passa de amarelado para uma tonalidade laranja mais escuro. Outro fato importante é que os problemas por ferro não ocorrem em 100% da área, mas em manchas localizadas, maiores ou menores, dependendo da situação. É importante, então, ressaltar que, com base nas descrições, não há um sintoma único de toxidez por ferro, mas uma variação entre as tonalidades de amarelo e laranja e uma variação na intensidade dos pontos escuros nas folhas.

A escala utilizada para medir o grau do desequilíbrio associado à intensidade dos sintomas é expressa pela porcentagem de folhas atingidas ou mortas por toxidez por ferro. Pesquisadores do International Rice Research Institute (IRRI, 1975), desenvolveram uma escala que varia de 1 a 9, baseada na porcentagem de folhas mortas ou com sintomas.

O índice de Fe adotado para nível crítico nas folhas de plantas de arroz é 300 ppm (BARBOSA FILHO, 1987). Na avaliação de Morel e Machado (1978), realizada em folhas de plantas de arroz irrigado do Baixo Vale do Itajaí em Santa Catarina, foram encontrados teores com duas a três vezes o valor do nível crítico. Resultados de experimentos a campo realizados no RS com a cultivar BR IRGA 409 (LOPES e MACHADO, 1985; LOPES, 1987) demonstram que à medida que é aumentada a adubação NPK, os sintomas de toxidez de ferro diminuem.

Geralmente áreas de baixada, onde a drenagem é mais deficiente e nas quais ocorra fluxo de água de regiões mais altas, associadas a anos de maior intensidade de precipitação pluvial e a utilização de cultivares não resistentes, tende a acentuar o problema de toxidez por ferro. Lantin & Neue (1988) concluem que os problemas de toxidez por ferro estão ligados a um desbalanço nutricional, associado a elevados teores de Fe na solução do solo.

Do ponto de vista químico, o arroz irrigado por inundação apresenta teores de Fe^{+2} em concentrações maiores que as necessárias para uma adequada nutrição de plantas. Tais concentrações são consequência da redução do solo sob alagamento (PONNAMPERUMA, 1972). Porém, as concentrações nas plantas de arroz não são tão altas quanto se poderia

esperar, porque grande parte do Fe^{+2} solúvel é precipitado na superfície das raízes. Esse fenômeno ocorre devido ao ambiente oxidado na região da rizosfera. O O_2 da parte aérea é transportado para as raízes via espaço aéreo interno, denominado aerênquima (YOSHIDA, 1981). A quantidade de Fe precipitado na rizosfera de plantas de arroz é proporcional à capacidade de oxidação das raízes (CHEN *et al.*, 1980).

Em síntese, os problemas de toxidez por ferro estão associados a uma série de fatores, que variam desde o tipo de solo, genótipo utilizado, condições de drenagem, balanço nutricional, diferentes sintomas e teores, sem uma precisa definição sobre as causas do problema.

A partir da decisão de não drenar a área experimental na segunda safra (2008/09), com objetivo de avaliar a intensidade do problema de toxidez por ferro, amostras de folhas com e sem sintomas foram coletadas e os resultados da análise dos teores de nutrientes são apresentados na Tabela 5. Na sua comparação com resultados obtidos na elaboração de DRIS para a cultura do arroz irrigado no RS (PÖTTER *et al.*, 2009), verifica-se que os teores de N e K estão um pouco abaixo dos valores do ponto de equilíbrio que é de 2,6% para N e 1,25% para K, e da faixa de suficiência adotada pela CQFS RS/SC (2004). Os teores de Ca e Mg, entretanto, estão acima do ponto de equilíbrio nutricional e da faixa de suficiência encontrados nas respectivas publicações.

Os teores de ferro nas folhas variaram de 842 a 1100 mg kg^{-1} , com média de 937 mg kg^{-1} , sendo similares aos encontrados por Morel e Machado (1978) e mais de três vezes o nível crítico, de 300 mg por kg^{-1} . Porém, o que não fica claro, são as diferenças entre plantas com sintomas e sem sintomas (Tabela 5). Independentemente do nível de adubação, alto ou baixo, as plantas das parcelas com sintomas apresentaram valores de ferro menores do que as plantas sem sintomas de toxidez de ferro.

Tabela 5: Teores de nutrientes na parte aérea de plantas de arroz irrigado, com e sem sintomas de toxidez de ferro em dois níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2008.

Folhas de arroz	Adubação	N	P	K	Ca	MG	Fe
		..... %.....					mg kg ⁻¹
Com sintomas	Alta	1,6	1,6	1,0	0,69	0,24	842
Sem sintomas	Alta	1,5	2,4	1,1	0,84	0,18	1.100
Com sintomas	Baixa	2,3	2,5	1,0	0,83	0,24	709
Sem sintomas	Baixa	1,9	2,0	1,5	0,68	0,27	1.100

Diante desse problema, foram medidos os teores de ferro na solução do solo em laboratório, a partir da incubação e do alagamento do solo da área experimental. O mesmo foi acondicionado em garrafas do tipo pet e alagado e a solução do solo extraída semanalmente por um período de um mês. Os teores de ferro na solução (Figura 1) aumentaram nas primeiras semanas após o alagamento, devido à redução do Fe³⁺, confirmando os resultados obtidos por Velloso *et al.* (1993). Em solos alagados, ocorre a redução dos teores de oxigênio e alteração da microbiota, havendo predominância de microorganismos anaeróbicos. Na falta do oxigênio como acceptor de elétrons, o nitrato é o primeiro composto utilizado, sendo reduzido rapidamente a N₂O e N₂ que é volatilizado (MADRUGA, 1998). Na seqüência, são reduzidos os compostos de manganês e ferro.

Os teores de ferro (Figura 2) chegaram a um máximo de 26,8 mg L⁻¹. Na comparação com os obtidos por Silva e Ranno (2005), são um pouco menores, porém compatíveis com os obtidos para a classe dos Planossolos, que tem como materiais de origem arenito, siltito e granito, que são minerais que não apresentam ferro na sua estrutura (SOUZA *et al.*, 2004). É possível, também que, devido ao fato da incubação ter sido efetuada em junho (2008), as temperaturas mais amenas poderiam ter ocasionado uma atividade microbiana mais baixa, com resultante diminuição nos processos de oxi-redução do solo. Em função disso, a incubação do solo foi realizada novamente em dezembro do mesmo ano, e, novamente os teores na solução do solo aos 41 dias após o alagamento não superaram 24 mg L⁻¹.

