

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**IRRIGAÇÃO CONTÍNUA E INTERMITENTE EM
ARROZ IRRIGADO: USO DE ÁGUA, EFICIÊNCIA
AGRONÔMICA E DISSIPAÇÃO DE IMAZETHAPYR,
IMAZAPIC E FIPRONIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rafael Friguetto Mezzomo

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**IRRIGAÇÃO CONTÍNUA E INTERMITENTE EM ARROZ
IRRIGADO: USO DE ÁGUA, EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E
DISSIPAÇÃO DE IMAZETHAPYR, IMAZAPIC E FIPRONIL**

por

Rafael Friguetto Mezzomo

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Prof. Luis Antonio de Avila

Santa Maria, RS, Brasil

2009

Mezzomo, Rafael Friguetto, 1983

M617i

Irrigação contínua e intermitente em arroz irrigado : uso de água, eficiência agronômica e dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil / por Rafael Friguetto Mezzomo ; orientador Luis Antonio de Avila. – Santa Maria, 2009.
60 f. ; Il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2009.

1. Agronomia 2. Arroz irrigado 3. Controle de plantas daninhas 4. DT₅₀ 5. Imazethapyr 6. Imazapaic 7. Fipronil I. Avila, Luis Antonio de, orient. II. Título.

CDU: 633.18.03

Ficha Catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB/10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2009

Todos os direitos autorais reservados a Rafael Friguetto Mezzomo. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Paraíba, n. 99, Bairro Nossa senhora de Lurdes, Santa Maria, RS, 97060-470

Fone (0xx)55 32213739; End. Eletr: rafaelfmezzomo@gmail.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**IRRIGAÇÃO CONTÍNUA E INTERMITENTE EM ARROZ IRRIGADO:
USO DE ÁGUA, EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E DISSIPAÇÃO DE
IMAZETHAPYR, IMAZAPIC E FIPRONIL**

elaborada por
Rafael Friguetto Mezzomo

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Luis Antonio de Avila, Ph.D.
(Presidente/Orientador)

José Alberto Noldin, Ph.D. (EPAGRI)

Enio Marchesan, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 19 de fevereiro de 2009.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais

Alcides Mezzomo

Maria Friguetto Mezzomo

Aos meus irmãos

Adriana F. Mezzomo

Fernanda F. Mezzomo

Francisco F. Mezzomo

À minha noiva

Gicele Dalmolin Londero

Às minhas avós

Augusta M. Friguetto

Anália C. Mezzomo

AGRADECIMENTOS

À Deus e a todos Anjos e Santos aos quais rezo todas noite, agradecendo o dia que passou e pendido benção para o próximo dia.

Aos meus pais, irmãos e noiva pelo apoio, carinho, compreensão neste período.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização desse curso.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Ao professor Orientador Luis Antonio de Avila pela amizade, sinceridade, ensinamentos e incansável dedicação e orientação durante o curso de Pós-Graduação.

Aos professores Sylvio Henrique Bidel Dorneles, Enio Marchesan, Sérgio Machado, Flávio Eltz, Reimar Carlesso, Sidnei Lopes, Alessandro Lúcio, Nereu Streck, Joseph Harry Massey, José Denardim e João Eduardo Pereira pela amizade, idéias e pelo qualificado ensinamento oferecido.

Aos estagiários e ex-estagiários do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado e Uso Alternativo de várzeas, em especial à Getúlio Rigão, Thiago Castro, Rafael Bruck, Daltro Bernardes, Diogo Cezimbra, Tiago Rossato, Paulo Massoni, Guilherme Cassol e Militão Macedo Neto pelo apoio nos trabalhos de pesquisa.

Aos colegas de curso de Pós-Graduação Alejandro Kraemer, Gustavo Teló, Fernando Martini, Melissa Walter, Ramon Méndez, Danie Sachotene e Bernardo Zanardo pela amizade, incentivo, convívio e colaboração.

À todos os meus amigos que contribuíram direta ou indiretamente com o êxito desse trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

IRRIGAÇÃO CONTÍNUA E INTERMITENTE EM ARROZ IRRIGADO: USO DE ÁGUA, EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E DISSIPAÇÃO DE IMAZETHAPYR, IMAZAPIC E FIPRONIL

AUTOR: RAFAEL FRIGUETTO MEZZOMO

ORIENTADOR: LUIS ANTONIO DE AVILA

Santa Maria, 19 de fevereiro de 2009.

Toda a atividade antrópica causa impacto ambiental de algum nível. A lavoura de arroz irrigado é apontada como uma atividade com alto potencial poluidor por usar grande volume de água para manter a lâmina de irrigação e também por ser um cultivo que demanda o intenso uso de agrotóxicos e nutrientes que podem ser transportados para o ambiente. Entretanto existem alternativas de manejar a lâmina de irrigação que podem diminuir esse impacto ocasionado pela orizicultura. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o efeito do manejo de irrigação contínua e intermitente no balanço de água (lâmina de água aplicada e lâmina de água extravasada), na eficiência do uso da água, no controle de plantas daninhas, nos parâmetros agronômicos e na dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil. A irrigação intermitente ocasiona produtividade de grãos semelhante à irrigação contínua. Além disso, proporciona economia de 32% do volume de água aplicado, resultando em uma maior eficiência do uso de água ($1,68 \text{ kg m}^{-3}$) do que a irrigação contínua ($1,14 \text{ kg m}^{-3}$). Essa economia está relacionada devido ao maior volume de água da chuva armazenada. Dessa forma, a irrigação intermitente também promove redução de 40% no volume de água escoada superficialmente e menor contaminação ambiental, proporcionando uma redução, na média dos três agrotóxicos avaliados, de 90% da massa de ingrediente ativo de agrotóxicos transportados para o ambiente em relação ao total aplicado na lavoura.

Palavras-chave: Arroz irrigado; controle de plantas daninhas; DT_{50} , esterilidade de espiguetas; imazethapyr; imazapic; fipronil.

ABSTRACT

M. S. Dissertation
Programa de Pós-Graduação Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

INTERMITTENT AND CONTINUOUS FLOODING IN RICE: WATER USE, AGRONOMIC EFFICIENCY AND IMAZETHAPYR, IMAZAPIC AND FIPRONIL DISSIPATION

AUTHOR: RAFAEL FRIGUETTO MEZZOMO

ADVISER: LUIS ANTONIO DE ÁVILA

Santa Maria February 19, 2009.

Every anthropogenic activity causes environmental impact in some extent. Rice paddy fields area are pointed out as an activity with high potential of pollution due to the large amount of water used to maintain the flooding and the intensive use of pesticides and nutrients that can be transported to the environment. Though, there are other irrigation management practices that can reduce the environmental impact caused by the rice farming. Based on that, the objective of this study was to investigate the effect of the continuous and intermittent flooding on the amount of water applied and the amount of water transported to the environment, on water use efficiency, on weed control, on agronomic parameters of the rice plants and on dissipation of imazethapyr, imazapic and fipronil. The intermittent flooding resulted in crop yield similar to continuous irrigation. In addition, it reduced in 32% the amount of water applied, resulting in a better water use efficiency (1.68 kg m⁻³) than the continuous flooding (1.14 kg m⁻³). Water saving is promoted by the higher amount of rainfall stored in the intermittent flooding. The intermittent flooding reduces 40% of the run-off and less environmental contamination, resulting, on the average of the three pesticides a reduction higher than 90% on the mass of pesticide transported to the environment in comparison to the total applied on the rice Field.

Key words: Flood rice; weed control; DT₅₀; spikelet sterility; imazethapyr; imazapic; fipronil.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Efeito da irrigação contínua e intermitente sobre a estatura final de plantas, a data do florescimento, o número de panículas por metro quadrado, o número total de espiguetas por panícula, o número de espiguetas cheias por panícula, a esterilidade de espiguetas, a massa de mil grãos, o rendimento do grão, a produtividade de grãos, o volume de água aplicada na lavoura, a eficiência do uso da água aplicada e o controle de plantas daninhas (arroz vermelho e <i>Aeschynomene</i> spp.). Santa Maria, RS. 2009.	26
TABELA 2. Estrutura molecular, propriedades físico-químicas e classificação pelo método de Goss de imazethapyr, imazapic e fipronil. Santa Maria, RS. 2009.	40
TABELA 3. Balanço de água na lavoura de arroz irrigado manejada no sistema de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.	41
TABELA 4. Taxa de dissipação de agrotóxicos (k_p) e meia-vida de dissipação dos agrotóxicos em água (DT_{50}) nos sistemas de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.	45
TABELA 5. Concentração de imazethapyr, imazapic e fipronil, com respectivos intervalos de confiança (95%), na água transportada por meio do extravasamento para fora da lavoura de arroz manejada nos sistemas de irrigação contínuo e intermitente nos 16 eventos de chuva que ocasionaram extravasamento de água dos 27 eventos ocorridos durante o período do experimento. Santa Maria, RS. 2009. ...	50
TABELA 6. Massa total dos ingredientes ativos dos agrotóxicos transportados para o ambiente por meio da água extravasada da lavoura de arroz e percentagem de ingrediente ativo transportado em relação ao total aplicado na lavoura de arroz	

irrigado manejada nos sistemas de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.51

TABELA 7. Correlação entre algumas propriedades físico químicas dos agrotóxicos (peso molecular, solubilidade em água, K_{ow} , K_{oc} , DT_{50} em água e DT_{50} em solo) e a massa de agrotóxico transportada para fora da lavoura durante o ciclo do arroz irrigado no sistema de irrigação contínuo. Santa Maria, RS. 2008.....51

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Evolução do número de colmos por metro quadrado nos manejos de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.	24
FIGURA 2. Balanço de água observado incluindo precipitação (mm), altura média da lâmina de água (mm) e altura do sistema de drenagem (mm) na irrigação intermitente e contínua. Santa Maria, RS. 2009.....	27
FIGURA 3. Detalhe da parcela da irrigação intermitente no momento de reposição de água, quando o solo se encontrava saturado. Santa Maria, RS. 2009.	37
FIGURA 4. Vista lateral do sistema de armazenamento e pressurização da água de irrigação. Santa Maria, RS. 2009.	37
FIGURA 5. Vista lateral (A) frontal (B) das parcelas, em dois momentos da irrigação com detalhe dos hidrômetros, bóias e régua. Santa Maria, RS. 2009.	38
FIGURA 6. Vista lateral (A) e frontal (B) do sistema coletor de água que extravasava das parcelas por ocasião das chuvas. Santa Maria, RS. 2009	38
FIGURA 7. Concentrações de imazethapyr (A), imazapic (B) e fipronil (C), em $\mu\text{g L}^{-1}$, com seus respectivos intervalos de confiança (95%) na água da lavoura em irrigação contínua e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.....	43
FIGURA 8. Balanço de água observado incluindo lâmina de água aplicada (mm), precipitação (mm), altura da lâmina de irrigação média (mm), extravasamento estimado (mm) e altura do sistema de drenagem (mm) no sistema de manejo de irrigação contínua (A) e intermitente (B). Para lâmina de água aplicada e extravasamento, barras de erro correspondem ao intervalo de confiança em 95% de probabilidade. Santa Maria, RS. 2009.....	47

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO I – Aspectos agronômicos da irrigação intermitente e contínua em arroz irrigado	16
Resumo	16
Abstract	17
Introdução	17
Material e Métodos	20
Resultados e Discussão	23
Conclusão	28
CAPÍTULO II - Uso de água e dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil sob irrigação irrigação contínua e intermitente em arroz	29
Resumo	29
Abstract	30
Introdução	30
Material e Métodos	34
Resultados e Discussão	40
Conclusão	52
CONCLUSÕES GERAIS	53
REFERÊNCIAS	54

INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade básica para a humanidade, que promove a produção de alimentos e também gera empregos no meio rural e urbano. Por outro lado, como toda a atividade humana, a agricultura ocasiona impactos ao meio ambiente. A produção de altas quantidades de alimentos, fibras e agora combustíveis necessitam do uso intensivo dos recursos naturais e de agroquímicos. Esses últimos, de uma forma ou de outra acabam atingindo os mananciais hídricos, tornando-se fonte de poluição difusa (RHEINHEIMER et al., 2003). Essa poluição gera impacto ambiental, sejam na eutrofização de rios, córregos e lagos, ocasionados pela contaminação por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo (SPERLING, 1996) transportados por escoamento superficial, ou ainda na contaminação das águas por agrotóxicos, que podem ocasionar a morte de peixes, macroinvertebrados bentônicos e comunidade perifítica (GOULART; CALLISTO, 2003).

No mesmo sentido, a água é um recurso finito e essencial para a sustentação da vida, do meio ambiente e do conjunto de atividades que movem a economia de um país, com destaque para a agricultura (MACHADO et al., 2003). Segundo Becker (2005), a água é considerada o ouro azul do século XXI devido à escassez e ao crescente uso no mundo, principalmente nos países semi-áridos que utilizam a irrigação em cultivos agrícolas. Ademais, as crescentes expansões demográficas, industriais e agropecuárias provocam alterações negativas na qualidade da água dos rios, lagos e reservatórios (RHEINHEIMER et al., 2003). Nesse contexto, surge a necessidade de desenvolver maneiras mais eficientes de captação, armazenamento e utilização da água, para evitar que essa não falte para as futuras gerações, e também formas de como manejar a lavoura para que a água, que incida sobre ela via precipitação ou irrigação não chegue aos mananciais hídricos com quantidades de agroquímicos que possam causar danos ao ambiente.