É possível, entretanto, que os valores baixos de ferro na solução do solo possam, ao menos em parte, serem devidos à metodologia utilizada, uma vez que pode ter havido difusão de oxigênio através das paredes da garrafa tipo pet utilizada, retardando o processo de redução.

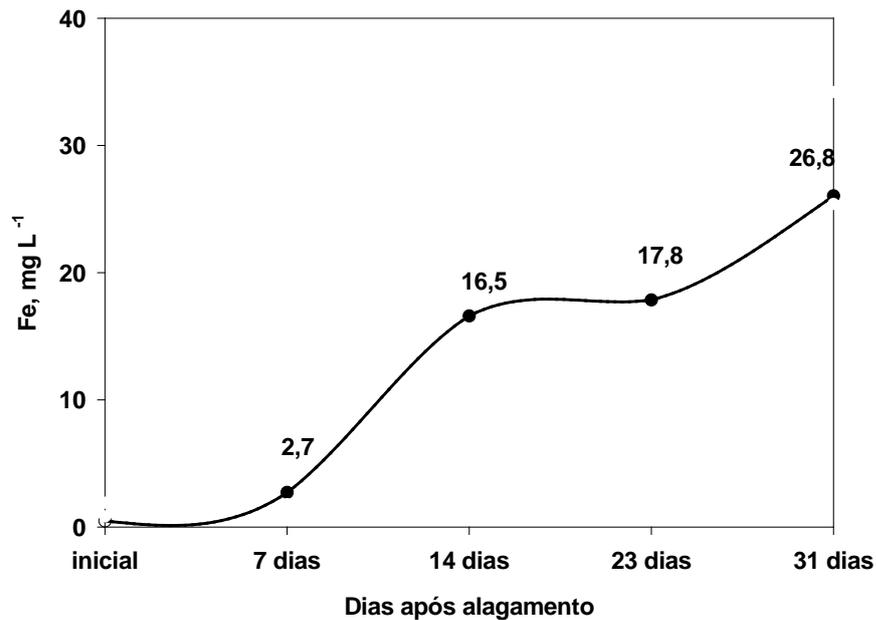


Figura 2: Evolução dos teores de ferro na solução do solo (Planossolo) submetido ao alagamento.

Considerando-se os teores de nutrientes nas folhas (Tabela 5), nota-se que os de N e K estão abaixo do ponto de equilíbrio DRIS (PÖTTER *et al.*, 2009), indicando deficiência nutricional, e os teores de Ca e Mg estão acima dos valores do ponto de equilíbrio. Esses valores podem estar indicando um desbalanço nutricional, conforme reportado por Howeller (1973), em que a toxidez por ferro é conseqüência de deficiências conjuntas, geralmente induzidas por altos teores de Fe na solução do solo. Esses altos teores podem comprometer o desenvolvimento radicular, devido à deposição de óxidos de ferro, o que impediria a absorção de outros nutrientes, porém, ele ressalta que podem ocorrer sintomas de alaranjamento com concentrações relativamente baixas de Fe na solução do solo, onde outros fatores poderiam reduzir o crescimento das raízes e resultar em deficiente absorção, o que parece ser o caso dos resultados obtidos.

Em função do problema de toxidez por ferro, o rendimento de grãos de arroz de alguns tratamentos foi perdido, especialmente no nível baixo de adubação. Os componentes do rendimento e o estado de plantas (Tabela 6) estão dentro do desejável e suficiente para se obter altos rendimentos, não havendo diferença entre as coberturas de solo e os níveis de adubação. Com isso, fica evidenciado que as coberturas de inverno não são problema para implantação da cultura do arroz irrigado em sucessão, mesmo havendo

problemas de toxidez por ferro, desde que o manejo das mesmas seja adequado, principalmente a dessecação antecipada. Os componentes do rendimento (número de panículas m^2 , grãos por panículas e peso de 1000 grãos) e a esterilidade das espiguetas, avaliados somente no nível alto de adubação, também não apresentaram diferenças entre os tratamentos e estão dentro da faixa recomendada para altos rendimentos. Porém, o rendimento de grãos, conforme descrito anteriormente foi bastante afetado pela toxidez por ferro. Em média, as parcelas produziram $2,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ a menos que a safra 2007/08, onde os rendimentos foram próximos a $10,0 \text{ Mg ha}^{-1}$. Assim, na comparação com os manejos diferenciados da água de irrigação utilizados nas duas safras em estudo, pode-se inferir que a supressão da irrigação juntamente com o aumento da adubação nitrogenada e potássica, se constituem em estratégias de manejo eficientes para minimizar os problemas de toxidez por ferro no arroz irrigado.

Outro aspecto relevante é o segundo ano de cultivo de arroz nessas áreas, o que reduz potencial produtivo devido ao uso contínuo, pois o efeito decorrente do pousio não é tão pronunciado.

Tabela 6: Estande inicial de plantas, esterilidade de espiguetas e componentes do rendimento de arroz irrigado no segundo ciclo de cultivo em função das espécies de cobertura de solo no inverno e de níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2008/09.

Coberturas de inverno	Adubação Arroz ⁽¹⁾	Densidade plantas m^2	Número panículas m^2	Grãos panícula	Esterilidade %	Peso 1000 grãos
Pousio	Baixa ⁽²⁾	228ns	Nd	Nd	Nd	Nd
	Alta ⁽³⁾	230	706	60	9	25
Azevém	Baixa	225	Nd	Nd	Nd	Nd
	Alta	226	742	73	13	25
Azevém + Cornichão	Baixa	242	Nd	Nd	Nd	Nd
	Alta	215	813	55	12	25
Média		227	713	74	15	25

Ns: Não significativo.

⁽¹⁾ Aplicados nas safras 2007/08 e 2008/09; ⁽²⁾ Adubação para incremento de produtividade de $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ (SOSBAI, 2007); ⁽³⁾ Adubação para incremento de produtividade de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ (SOSBAI, 2007).