A agricultura é considerada a atividade que mais usa água doce, sendo responsável por cerca de três quartos do uso mundial. A água destinada à produção de grãos provém das precipitações ou é retirada dos mananciais hídricos por meio de sistemas de irrigação (SELBORNE, 2001). Além disso, cerca de 40% da produção mundial de alimentos provém da agricultura irrigada (SELBORNE, 2001).

A agricultura irrigada caracteriza-se pelo uso de água ser altamente consumptivo, isso é, um uso em que grande parte ou o total da água captada não retorna aos mananciais de origem (RODRIGUES; IRIAS, 2004). A lavoura de arroz irrigado é apontada como uma atividade com alto potencial poluidor (FEPAM, 2007) por usar grande volume de água para manter a lâmina de irrigação (MACHADO et al., 2006) e também por ser um cultivo que demanda o intenso uso de agroquímicos, principalmente herbicidas, inseticidas e nutrientes (NOLDIN et al., 2001). A cultura do arroz irrigado, por exemplo, é citada por utilizar volumes de água que variam de 5.374 m³ ha⁻¹ (MACHADO et al., 2006) a maiores de 15.000 m³ ha⁻¹ por ciclo (BELTRAME; LOUZADA, 1991).

O alto volume de água usado na cultura do arroz se deve principalmente ao manejo da irrigação por inundação, o qual é caracterizado por manter lâmina de água sobre o solo. Entretanto, a manutenção de lâmina de água possibilita efeitos benéficos para a cultura do arroz irrigado, tais como o auxílio no controle de plantas daninhas (CORRÊA et al., 1997) e o aumento da disponibilidade de nutrientes na solução do solo a serem absorvidos pelas plantas (PONNAMPERUMA, 1972).

O manejo da irrigação na lavoura de arroz irrigado pode ser realizado pelos sistemas de inundação com lâmina de água contínua e/ou intermitente. Comparando os dois sistemas, a irrigação intermitente pode economizar de 22 a 75% do volume de água aplicada (BORRELL et al., 1997; BELDER et al., 2004; STONE, 2005; WATANABE et al., 2007). Essa economia de água se deve à possibilidade de captar com maior eficiência a água das chuvas (TOESCHER et al., 1997; WATANABE et al., 2007). Em alguns casos, a intermitência da lâmina de água pode proporcionar a reinfestação da área por plantas daninhas devido à ausência da barreira física, dependendo da duração do intervalo entre as irrigações (STONE et al., 1990; BORRELL et al., 1997; SANTOS et al., 1999). Dessa forma, as plantas daninhas competem com as plantas de arroz, resultando em menor produtividade de grãos. Esse fato ocorre com o uso de herbicidas que não têm efeito residual, no entanto, há no mercado alguns herbicidas que possuem efeito residual no solo, e que podem contribuir positivamente com a irrigação intermitente. Assim, faz-se necessário realizar estudos sobre o comportamento a ação de herbicidas com características residuais no solo em irrigação intermitente.

Outro aspecto importante da lavoura arrozeira é o transporte de agrotóxicos para o ambiente, sendo que diversos pesquisadores têm encontrado resíduos de

agrotóxicos em rios (HUBER et al., 2000; BOUMAN et al., 2002; CEREJEIRA et al., 2003; PRIMEL et al., 2005; GRUTZMACHER et al., 2007; MARCHEZAN et al., 2007). O principal evento que ocasiona a contaminação dos rios é o escoamento superficial. Esse é caracterizado pelo movimento horizontal do agrotóxico dissolvido em água ou adsorvido aos sedimentos, que podem chegar aos mananciais hídricos (BHUIYAN; CASTAÑEDA, 1995).

Sobre essa ótica, a irrigação intermitente pode reduzir o transporte de agrotóxicos para fora das lavouras, pois ela proporciona maior armazenamento de água das chuvas reduzindo assim o escoamento superficial (WATANABE et al., 2007). Nesse sentido, Watanabe et al. (2007), comparando as perdas acumuladas para o ambiente de herbicidas em irrigação contínua e intermitente em arroz irrigado, encontraram valores de perdas de 37%, 12% e 35% da massa total dos herbicidas simetryn, thiobencarb e mefenacet para a irrigação contínua e apenas perdas cumulativas na ordem de 3,8%, 1,2% e 2,7% da massa total dos mesmos herbicidas para a irrigação intermitente. Em outro estudo, Watanabe et al. (2006), encontraram perdas cumulativas de 38 e 49% do total aplicado de mefenacete e bensulfuron-methyl em área manejada com irrigação contínua. Já na área manejada com irrigação intermitente, não houve transporte de herbicidas, pois não ocorreu extravasamento de água da lavoura por ocasião das precipitações, ou seja, a irrigação intermitente proporcionou maior armazenamento da água das chuvas do que a irrigação contínua.

Os efeitos positivos do sistema de irrigação intermitente quando comparado com a irrigação contínua são variáveis, dependendo das condições edafoclimáticas, como tipo de solo, topografia e precipitação, e também das condições de manejo, como tipo de herbicidas usado e também frequência de irrigação. Dessa forma, torna-se necessário estudar esse manejo de irrigação, em arroz irrigado no Rio Grande do Sul, pois a irrigação intermitente pode ser uma alternativa de manejo para reduzir o uso de água e o transporte de agrotóxicos da lavoura para ambiente não-alvo, sem afetar significativamente a produtividade de grãos. Com isso, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o efeito do manejo de irrigação contínua e intermitente no balanço de água (lâmina de água aplicada e volume de água extravasada), na eficiência do uso da água, no controle de plantas daninhas, nos parâmetros agronômicos e na dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil.

CAPÍTULO I

ASPECTOS AGRONÔMICOS DA IRRIGAÇÃO INTERMITENTE E CONTÍNUA EM ARROZ IRRIGADO

RICE AGRONOMIC PARAMETERS UNDER INTERMITENT AND CONTINUOUS FLOODING

Resumo

A cultura do arroz irrigado usa grande volume de água, sendo necessária a busca de sistemas de manejo de irrigação que utilizem menor volume de água sem comprometer a produtividade de grãos do arroz irrigado. Nesse sentido, foi desenvolvido um experimento com o objetivo de estudar o efeito dos manejos de irrigação contínua e intermitente no controle de plantas daninhas, no volume de água aplicada, na eficiência do uso da água e nos parâmetros agronômicos das plantas de arroz. O experimento foi conduzido em campo, na área de várzea do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, durante o ano agrícola de 2007/2008. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por dois manejos de irrigação: contínua e intermitente. A irrigação intermitente proporciona produtividade de grãos semelhante à irrigação contínua. Além disso, promove economia de 32% do volume de água aplicado e maior eficiência do uso de água ($1,68 \text{ kg m}^{-3}$) do que a irrigação contínua ($1,14 \text{ kg m}^{-3}$), não afetando o controle de plantas daninhas e o ciclo da cultivar IRGA 422 CL.

Palavras-chave: *Oryza sativa*; controle de arroz vermelho; produtividade; volume de água aplicado.