4.2.2 Rotação/sucessão soja/coberturas de inverno/arroz

Neste item, são apresentados os resultados de massa seca das coberturas de solo no inverno (2008) e do arroz irrigado (2008/09), após um ciclo de coberturas de solo no inverno (2007) e de um cultivo de soja (safra 2007/08). A exemplo do que ocorreu após o arroz (Tabela 4), os rendimentos de massa seca das plantas de cobertura após a soja (Tabela 7), foram apenas médios e inferiores aos obtidos no ano anterior (2007), que foram mais de 4,0 Mg ha⁻¹ (Tabela 1). Esse efeito pode ser explicado, ao menos em parte, porque em 2007, as espécies de cobertura foram adubadas, o que não ocorreu em 2008.

Houve efeito ($p < 0,05$) dos níveis de adubação utilizados na soja, cultivada anteriormente (2007/08) e de sua interação com as coberturas de solo (Tabela 7). O maior rendimento de massa seca no maior nível de adubação reflete o seu maior efeito residual. Além disso, deve-se considerar a capacidade das plantas de cobertura ciclar os nutrientes, evitando que eles sejam perdidos, visando o seu aproveitamento na cultura comercial, cultivada na sequência, além de se constituir em alternativa para pastejo dos animais. Neste ano, enquanto no nível baixo de adubação, o rendimento de massa seca seguiu a sequência azevém > azevém + cornichão = pousio, no nível alto de adubação, a sequência foi azevém = azevém + cornichão > pousio. Na verdade, o resultado que não era esperado foi o baixo rendimento de massa seca do consórcio azevém + cornichão.

Nesta safra, a exemplo da safra anterior, o estabelecimento do arroz foi adequado, o que demonstra que coberturas de solo no inverno, quando bem manejadas, não representam problema para estabelecimento da lavoura de arroz. Além disso, esses maiores rendimentos das plantas de cobertura podem estar associados a maior ciclagem de nutrientes, que ocorre em sistemas de rotação e sucessão. Os efeitos positivos da ciclagem de nutrientes em áreas com cobertura de solo de azevém comparados ao pousio foram descritos por Souza (2001).

A toxidez por ferro no arroz também foi intensa na presente rotação, de tal forma que os rendimentos nas parcelas no nível baixo de adubação foram muito prejudicados. No entanto, o rendimento de grãos no nível alto de

adubação (para incremento de 4,0 Mg ha⁻¹) foi, na média, 8,0 Mg ha⁻¹, o que demonstra a importância da nutrição vegetal na diminuição dos efeitos da toxidez por ferro. Esses rendimentos, embora relativamente elevados e acima da média da região, que é em torno de 6,5 Mg ha⁻¹, foram menores do que os da safra 2007/08, que foram, na média, 9,9 Mg ha⁻¹ (Tabela 1). Esse efeito de redução no rendimento do arroz por toxidez por ferro foi mais detalhadamente discutido no item anterior.

Os rendimentos de arroz irrigado cultivado em sucessão às coberturas de solo no inverno, azevém e no consórcio azevém + cornichão foram maiores ($p < 0,05$) do que quando cultivado após pousio (Tabela 7). Esses resultados demonstram que coberturas de solo no inverno bem manejadas não representam problema para estabelecimento da lavoura de arroz. Além disso, esses maiores rendimentos podem estar associados a maior ciclagem de nutrientes que ocorre em sistemas de rotação e sucessão, tal como verificado por Souza (2001).

Tabela 7: Rendimento de massa seca da parte aérea de espécies de cobertura no inverno e de arroz irrigado, após um ciclo de espécies de cobertura/soja em função de dois níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2008/09.

Cobertura de inverno	Matéria seca coberturas		Rendimento arroz	
	Adub. baixa ⁽¹⁾	Adub.alta ⁽²⁾	Adub. baixa ⁽³⁾	Adub. alta ⁽⁴⁾
	.....Mg ha ⁻¹			
Pousio	2,2b	2,9b	Nd	7,6b
Azevém	2,9a	3,2a	Nd	8,2a
Azevém + cornichão	2,3b	3,3a	Nd	8,4a
Média	2,5 B	3,1 A	Nd	8,0

Significativo pelo teste de Duncan a 5%, médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si.

⁽¹⁾ Aplicada na soja na safra 2007/08, para produtividade de 2,0 Mg ha⁻¹, (CQFS RS/SC, 2004); ⁽²⁾ Aplicada na soja na safra 2007/08, para produtividade de 4,0 Mg ha⁻¹, (CQFS RS/SC, 2004); ⁽³⁾ Aplicada no arroz safra 2008/09, para incremento de produtividade de 2,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007). ⁽⁴⁾ Aplicada no arroz safra 2008/09, para incremento de produtividade de 4,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007).

Os resultados do estande inicial de plantas, da esterilidade das espiguetas e dos componentes do rendimento (número de panículas, grãos por panícula e peso de grãos) não foram determinados no nível baixo de adubação, em função das parcelas terem sido perdidas por problemas de toxidez por ferro. No nível alto de adubação, esses parâmetros (Tabela 8)

estão dentro das faixas desejáveis para a cultivar utilizada (IRGA 424) e compatíveis com os rendimentos obtidos. Caso não ocorresse o problema de toxidez por ferro, provavelmente os rendimentos seriam mais elevados. De uma maneira geral, esses parâmetros não foram afetados pelo nível de adubação e pelas coberturas de inverno, exceção feita para o número de panículas por m², que foi maior quando o arroz foi cultivado em área previamente cultivada com azevém + cornichão. No entanto, como se trata de apenas um componente da produção, isso não deve ter sido suficiente para determinar um mesmo comportamento no rendimento de grãos (Tabela 7).

Tabela 8: Estande inicial de plantas, esterilidade das espiguetas e componentes do rendimento de arroz irrigado cultivado em rotação com soja e sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno em função de níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2008/09.

Coberturas de inverno	Adubação		Densidade Plantas m ²	Número panículas m ²	Grãos panícula	Esterilidade %	Peso 1000 grãos
	Arroz						
Pousio	Baixa ⁽¹⁾	Nd ⁽³⁾	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
	Alta ⁽²⁾	240ns	728ab	58ns	15ns	25ns	
Azevém	Baixa	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	
	Alta	220	692b	64	17	25	
Azevém + Cornichão	Baixa	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	
	Alta	215	828a	60	17	25	
Média		226	708	60	15	25	

Significativo pelo teste de Duncan a 5%. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si na coluna.

⁽¹⁾ Aplicada no arroz safra 2008/09, para incremento de produtividade de 2,0 Mg ha⁻¹; (SOSBAI, 2007). ⁽²⁾ Aplicada no arroz safra 2008/09, para incremento de produtividade de 4,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007).

⁽³⁾ Os componentes do rendimento e a esterilidade das espiguetas não foram determinados, no nível baixo de adubação.

4.2.3 Rotação/sucessão arroz/coberturas de inverno/soja

Os rendimentos de massa seca de coberturas de solo no inverno (2008) após o cultivo de arroz irrigado na safra 2007/08 (Tabela 9) foram, em média, 2,7 Mg ha⁻¹, não havendo diferença entre os níveis de adubação, previamente aplicada no cultivo do arroz, havendo interação com as plantas de cobertura. No nível baixo de adubação, o rendimento de soja foi menor no pousio quando comparado ao azevém e ao consórcio azevém + cornichão, não diferindo entre

si. Porém, no nível alto de adubação no arroz irrigado, os maiores rendimentos de soja ocorreram no consórcio azevém + cornichão, seguido do azevém sozinho, que foi maior em relação ao pousio. Esses valores são considerados médios, segundo a classificação de Amado *et al.* (2002). Houve uma redução, quando comparados aos valores obtidos no inverno de 2007. Essa redução, como discutido anteriormente, pode ser devida ao efeito da adubação aplicada nas coberturas de solo no inverno em 2007. Mesmo assim, trata-se de uma produtividade considerável, com potencial de uso para outras atividades, como a pecuária.

Tabela 9: Rendimento de massa seca da parte aérea de espécies de cobertura no inverno e de soja, após um ciclo de espécies de cobertura/arroz em função de dois níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2008/09.

Coberturas	Massa seca coberturas		Rendimento soja	
	Adub. baixa ⁽¹⁾	Adub. Alta ⁽²⁾	Adub baixa ⁽³⁾	Adub. alta ⁽⁴⁾
De inverno	.....Mg ha ⁻¹			
Pousio	2,3b	2,5c	2,7	3,8
Azevém	2,6a	3,0b	3,0	3,9
Azevém + cornichão	2,7a	3,2a	3,2	4,0
Média	2,5 B	2,9 A	2,9 B	3,9 A

Significativo pelo teste de Duncan a 5%, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si na coluna.

⁽¹⁾ Aplicada no arroz na safra 2007/08, para incremento de produtividade de 2,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007). ⁽²⁾ Aplicada no arroz na safra 2007/08, para incremento de produtividade de 4,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007); ⁽³⁾ Aplicada na soja safra 2008/09, para produtividade de 2,0 Mg ha⁻¹ (CQFS RS/SC, 2004); ⁽⁴⁾ Aplicada na soja na safra 2008/09, para produtividade de 4,0 Mg ha⁻¹ (CQFS RS/SC, 2004).

Outro aspecto importante a ser ressaltado, é a questão do estabelecimento inicial das plantas de cobertura, quando em sucessão ao arroz irrigado. Como a cultura do arroz produz maior quantidade de palha, quando comparada à cultura da soja, as condições de alagamento do solo por mais de 120 dias dificulta o estabelecimento das coberturas de solo no inverno. Outro fator que deve ser levado em conta, é que a cultura da soja, além de estar em condições de drenagem mais favorável, termina de perder as folhas bem antes da colheita. Dois efeitos podem ser considerados nesse processo: o primeiro deles é a maior entrada de luz, devido à queda de folhas, e o outro, são as próprias condições geradas pela queda de folhas sobre o solo, entre elas, umidade e temperatura. Isso tudo contribuiria para uma germinação mais

rápida e melhor estabelecimento das plantas de cobertura, o que possibilitaria uma utilização mais cedo, pensando na pecuária, do que quando estabelecido após a cultura do arroz. Não se deve deixar de considerar o efeito de ciclagem de nutrientes (SOUZA, 2001), pois, conforme discutido anteriormente, as produtividades de massa seca foram maiores no maior nível de adubação do arroz, demonstrando o efeito da ciclagem de nutrientes aplicados na cultura do arroz, evitando que eles saiam no sistema, devido às precipitações pluviais, com perdas por escoamento superficial ou lixiviação ao longo do perfil do solo.

Em relação aos rendimentos obtidos com soja cultivada após o arroz, eles foram bastante elevados (Tabela 9), considerando-se, áreas de várzea. Houve efeito do nível de adubação, com maior rendimento de soja no maior nível, não havendo diferenças entre as coberturas de inverno ou de sua interação. Esse é um dos fatores para o sucesso da soja na várzea, e os técnicos e os produtores de arroz não têm conceitos claros sobre sua importância para a cultura da soja. Porém os resultados do presente trabalho demonstram, de forma clara, a viabilidade da rotação arroz irrigado com a soja com intercalação de plantas de cobertura de inverno, com potencial de uso na pecuária.

Tabela 10: Estatura de plantas, altura de inserção de legumes e número de grãos por legume de plantas de soja cultivada em rotação com arroz em função de níveis de adubação e espécies de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2008/09.

Coberturas de inverno	Adubação arroz ⁽¹⁾	Estatura Planta	Inserção legumes	Grãos por legume
		.....cm.....		
Pousio	Baixa ⁽²⁾	76b	6,8ns	2,4ns
	Alta ⁽³⁾	81b	6,6	2,6
Azevém	Baixa	94a	7,4	2,6
	Alta	80b	6,8	2,6
Azevém + Cornichão	Baixa	70b	6,4	2,6
	Alta	70b	7,8	2,6
Média		78	6,9	2,5

Significativo pelo teste de Duncan a 5%. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si na coluna.

⁽¹⁾ Aplicada no arroz safra 2007/08; ⁽²⁾ Adubação para incremento de 2,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007); ⁽³⁾ Adubação para incremento de 4,0 Mg ha⁻¹ (SOSBAI, 2007).