Abstract

Flooded rice production uses a large amount of water, so it is necessary to find irrigation systems that promote reduction in water application without the risk of reducing crop yield. For this reason it was carried out an experiment aiming to study the effect of continuous and intermittent flooding on weed control, water use, water efficiency and on the agronomic parameters of the rice crop. The experiment was conducted in 2007/2008 growing season on paddy rice at University Federal of Santa Maria. In the experiment, a completely randomized design was used, with four replications. The treatments were composed by two different irrigation systems: continuous and intermittent flooding. The intermittent flooding system resulted in crop yield similar to continuous flooding. In addition, it reduced in 32% the amount of water applied, resulting in a better water use efficiency (1.68 kg m^{-3}) than the continuous flooding (1.14 kg m^{-3}). In addition, it did not affect weed control and the IRGA 422 CL cultivar life cycle.

Key words: *Oryza sativa*; red rice control; yield; water volume use.

Introdução

A água é um recurso de suma importância para a sustentação da vida, do ambiente e de um conjunto de atividades que movem a economia de um país, com destaque para a agricultura (MACHADO et al., 2003). Segundo Becker (2005), a água é considerada o ouro azul do século XXI devido à escassez e ao crescente uso no mundo, principalmente nos países semi-áridos que utilizam a irrigação em cultivos agrícolas. Ademais, há previsões de que a disputa por água pode chegar a conflitos armados. Nesse contexto, surge a necessidade de desenvolver maneiras mais eficientes de captação, armazenamento e utilização da água, para evitar que essa não falte para as futuras gerações.

A agricultura é considerada a atividade que mais usa água doce, sendo responsável por cerca de três quartos do uso mundial. A água destinada à produção de grãos provém das precipitações ou é retirada dos mananciais hídricos por meio de sistemas de irrigação (SELBORNE, 2001). Além disso, cerca de 40% da produção mundial de alimentos provém da agricultura irrigada (SELBORNE, 2001). A cultura do arroz irrigado, por exemplo, é citada por utilizar grande volume de água,

variando de $5374 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (MACHADO et al., 2006) a maiores de $15000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ por ciclo (BELTRAME; LOUZADA, 1991).

Esse alto volume de água usado na cultura do arroz se deve ao manejo de irrigação por inundação, o qual é caracterizado por manter lâmina de água sobre o solo. No entanto, o volume realmente necessário para a cultura do arroz irrigado por inundação é o mesmo usado pelas plantas para crescer e transpirar (STONE, 2005). Grande parte do volume de água aplicado na lavoura pode ser perdido por percolação, fluxo lateral, evaporação da superfície solo-água e, em alguns casos, pode ocorrer perdas por escoamento superficial através das taipas durante a ocorrência de chuva (TUONG; BHUIYAN, 1999; TABBAL et al., 2002; STONE, 2005).

Entretanto, a manutenção de lâmina de água possibilita efeitos benéficos para a cultura do arroz irrigado, tais como o auxílio no controle de plantas daninhas (CORRÊA et al., 1997) e o aumento da disponibilidade de nutrientes na solução do solo a serem absorvidos pelas plantas (PONNAMPERUMA, 1972). A lâmina de irrigação formada sobre o solo funciona como uma barreira física, impedindo a germinação de sementes de plantas invasoras que estão localizadas no solo devido à redução de oxigênio promovido pela mesma (BORRELL et al., 1997; VILLA et al., 2006). A água também contribui para o melhor funcionamento dos herbicidas (VILLA et al., 2006), principalmente para os que são absorvidos via raiz. O estabelecimento da lâmina de água proporciona aumento da solubilidade dos agrotóxicos, favorecendo a sua dessorção dos colóides para a solução do solo, tornando-se passíveis de absorção pelas raízes das plantas (LEE et al., 2004; AVILA et al., 2005). Outro benefício da inundação é que ela proporciona aumento da disponibilidade dos nutrientes (SILVA et al., 2008) devido à alterações do pH da solução do solo. Dependendo do pH inicial da solução, ocorre aumento ou redução do pH, atingindo valores próximos à neutralidade (6,7 – 7,2) (PONNAMPERUMA, 1972), fazendo com que alguns nutrientes se tornem mais disponíveis para as plantas.

O manejo da irrigação na lavoura de arroz irrigado pode ser realizado pelos sistemas de inundação com lâmina de água contínua e/ou intermitente. A irrigação intermitente pode variar quanto ao grau de umidade do solo com que é reiniciada. Já a inundação contínua pode ser manejada de duas maneiras: com lâmina de água corrente ou com lâmina de água estática (CORRÊA et al., 1997). A maneira como a

irrigação é manejada pode ser determinada por fatores como disponibilidade de água, declividade do solo e sistematização da área. A inundação contínua com lâmina de água corrente é utilizada principalmente em áreas onde há grande disponibilidade de água e nas quais o arroz é cultivado em áreas com maior desnível, também chamado de cultivo em terras altas. A irrigação intermitente, por sua vez, é mais usada em locais com abastecimento de água limitado e em áreas sistematizadas, o que facilita o manejo da irrigação (STONE, 2005).

Comparando os dois sistemas, a irrigação intermitente pode economizar de 22 a 75% do volume de água aplicada (BORRELL et al., 1997; BELDER et al., 2004; STONE, 2005; WATANABE et al., 2007). Essa economia de água se deve à possibilidade de captar com maior eficiência a água das chuvas (TOESCHER et al., 1997; WATANABE et al., 2007), sem diminuir significativamente a produtividade de grãos (MEDEIROS et al., 1995; TOESCHER et al., 1997; BELDER et al., 2004). Em alguns casos, a intermitência da lâmina de água pode proporcionar a reinfestação da área por plantas daninhas devido à ausência da barreira física, dependendo da duração do intervalo entre as irrigações (STONE et al., 1990; BORRELL et al., 1997; SANTOS et al., 1999). Dessa forma, as plantas daninhas competem com as plantas de arroz, resultando em uma menor produtividade de grãos.

A eficiência do uso da água (EUA), definida como a razão entre a produtividade de grãos e o volume de água aplicado (STONE, 2005), é um parâmetro que está diretamente relacionado com o manejo da água de irrigação. Se, em comparação à irrigação contínua, a irrigação intermitente proporcionar a utilização de menor volume de água durante o cultivo do arroz irrigado, sem que isso afete significativamente a produtividade de grãos, a eficiência do uso da água será maior. Assim, o cultivo necessitará menor volume de água para produzir uma quantidade semelhante de grãos.

No entanto, o sucesso de sistema de irrigação intermitente também depende de um controle de plantas daninhas eficiente. Para isso, faz-se necessário a utilização de herbicidas com ação residual no solo. Nos últimos anos, herbicidas com essas características (vicolados ao sistema de produção Clearfield®) têm sido utilizado por orizicultores no Rio Grande do Sul. Entretanto, a viabilidade agrônômica de utilizar lâmina de água intermitente nesse sistema produtivo ainda é desconhecida.