Em relação aos parâmetros avaliados na cultura da soja (Tabela 10), a estatura de plantas ficou na média de 78 cm, uma altura dentro da normalidade, levando-se em conta a cultivar utilizada (BRS Charrua) e as condições climáticas do período, principalmente o excesso de precipitação pluvial. A altura de inserção de legumes e o número de grãos por legume não apresentaram diferenças entre os tratamentos, sendo compatíveis para os rendimentos obtidos.

4.2.4 Sucessão soja/coberturas de inverno/soja

Os rendimentos de massa seca das coberturas obtidos no inverno 2008 na sucessão com soja foram, em média, de 2,8 Mg ha⁻¹, valores também considerados médios pela classificação de Amado (2002). Não houve efeito dos níveis de adubação utilizados na soja, havendo, porém, diferenças entre as coberturas de solo, com azevém e o consórcio azevém + cornichão produzindo mais quando comparados ao pousio, independentemente do nível de adubação.

A cultura da soja apresentou rendimentos elevados, na média, acima de 3,0 Mg ha⁻¹, havendo, porém, efeito de níveis de adubação, sem diferenças entre as coberturas de inverno (Tabela 11). O resultado obtido para soja em cultivos sucessivos, especialmente no nível alto de adubação, com rendimentos da faixa de 3,5 Mg ha⁻¹, é interessante, pensando-se em áreas de várzea, devido aos problemas de infestação com arroz vermelho. O controle de plantas daninhas infestantes do arroz irrigado, principalmente arroz vermelho, é, provavelmente, a maior contribuição da rotação de culturas (PETRINI *et al.*, 1998). Em áreas com alta infestação, são necessários, no mínimo, dois ciclos, associados a outras práticas de manejo para eficiente controle dessa planta daninha.

Diante disso, os resultados obtidos com este trabalho demonstram a viabilidade para cultivo de soja na várzea em dois anos consecutivos, obtendo-se elevados rendimentos, além da produção de espécies de cobertura de inverno, que pode ser utilizada para a integração lavoura-pecuária.

Tabela 11: Rendimento de massa seca de espécies de cobertura no inverno e de soja, após um ciclo de espécies de cobertura/soja em função de dois níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2008/09.

Cobertura de solo No inverno	Massa seca coberturas		Rendimento soja	
	Adub. baixa (1)	Adub. Alta(2)	Adub. baixa(3)	Adub. Alta(4)
	.....Mg ha ⁻¹			
Pousio	2,3b	2,6b	2,5	3,3
Azevém	2,9a	3,3a	2,8	3,7
Azevém + cornichão	2,9a	3,2a	2,7	3,5
Média	2,7	3,0	2,6b	3,5a

Significativo pelo teste de Duncan a 5%, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si na coluna.

(1) Adubação para produtividade de 2,0 Mg ha⁻¹ de soja na safra 2007/08 (CQFS RS/SC, 2004).

(2) Adubação para produtividade de 4,0 Mg ha⁻¹ de soja na safra 2007/08 (CQFS RS/SC, 2004).

(3) Adubação para produtividade de 2,0 Mg ha⁻¹ de soja na safra 2008/09 (CQFS RS/SC, 2004).

(4) Adubação para produtividade de 4,0 Mg ha⁻¹ de soja na safra 2008/09 (CQFS RS/SC, 2004).

A estatura de plantas, a inserção de legumes e o número de grãos por legume, (Tabela 12) não foram afetados pelas espécies de cobertura, níveis de adubação e sua interação, sendo compatíveis com os rendimentos de soja obtidos.

Tabela 12: Estatura de plantas, inserção de legumes e número de grãos por legume de plantas de soja cultivada em sucessão com soja em função de níveis de adubação e espécies de cobertura de solo no inverno. Cachoeirinha-RS, 2008/09.

Coberturas de inverno	Adubação soja ⁽¹⁾	Estatura	Inserção	Grãos
		Planta	legumes	por legume
		.....cm.....		.....n ^o
Pousio	Baixa ⁽²⁾	82ns	6,7ns	2,6ns
	Alta ⁽³⁾	83	6,3	2,6
Azevém	Baixa	79	6,5	2,4
	Alta	81	7,2	2,5
Azevém + cornichão	Baixa	77	6,4	2,6
	Alta	85	7,3	2,6
Média		81	6,7	2,5

ns: Não significativo.

(1) Aplicada na soja safras 2007/08 e 2008/09; (2) Adubação para produtividade de 2,0 Mg ha⁻¹ (CQFS RS/SC, 2004). (3) Adubação para produtividade de 4,0 Mg ha⁻¹ (CQFS RS/SC, 2004).

4.3 ROTAÇÃO E SUCESSÃO DE CULTURAS E O RENDIMENTO DE ARROZ IRRIGADO E DE SOJA

Os resultados de rendimento de massa seca das coberturas de inverno e de grãos de arroz irrigado e de soja do segundo ano (Tabela 13) envolvem as diferentes sucessões e rotações dessas culturas, na média das espécies de cobertura no inverno. Os seus efeitos na cultura do arroz irrigado para o nível baixo de adubação não foram determinados como descrito anteriormente, devido aos problemas de toxidez por ferro. Para o nível alto de adubação, os rendimentos de arroz foram superiores no sistema de rotação soja/coberturas de inverno/arroz, quando comparados ao arroz cultivado de maneira contínua. Trata-se de um ganho substancial ($0,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) e representa um incremento econômico considerável, mesmo que os resultados sejam de apenas um ciclo completo de rotação, ao longo dos anos essas diferenças tendem a ser maiores. Além disso, a rotação de culturas proporciona que áreas que anteriormente vinham produzindo muito pouco, voltem a ser cultivadas com arroz com rendimentos elevados. São inúmeras as vantagens de sistemas de rotação de culturas em áreas de várzea: preparo antecipado de solo, controle de plantas daninhas, melhoria da fertilidade dos solos, controle de pragas e doenças, melhor exploração do solo, alternativa de renda, diversificação, entre outros, porém, muito tem de se avançar ainda. Acredita-se que as vantagens que hoje os produtores têm com os sistemas de rotação são basicamente o melhor controle de plantas daninhas, visto que, após a cultura da soja, a grande maioria mantém o solo sem cobertura até o retorno da cultura do arroz, e os benefícios do uso de coberturas de solo, principalmente, na ciclagem de nutrientes, que não estão sendo incluídos no processo de produção.

Os resultados evidenciam as vantagens que a cultura da soja pode trazer ao arroz irrigado cultivado em sucessão. Atribui-se esses resultados ao aporte de N ao sistema, uma vez que não houve diferenciação dos rendimentos de massa seca das coberturas entre os sistemas de sucessão e rotação (Tabela 13).

Em relação aos resultados obtidos para a cultura da soja (Tabela 13), os rendimentos foram elevados, acima das $3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, em ambos os sistemas, que não se diferenciaram entre si. Houve somente efeito do nível de adubação,

conforme discutido anteriormente. Isso demonstra a viabilidade da soja em áreas de várzea, desde que utilizadas as cultivares melhores adaptadas e indicadas pela pesquisa, (LANGE 2009 e 2010) e adotadas as práticas de manejo visando minimizar os estresses causados principalmente pelo excesso hídrico, entre eles destaca-se a drenagem.

Porém vale ressaltar algumas condições indispensáveis ao bom estabelecimento da cultura da soja na várzea que são elas: o tipo de solo, essa área era sistematizada, a drenagem, o número de drenos deve ser suficiente para retirada do excesso de água no menor espaço de tempo possível, a escolha da cultivar, melhor adaptada a essas condições, adubação baseada na análise de solo e em quantidade suficiente para obter elevadas produtividades, e um manejo fitossanitário adequado.

Tabela 13: Rendimento de massa seca das espécies de cobertura de solo no inverno e de grãos de arroz irrigado e de soja cultivados no verão em rotação ou de maneira contínua, em função de dois níveis de adubação. Cachoeirinha-RS, 2008/09.

Sistemas	Massa seca		Rendimento grãos	
	Ad. Baixa	Ad. Alta	Ad. Baixa	Ad. Alta
	.....Mg ha ⁻¹			
	Espécies de cobertura		....Arroz....	
Arroz/cobertura/arroz	2,3	2,9	Nd	7,3 b
Soja/cobertura/arroz	2,5	3,1	Nd	8,0 a
Média	2,4	3,0	Nd	7,6
			....Soja....	
Arroz/cobertura/soja	2,5	2,9	2,9	3,9 ns
Soja/cobertura/soja	2,7	3,0	2,6	3,5
Média	2,6	3,0	2,8 B	3,7 A

ns, não significativo.

Significativo pelo teste de Duncan a 5%. Letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna seguidas de mesma letra não diferem entre si.

5 CONCLUSÕES

- A produtividade de arroz irrigado cultivado em um Planossolo Háplico, na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, em sistemas de rotação e sucessão de culturas é maior do que a obtida com o arroz cultivado de maneira contínua.

- O manejo adequado de espécies de cobertura de solo propicia um bom estabelecimento da cultura do arroz cultivado em sucessão.

- A cultura da soja é uma alternativa viável em áreas de várzea do Estado, e pode produzir altos rendimentos, respeitando-se o manejo recomendado.

- A toxidez por ferro reduz a produtividade do arroz irrigado, cultivado em um Planossolo Háplico, especialmente nos níveis mais baixos de adubação.

- Apesar dos benefícios dos sistemas de rotação e sucessão no cultivo do arroz irrigado, a adubação ainda se constitui um fator importante na sua sustentabilidade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. S. de. **A alepopatia e as plantas**. Londrina: IAPAR, 1988. 60p.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Indicação de adubação nitrogenada no RS e SC adaptada ao uso de plantas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, p.241-248, 2002.

ANGHINONI, I.. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema de plantio direto In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.) **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 874-819.

AVILA, L.A. de; MARCHEZAN, E.; SCIVITTARO, W.B.; PORTO, M.P.; SILVA, R.P. da; VILLA, S.C.C. Produção de Milho, soja e sorgo em solo de várzea, com diferentes níveis de adubação de “P” e “K”. In: REUNIÃO TÉCNICA DO MILHO, 45, REUNIÃO ANUAL DO SORGO, 28., 2000, Pelotas. **Anais...Pelotas: Embrapa Clima Temperado**, 2000. p. 480-487. Embrapa Clima Temperado. Documentos, 80.

AZAMBUJA, I. H. V.; VERNETTI JÚNIOR, F. J.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. Aspectos socioeconômicos da produção de arroz. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. (Ed.) **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 23-44.

BACANAMWO, M.; PURCELL, L. C.. Soybean root morphological and anatomical traits associated with acclimation to flooding. **Crop Science**. Madison, v. 39, p. 143-149, 1999.

BARBOSA FILHO, M. P.. **Nutrição e adubação do arroz; sequeiro e irrigado**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1987. 120p. (Boletim Técnico, 9).

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.

BOHNEN, H.; SILVA, L. S. DA; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Organic acids in the soil solution of a gley soil cropped with lowland rice under different systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 475-480, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico 30).

CAMARGO, F. A. O.; ZONTA, E.; SANTOS, G. A. Aspectos fisiológicos e caracterização de toxidez a ácidos orgânicos voláteis em plantas. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 523-529, 2001.

CHEN, C.C.; DIXON, J.B.; TURNER, F.T. Iron coatings on Rice roots; mineralogy and quantity influencing factors. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.44, p.635-639, 1980.

CQFS RS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DOSOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed.. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **11º Levantamento da safra 2009/10**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/olallacms/uploads/arquivos/8218897d1eb>>. Acesso em: 06 ago. 2010.

COUNCE, P.A. KEISLING, T.C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.

DA ROS, A. O.; AITA, C.. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 20, n. 1, p. 135-140, 1996.

DIAS, A. D.; GOMES, A. da S.; PEÑA, Y. A.; SOUZA, R. O. Desempenho do arroz irrigado em plantio direto sob diferentes coberturas vegetais. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 21, 1995, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 1995. p. 146-149.

EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 75-95.

GUINDANI, R. H. P.; ANGHINONI, I.; NATCHIGALL, G.R. DRIS na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, p. 109-118, 2009.

HEATHERLY, L. G.; PRINGLE, H. C.. Soybean cultivar's response to flood irrigation of clay soil. **Agronomy Journal**. Madison, v. 83, p. 231-236, 1991.