Em vista do exposto, foi realizado um experimento com o objetivo de estudar o efeito dos manejos de irrigação contínua e intermitente no controle de plantas daninhas, no volume de água aplicada, na eficiência do uso da água e nos parâmetros agronômicos das plantas de arroz.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em campo, na área de várzea do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, durante o ano agrícola de 2007/2008. Nessa área, o solo é classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições por tratamento. Os tratamentos foram compostos por dois manejos de irrigação: contínua e intermitente. Além disso, foram estabelecidas parcelas testemunhas (sem aplicação de herbicida) para cada tratamento, com a finalidade de avaliar o controle de plantas daninhas. Para ambos os tratamentos, a irrigação foi iniciada quando as plantas de arroz estavam em estágio V5 de desenvolvimento segundo a escala de Counce et al. (2000), estabelecendo-se uma lâmina de água de 100 milímetros (mm) de altura. No manejo intermitente, a irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura, realizando a sua reposição em presença de solo saturado quando a lâmina de água fosse consumida totalmente por evapotranspiração, perdas por percolação vertical e perdas laterais, até 100 mm de altura. Já para a irrigação contínua, a lâmina era constante e estática. Em ambos os tratamentos, a irrigação foi cessada quando as plantas de arroz se encontravam no estágio R7. O sistema de drenagem foi instalado à 10 mm da altura média da lâmina de água, ou seja, a 110 mm do nível médio do solo.

O sistema de implantação da lavoura foi o convencional, que consistiu no preparo do solo, realizado com duas gradagens sucessivas e aplainamento do solo com niveladora. A semeadura foi realizada no dia 08 de novembro de 2007, na densidade de 120 kg ha^{-1} de sementes da cultivar IRGA 422 CL que foram previamente tratadas com o inseticida fipronil, na dose de 37,5 g i.a. por 100 kg de semente, para o controle preventivo da bicheira-da-raiz do arroz (*Oryzophagus oryzae*). A adubação de base constou da aplicação de 17,5 kg de N, 70 kg de P_2O_5 e 105 kg de K_2O na linha de semeadura. As plantas daninhas

que emergiram após a data de semeadura e anteriormente à emergência do arroz semeado foram controladas com o herbicida glyphosate (960 g e.a. ha⁻¹).

Após a semeadura, foram construídas taipas de 30 cm de altura com o objetivo de isolar as parcelas, sendo que cada unidade experimental teve dimensões 15 x 3,8 m (52,5 m²). Com a finalidade de evitar as perdas de água por infiltração lateral, foram construídas taipas ronda, contornando os tratamentos com um canal, mantendo a água entre as parcelas e a taipa ronda para manter a mesma carga hidráulica de cada unidade experimental.

Posteriormente à construção das taipas, foi realizado o nivelamento altimétrico em cada parcela com um nível topográfico para determinar as irregularidades na superfície do solo e estabelecer a altura média de 100 mm para a lâmina de irrigação e a altura de 110 mm para o sistema de drenagem. Concluído o levantamento topográfico, foram instaladas régua no solo para controlar a altura da lâmina de irrigação e o sistema de drenagem. A irrigação das parcelas foi efetuada de forma independente e automatizada por meio de um sistema de irrigação com tubulação de PVC de 100 mm para conduzir água do canal principal da estação experimental até uma caixa armazenadora de 1000 L de capacidade. Dessa caixa, a água era pressurizada com auxílio de uma motobomba conectada a um reservatório de pressão, dotado de um pressostato que mantinha a pressão de serviço entre 20 e 40 psi. A partir do reservatório de pressão, a água era conduzida por tubos de PVC de 50 mm para as unidades experimentais, e o volume de água aplicado em cada parcela era quantificado por hidrômetros conectados à tubulação. A altura da lâmina de água era mantida por uma bóia acoplada ao hidrômetro e regulada para suspender a irrigação quando a lâmina atingisse 100 mm. A reposição de água era ajustada manualmente para cada sistema de manejo (MACHADO et al., 2006), e as leituras dos volumes de água usada por parcela eram realizadas diariamente por meio de leitura dos hidrômetros. Além disso, a verificação da altura de lâmina de água era feita por meio das régua, conforme descrito anteriormente.

Quando as plantas daninhas se encontravam com 3-4 folhas, foi realizada a aplicação do herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75 e 25 g i.a. ha⁻¹) na dose de 1 L do produto comercial ha⁻¹, associado ao adjuvante Dash HC[®] (0,5% v. v.⁻¹). O herbicida foi aspergido com pulverizador costal de precisão, pressurizado com CO₂, contendo na barra quatro pontas Teejet XR 110015, operando com pressão 275 kPa e vazão correspondente a

150 L ha⁻¹. Foram realizadas avaliações de controle de *Echinochloa* spp. (capim-arroz), *Aeschynomene* spp. (angiquinho), *Cyperus iria* (junquinho) e *Oryza sativa* (arroz vermelho) aos 15, 22, 53, 82 e 106 dias após a aplicação do herbicida. A análise foi realizada visualmente, por meio da comparação entre as parcelas tratadas com herbicidas e as parcelas testemunhas (sem herbicidas), atribuindo notas de zero (sem controle) a 100 (todas as plantas controladas).

Em seqüência à pulverização herbicida, foi aplicado nitrogênio em cobertura na dose de 70 kg ha⁻¹, na forma de uréia, sobre o solo seco. No dia seguinte, foi iniciada a irrigação das plantas de arroz, que estavam com cinco folhas (V5). A segunda aplicação de nitrogênio em cobertura foi realizada em R₀ (iniciação da panícula), na dose de 30 kg ha⁻¹. Os demais manejos foram realizados de acordo com as recomendações técnicas da pesquisa para o arroz irrigado no Sul do Brasil (SOSBAI, 2007).

Os parâmetros agronômicos avaliados foram: número de colmos e panículas por metro quadrado, época de floração, estatura final de plantas, número de espiguetas totais e cheias por panícula, esterilidade de espiguetas, massa de mil grãos, produtividade de grãos e rendimento do grão.

Após a emergência das plântulas, foi demarcado um metro linear em cada parcela para quantificar o número de colmos e panículas que, posteriormente, foram extrapolados para metro quadrado. No mesmo local, foram demarcados dez colmos em seqüência com a finalidade de realizar as avaliações referentes à época de floração (uma espiguetas em antese) e estatura final de plantas. No metro linear demarcado, foram coletadas 10 panículas em seqüência para determinar o número total de espiguetas por panícula, o número de espiguetas cheias por panícula, a esterilidade de espiguetas e a massa de mil grãos.