HOWELLER, R. H.. Iron-induced orangine disease of rice in relation to physico-chemical changes in a flooded oxisol, **Soil Science Society of America Proceedings**. Madison, v. 37, p. 898-903, 1973.

IPAGRO. Guaíba. In: **Observações meteorológicas no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. 1979. p. 55-66. (Boletim Técnico, 3).

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Dados de safra – Acompanhamento semanal da colheita**. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=dados_safra>. Acesso em: 26 jul. 2010.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **Standard evaluation system for rice**. Los Baños, Phillipines: IRRI, 1975. p. 20.

KOUTROUBAS, S. D.; NTANOS, D. A. Genotype differences for grain yield and nitrogen utilization in indica and japonica rice under Mediterranean conditions. **Field Crops Research**. Amsterdam, v. 83, p. 251–260, 2003.

LANGE, C. Avaliação de desempenho agrônômico de cultivares comerciais de soja cultivados em solo de várzea. In: REUNIÃO ANUAL DE PESQUISA, 7, Cachoeirinha, 2009. **Relatório Técnico 7**. Cachoeirinha: IRGA, 2009. p. 526-539.

LANGE, C. Avaliação de desempenho agrônômico de cultivares comerciais de soja cultivados em solo de várzea. In: RELATÓRIO ANUAL DE PESQUISA, 8., Cachoeirinha, 2010. **Relatório Técnico 8**. Cachoeirinha: IRGA, 2010. p. 541-562.

LANTIN, R. S.; NEUE, H. V. Iron toxicity; a nutritional disorder in wetland rice. In: REUNIÃO DO ARROZ IRRIGADO, 18. Pelotas, 1988. **Anais...** Pelotas, 1988. 16p. Palestra apresentada.

LOPES, M. S. Efeito da adubação e da calagem sobre a produtividade e a toxidez de ferro no cultivar BR IRGA 409. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 16, Balneário Camboriú, 1987. **Anais...** Florianópolis: Empasc, 1987.

LOPES, M. S.; MACHADO, M. O. Efeito da adubação e calagem sobre a produtividade e a toxidez de ferro na cultura do arroz irrigado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ, 14, Pelotas, 1985. **Anais...** Pelotas: Embrapa, 1985. p. 202-208.

MADRUGA, E. F. **Efeito da aplicação de material vegetal e nitrato sobre a redução do solo**. Pelotas 1998. 47 f. Dissertação (Mestrado em solos) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, 1998.

MARCHEZAN, E. Rotação de culturas em áreas de arroz. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 21, 1995, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 1995. p. 15-16.

MENEZES, V. G.; ANDRES, A; SOUZA, P. R. de; CARRÃO, V. H. Serradela nativa: uma alternativa de inverno para as várzeas do sul do Brasil. **Lavoura Arroeira**, Porto Alegre, v. 47, n. 415, p. 19-22, 1994.

MENEZES, V. G.; MARIOT, C. P.; LOPES, M. C. B.; SILVA, P. R. F.; TEICHMANN, L.L. Semeadura direta de genótipos de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de inverno. **Pesquisa agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36, n. 9, set. 2001.

MENEZES, V.G.; MACEDO, V.R.M.; ANGHINONI, I. **Projeto 10**: estratégias para o aumento de produtividade, competitividade e sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado no RS. IRGA. Divisão de Pesquisa: Cachoeirinha, 2004. 32p.

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potássio e do Fosfato – POTAFOS, 2005. p. 165-178.

MONTEALEGRE, F.A.; VARGAS, J. P. Efecto de algunas practicas culturales sobre la poblacion de arroz rojo y los rendimientos del cultivo comercial. **Arroz**. Bogotá, v. 38, p.19-24, 1989.

MOREL, D. A.; MACHADO, M. O. Ocorrência de toxidez de ferro em arroz irrigado no estado de Santa Catarina. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ, 7, Pelotas, 1978. **Anais...** Pelotas: Embrapa Pelotas, 1978.

OTTOW, J.C.G.; BENCKISER, G.; WATANABE, I.; SANTIAGO, S. Multiple nutritional soil stress as the prerequisite for iron toxicity of wetland rice (*Oryza sativa* L.) . **Tropical Agriculture**. Trinidad, v.60. p. 102-106, 1983.

PAULETTO, E.A.; TURATTI, A.L.; GOMES, A da.S. Produtividade do arroz irrigado em sistema de cultivo contínuo e em rotação com soja e milho – 1991. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 19., 1991, Balneário Camburiú. **Anais...** Florianópolis; EMPASC, 1991. P.125-129.

PAVINATO, A.; AITA, C.; CERETTA, C.A.; BEVILAQUÁ, G.P. Resíduos culturais de espécies de inverno e rendimento de grãos de milho no sistema de cultivo mínimo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.9, p 1427-1432, set 1994.

PETRINI, J.A., RAUPP, A.A.A., PARFITT, J.M.B., FRNCO, D.F. Controle do arroz vermelho (*Oryza sativa* L.) com o uso de culturas em rotação com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 6., 1998, Goiânia. Perspectivas para a cultura do arroz nos ecossistemas de várzea e terras altas. **Anais...** Volume I. Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1998. p.377-380)EMBRAPA-CNPAP. (Documentos, 85).

PINTO, L. F. S.; LAUS NETO, J.A.; PAULETTO, E.A. Solos de Várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: Gomes, A.S.; MAGALHÃES, A.M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004. p. 45-95.

PINTO, E. G.; RIGHES, A. A.; MARCHEZAN, E. Rendimento do arroz e manejo da irrigação de azevém no sistema mix pré-germinado. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 33, n. 2, p.227-231, 2003.

PIRES, J. L. F. ; Soprano, E.; Cassol. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 1, p. 41-50, 2002.

PONNAMPERUMA, F. N.. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**. New York, v. 24, p. 29-96, 1972.

REGO, P. G.. Economia das rotações de cultura em plantio direto. **Revista Mensal Batavo**. Castro, ed. 31, 1994. p. 20-28.

SÁ, J. C. M. de. **Manejo de nitrogênio na cultura do milho no sistema de plantio direto**. Passo fundo: Aldeia Norte, 1996. 24p.