A produtividade foi determinada por meio da colheita manual de uma área de 12,5 m² em cada parcela quando os grãos apresentavam umidade média de 22%. Após a trilha, limpeza e secagem dos grãos com casca, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos para kg ha⁻¹ (CAMARGO, 2008). Em seguida, foram separadas sub-amostras de 500 g, das quais foram retirados 100 g e submetidos ao teste de rendimento do grão em máquina testadora de grãos, obtendo-se a percentagem de grãos inteiros. Os dados referentes à eficiência do uso de água foram calculados, usando a razão entre produtividade de grãos e volume de água aplicado. Os dados foram inicialmente testados quanto ao

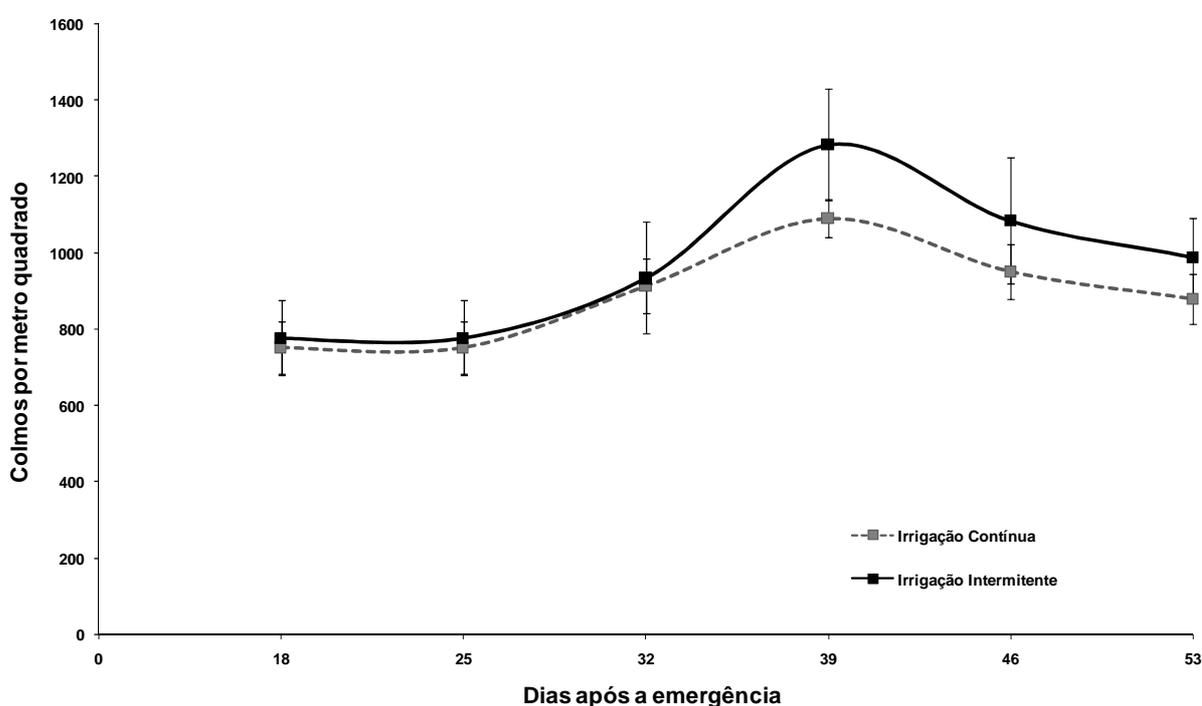
atendimento das pressuposições do modelo matemático, à normalidade, à independência dos erros e à homogeneidade da variância. Os valores percentuais referentes ao controle de plantas daninhas, ao rendimento do grão e à esterilidade de espiguetas não atenderam à normalidade e então foram transformados para $y_t = \sqrt{y}$. Os dados referentes ao número de colmos m^{-2} no tempo (DAE) foram considerados com um bifatorial, e então submetidos à ANOVA ($p \leq 0,01$), e posteriormente foi realizado o teste t de Student ($p \leq 0,01$) para cada avaliação no tempo nos diferentes tratamentos. Por fim, as demais variáveis foram submetidas ao teste t ($p \leq 0,01$).

Resultados e Discussão

A evolução do perfilhamento (Figura 1) demonstra que ocorreu aumento no número de colmos, atingindo o máximo aos 39 dias após a emergência das plantas, sendo que a média do número de colmos m^{-2} para os tratamentos foi de 1.282 e 1.088 para a irrigação intermitente e contínua respectivamente. Após essa data, iniciou um processo de declínio, seguido de estabilização, não havendo efeito dos tratamentos de manejo de irrigação. Isso é confirmado pelos testes estatísticos, pois não ocorreu interação entre os manejos de irrigação e as épocas de avaliação do número de colmos m^{-2} . Entretanto, o teste F foi significativo para cada época de avaliação, e sem significância para os tratamentos. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por outros pesquisadores (STONE et al., 1990; TOESCHER, 1991; BORRELL et al., 1997; SANTOS et al., 1999; SHI et al., 2002) que não verificaram diferença significativa no número de colmos m^{-2} entre os manejos de irrigação contínua e intermitente. Porém, foi observada tendência de maior emissão de colmos no tratamento com manejo de irrigação intermitente. Segundo Stone et al. (1990), a lâmina de água intermitente durante a fase vegetativa favorece o perfilhamento das plantas de arroz irrigado.

A curva de evolução do número de colmos observada neste trabalho é típica da cultura do arroz irrigado, pois há emissão de um maior número de colmos do que a população de plantas pode manter. Dessa forma, as plantas atingem um pico na emissão e posteriormente ocorre um declínio, devido à morte de colmos, até a estabilização (HANADA, 1993).

Para os parâmetros estatura de plantas, data do florescimento, número de panículas por metro quadrado, número total de espiguetas por panícula, número de espiguetas cheias por panícula, massa de mil grãos, rendimento do grão e produtividade de grãos não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 1) em nível de 1% de probabilidade de erro. Esses resultados evidenciam que não houve restrição no crescimento e desenvolvimento da cultura do arroz, demonstrando que a reposição de água na irrigação intermitente, quando o solo se encontrava saturado, foi o suficiente para evitar estresse hídrico.



Barras de erro representam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

Figura 1. Evolução do número de colmos por metro quadrado nos manejos de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.

Com relação à esterilidade de espiguetas, a irrigação intermitente proporcionou maior esterilidade de espiguetas. Esse fato pode ser oriundo da forma como foram coletadas as panículas, pois foram coletadas 10 panículas em seqüência para a determinação dessa variável. Dessa forma, provavelmente foram coletadas panículas de mesma planta, sendo que ocorreu maior emissão tardia de colmos (39 DAE) na irrigação intermitente do que na irrigação contínua, coletando-se assim maior número de panículas de afilhos nesse sistema de irrigação. Assim, essa emissão tardia pode ter originado colmos de menor estatura, ficando menos expostos a radiação solar, originando panículas que ficaram mais sombreadas, e por

conseqüência obteve-se maior esterilidade de espiguetas do que a irrigação contínua.