SCHOENFELD, R.; GENRO JUNIOR, S.A.; MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M.; ANGHINONI, I. Estratégia de adubação para incremento de produtividade do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 27, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. v. 1, p. 555-558.

SCHOENFELD, R.; GENRO JUNIOR, S.A.; MARCOLIN, E.; ANGHINONI, I. Estratégia de adubação para incremento de produtividade do arroz irrigado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 12; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 10; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 7, 2008. Londrina. **Anais...** 2008: FertBio, 2008: Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental: Londrina, 2008. CD-ROM.

SILVA, Leandro Souza da; RANNO, Sidnei Küster. Calagem em solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 35, n. 5, out. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010384782005000500011&lng=pt&nrm=iso>. Acessos em: 15 ago. 2010.

SILVEIRA, P. M. da *et al.*. Efeito da sucessão de cultura e do preparo do solo sobre o rendimento do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 33, n. 6, p. 885-890, 1998.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. **Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Santa Maria, 2005. 159p.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. **Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Pelotas, 2007. 164p.

SOUZA, R. O.; BORTOLON, L. Crescimento radicular e da parte aérea do arroz (*Oryza sativa* L.) e absorção de nutrientes em solução nutritiva com diferentes concentrações de ácido acético. **Revista Brasileira de Agrociência**. Pelotas , v. 8, n. 3, p. 231-235, 2002.

SOUZA, R.; CAMARGO, F.A.O.; VAHL, L.C. Solos Alagados (reações de redox). In: MEURER, E. J. (Ed.) **Fundamentos de Química do Solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. P. 185-211.

SOUZA, R.O. ; GOMES, A.S.; VAHL, L.C. Toxidez por ferro em arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p 305-334.

SOUZA, R.O. **Oxirredução em solos alagados afetada por resíduos vegetais**. 2001. 164 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

SOUZA, R.O. **Alternativas tecnológicas que visam a minimizar o efeito da toxidez por ferro em arroz irrigado (*Oryza sativa* L.)**. 1991. 96 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas RS, 1991.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N. ; DALMOLIN, R.S.D. ; KLAMT, E. ; NASCIMENTO, P.C.; SCHINEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS: UFRGS, 2002. 107 p.

TEDESCO, J.M.; GIANELLO C. BISSANI, C.A.; BOHNEM, H.; VOLKWEISS,S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

THOMAS, A.L.; GUERREIRO, S.M.C.; SODEK, L. Aerenchyma formation and recovery from hypoxia of the flooded root system of nodulated soybean. **Annals of Botany**, Oxford, v.96 n.7, p. 1191-1198, 2005.

VARGAS, L. K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas de plantio direto e convencional. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 76-83, 2005.

VELLOSO, A. C. X.; Oliveira, C.; Leal, J. R. Processos redox em solo glei húmico do Estado do Rio de Janeiro: Variações das concentrações de Fe II e fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 17, n. 1, p. 27-33, 1993.

VICTORIA, R.L.; PICCOLO, M.C.; VARGAS, A. A. T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S.M.; NEVES, M. C. P.(Coord). **Microbiologia do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 105-119.

WASSMAN, R.; NEUE, H. U.; LANTIN, R. S.; JAVELLANA M. J.; DIEGO, R., LIGNES, V. E.; HOFFMANN, H., PAPEN, H. Methane emissions from rainfed rice. In: Fragile lives in fragile ecosystems. Philippines: **International Rice Research Institute**, p. 217-225, 1995.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of Rice Crop Science**. Lo Baños: International Rice Research Institute, 1981. 269p.

APÊNDICE 1

Análise de solo da área experimental



INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ
DIVISÃO DE PESQUISA - ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO ARROZ
LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE SOLO
Av. Bonifácio Carvalho Bernardes, 1494 - Cachoeirinha, RS, Brasil
Fone: (51) 470.0611 - Fax: (51) 470.0616 - E-mail: labsolos@via-rs.net
Vinculado à Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo do RS e SC - ROLAS

LAUDO DE ANÁLISE DE SOLO

Nome: TRANSGENICO
Município: CACHOEIRINHA
Estado: RS

Data de recebimento: 28.08.2001
Data de emissão: 06.12.2006

Amostra	Registro	Argila %	pH Água 1:1	Índice SMP	P mg/L	K mg/L	% M. O. mV	Al cmol _e /L	Ca cmol _e /L	Mg cmol _e /L
0	2712	21	4,4	5,3	18,0	38	3,1	1,9	0,9	0,3

Amostra	Registro	H + Al	CTC (cmol _e /L)		Saturação (%)		Relações			
			Efetiva	pH 7,0	Al	Bases	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	K/Ca+Mg
0	2712	9,7	3,2	11,0	59,4	11,8	3,0	9,3	3,1	0,08

Amostra	Identificação da amostra	Fe mg/L	Mn mg/L	Cu mg/L	Zn mg/L	S mg/L	B mg/L	Na mg/L

Responsável Técnico

APÊNDICE 2

Análise de germinação das sementes de azevém e cornichão/2008



INFORME N° 01 /A e 02 /C /2008

IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz
LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SEMENTES
 Credenciado pelo MAPA – RENASEM RS1331/2007
 Av. Bonifácio Carvalho Bernardes nº1494
 Telefones: FAX(051)3470.06.46
 CEP: 94930 030 – Cachoeirinha
 Rio Grande do Sul – Brasil

Resultado da análise de Azevém e Cornichão

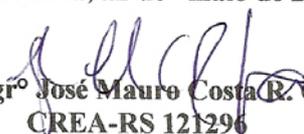
Requerente: INTERNO - EEA

Município : CACHOEIRINHA RS

OBS: Resultados referentes a FICHAS INTERNAS 01 A /08 e 02 C /08, sendo A= Azevém e C= Cornichão, sómente germinação, sendo aprovadas pelo índice abaixo.

Amostra N°	Pureza	Material Inerte(%)	Anormais	Mortas	Germinação (%)
* 01 A /08	-0-	-0-	3	20	77
* 02 C /08	-0-	-0-	4	16	80

Cachoeirinha, 12 de maio de 2008.


 Eng° Agr° José Mauro Costa R. Guma
 CREA-RS 121296