O resultado de aproximadamente 17% de esterilidade de espiguetas para a cultivar IRGA 422 CL, manejada sob irrigação contínua, está de acordo com os resultados obtidos por Villa et al. (2006) e Santos et al. (2007), que encontraram valores de 17 e 18% respectivamente para a mesma cultivar em condições semelhantes de manejo. Embora tenha ocorrido maior percentual de esterilidade de espiguetas na irrigação intermitente, essa não influenciou a produtividade de grãos, pois não houve diferença significativa dessa variável entre os tratamentos. A produtividade de grãos não diferiu entre os tratamentos provavelmente devido ao fato de o solo ter sido sempre mantido saturado, não havendo períodos em que as plantas submetidas à irrigação intermitente ficassem sob estresse hídrico.

Houve diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis eficiência do uso da água aplicada e volume de água aplicada. A irrigação intermitente permitiu economia de água, ou seja, o volume de água aplicado foi menor. A intermitência da lâmina de água proporcionou maior armazenamento da água da chuva, pois quando a lâmina de água encontrava-se baixa (Figura 2), a água que precipitava podia ser armazenada nas parcelas (até atingir a altura de 110 mm de lâmina de água), por ter maior borda livre (altura do sistema de drenagem menos a altura da lâmina de irrigação). Enquanto que, na irrigação contínua, a água extravasava (após atingir a altura de 110 mm de lâmina de água) e escoava para fora das unidades experimentais, pois a altura da borda livre era quase sempre inferior à altura da borda livre da irrigação intermitente. Como não houve diferença significativa para produtividade de grãos e houve menor volume de água aplicado no sistema intermitente, a irrigação intermitente proporcionou uma melhor eficiência de uso de água. Da mesma forma, Toescher et al. (1997) encontraram maior eficiência do uso da água para a irrigação intermitente, comparando irrigação contínua, intermitente, por aspersão e por meio das precipitações em diferentes cultivares de arroz. No mesmo sentido, Shi et al. (2002) encontraram maior eficiência do uso da água para a irrigação intermitente, comparada à irrigação contínua e ao cultivo sem irrigação.

Tabela 1. Efeito da irrigação contínua e intermitente sobre a estatura final de plantas, a data do florescimento, o número de panículas por metro quadrado, o número total de espiguetas por panícula, o número de espiguetas cheias por panícula, a esterilidade de espiguetas, a massa de mil grãos, o rendimento do grão, a produtividade de grãos, o volume de água aplicada na lavoura, a eficiência do uso da água aplicada e o controle de plantas daninhas (arroz vermelho e *Aeschynomene* spp.). Santa Maria, RS. 2009.

Avaliações	Irrigação		Média	CV (%)
	Contínua ¹	Intermitente ²		
Estatura de plantas (cm)	81,60 ^{ns}	78,38	79,99	2,24
Data do florescimento (DAE) ³	80,00 ^{ns}	80,00	80,00	1,01
Número de panículas m ⁻²	608,82 ^{ns}	607,35	608,09	8,76
Número total de espiguetas por panícula	84,25 ^{ns}	97,50	90,87	17,89
Número de espiguetas cheias por panícula	70,20 ^{ns}	71,60	71,90	17,81
Esterilidade de espiguetas (%) ⁴	16,72 [*]	26,34	21,53	9,21
Massa de mil grãos (g)	29,71 ^{ns}	28,69	29,19	3,76
Rendimento do grão (%) ⁴	67,25 ^{ns}	66,50	66,87	0,89
Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	9247 ^{ns}	9209	9228	4,77
Volume de água aplicado (m ³ ha ⁻¹)	8185 [*]	5563	6.874	12,46
Eficiência de uso da água aplicada (kg m ⁻³)	1,14 [*]	1,68	1,41	40,17
Controle de arroz vermelho (%) ^{4, 5}	95,75 ^{ns}	95,00	95,37	12,63
Controle de <i>Aeschynomene</i> spp. (%) ^{4, 5}	94,50 ^{ns}	95,25	94,87	19,36

¹ Lâmina de água constante à 100 mm de altura acima de nível médio do solo, até o estágio R7 das plantas de arroz.

² A irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura acima do nível médio do solo, até que a lâmina de água evapotranspirasse totalmente. Então, quando o solo encontrava-se saturado, a irrigação era reiniciada até que a lâmina de irrigação alcançasse novamente 100 mm de altura. A irrigação foi paralizada quando as plantas encontravam-se em estágio R7.

^{*} Diferença significativa entre os dois tratamentos pelo teste t ($p \leq 0,01$).

^{ns} Diferença não significativa entre os dois tratamentos pelo teste t ($p \leq 0,01$).

³ Dias após a emergência.

⁴ Para a análise, os dados foram transformados para $y_t = \sqrt{y}$.

⁵ Avaliação visual onde foi considerado 100% controle total de plantas daninhas e zero para ausência de controle.

O sistema de manejo de água intermitente proporcionou uma economia de aproximadamente 32% no volume de água aplicado, comparado ao sistema de manejo de água contínuo. Resultados encontrados por Borrell et al. (1997) sugerem que a irrigação intermitente pode usar de 29 a 42% menos água do que a irrigação contínua, dependendo das condições climáticas.

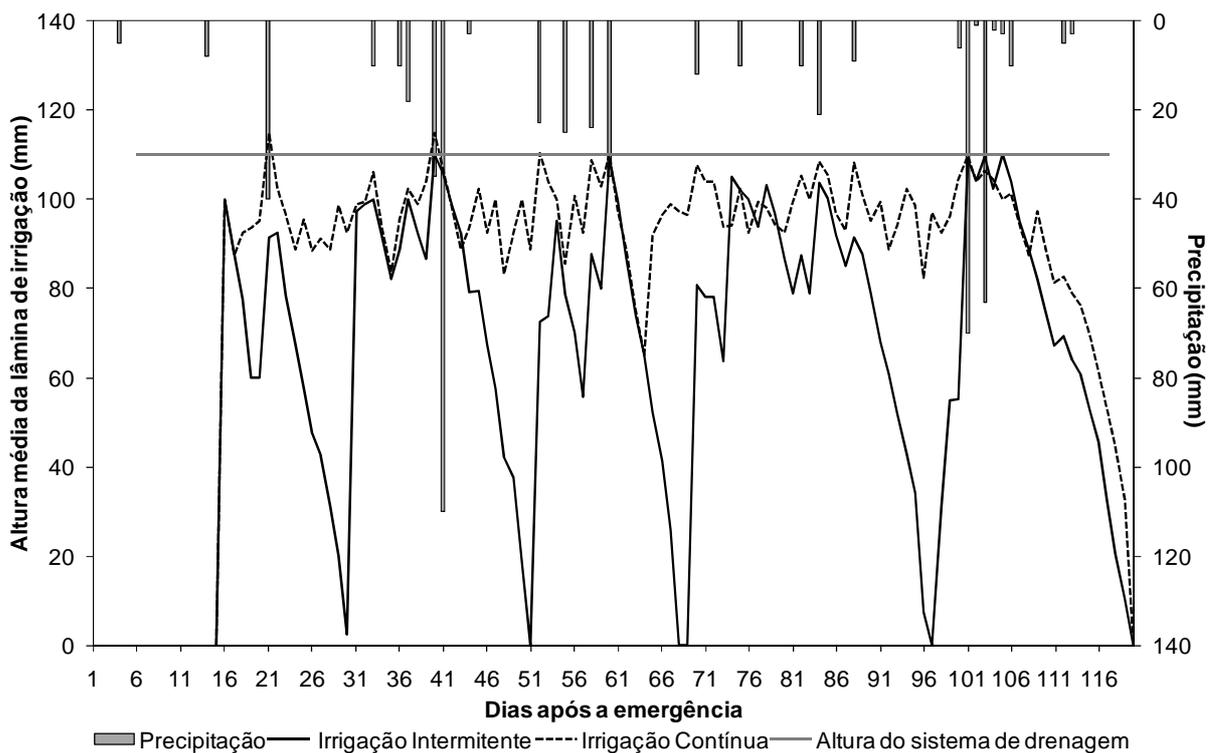


Figura 2. Balanço de água observado incluindo precipitação (mm), altura média da lâmina de água (mm) e altura do sistema de drenagem (mm) na irrigação intermitente e contínua. Santa Maria, RS. 2009.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para o controle de arroz vermelho e aniquinho em todos os períodos avaliados (na Tabela 1 são mostradas apenas as avaliações realizadas em pré-colheita). Com isso, infere-se que as sementes das plantas daninhas presentes no solo não germinaram na rápida ausência da lâmina de irrigação proporcionada pelo sistema intermitente em alguns momentos do cultivo. A primeira reposição de água, realizada aos 30 dias após a emergência das plantas de arroz cultivado, pode ter impedido a reinfestação por plantas daninhas. Nessa data, as plantas de arroz encontravam-se no estágio V7 para V8 (COUNCE et al., 2000) e estavam com dossel vegetativo bem desenvolvido, sombreando parcialmente as entrelinhas. Em decorrência desse fenômeno, parte da radiação solar não incidiu sobre o solo, impedindo o aumento da temperatura. Essas condições desfavoreceram a germinação e emergência de outras plantas daninhas. Outros fatores que podem ter impedido a reinfestação das plantas daninhas são as propriedades residuais dos herbicidas utilizados e também a rápida reposição de água, ou seja, as parcelas ficaram somente um dia sem lâmina de água. Dados de literatura evidenciam que a mistura formulada de imazethapyr e imazapic pode persistir no solo por até 358 dias após a aplicação, ocasionando fitotoxicidade em

genótipo de arroz não tolerante (MASSONI et al., 2007). Segundo Williams et al.(2002), devem transcorrer 540 dias entre a aplicação de imazethapyr e a semeadura de arroz não-tolerante. As avaliações referentes ao controle de *Echinochloa* spp e *Cyperus iria* não foram apresentados devido ao controle de 100% em ambos os tratamentos.

O alto percentual de controle das plantas daninhas se deve basicamente ao manejo aplicado na área experimental, o qual é recomendado para a tecnologia Clearfield[®]. Essa tecnologia preconiza a utilização da mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75 e 25 g i.a. ha⁻¹) na dosagem de um litro de produto comercial ha⁻¹, associado ao adjuvante Dash HC[®], que deve ser aplicado quando as plantas daninhas se encontram no estágio de 3 a 4 folhas e, um dia após a aplicação do herbicida, a irrigação deve ser iniciada. Níveis similares de controle de arroz vermelho foram encontrados por Santos et al. (2007) e Villa et al. (2006) em cultivo de arroz sob lâmina contínua de irrigação. No que diz respeito ao controle de angiquinho, vale ressaltar que, na área experimental, a infestação média era de uma planta m⁻². Os altos valores de controle dessa planta proporcionados pela tecnologia Clearfield[®] em manejo de lâmina de água contínua também são reportados por Mariot; Menezes (2008) e Villa et al. (2006), que encontram 97 e 93 % respectivamente.

Conclusão

A irrigação intermitente proporciona produtividade de grãos de arroz irrigado semelhante àquela obtida na irrigação contínua. Além disso, proporciona economia de 32% do volume de água aplicado, resultando em uma maior eficiência do uso de água do que a irrigação contínua.

A intermitência da lâmina de água não afeta o controle de plantas daninhas se for utilizado herbicidas com propriedades residuais no solo e a primeira reposição da irrigação for realizada quando as plantas de arroz já estiverem com o dossel vegetativo bem desenvolvido, sombreando parcialmente as entrelinhas. Da mesma forma, o ciclo da cultivar IRGA 422 CL não é influenciado pelo sistema de irrigação intermitente.

CAPÍTULO II

USO DE ÁGUA E DISSIPAÇÃO DE IMAZETHAPYR, IMAZAPIC E FIPRONIL SOB IRRIGAÇÃO CONTÍNUA E INTERMITENTE EM ARROZ

WATER USE AND DISSIPATION OF IMAZETHAPYR, IMAZAPIC AND FIPRONIL UNDER CONTINUOUS AND INTERMITENT IRRIGATION IN RICE

Resumo

Para a obtenção de altas produtividades do arroz irrigado, torna-se indispensável o uso de agrotóxicos para proteger a cultura contra plantas daninhas, insetos e patógenos. Porém, parte da massa aplicada desses agrotóxicos pode atingir o ambiente, causando efeitos indesejáveis e incertos. Em lavouras de arroz irrigado, os principais eventos que ocasionam o transporte de agrotóxicos para o ambiente são o escoamento superficial e a drenagem. Nesse sentido, é de suma importância estudar práticas de manejo que reduzam o escoamento superficial da lavoura de arroz. Manejo de irrigação tem um importante efeito nesse escoamento. Assim, o presente trabalho teve como objetivos avaliar o efeito do manejo da irrigação contínua e intermitente nas perdas de água via escoamento superficial e na dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil. Quando comparada com a irrigação contínua, a irrigação intermitente proporciona redução de 40% do volume de água escoada superficialmente para o ambiente, reduzindo assim mais de 80% na massa de ingrediente ativo de agrotóxicos transportados para o ambiente em relação ao total aplicado na lavoura. Isso se deve a maior captação de água da chuva que reduziu transporte de água e agrotóxicos.

Palavras-chave: *Oryza sativa*; DT₅₀; contaminação ambiental.

Abstract

To obtain high rice yield in areas it is necessary the use of pesticides to protect the crop against weeds, insets and diseases. Moreover, part of mass of the pesticide applied can reach the environment, causing unwanted and uncertain effects. On flooded rice fields, the main factors that cause pesticide transport to the environment are runoff and drainage. For this reason it is important to study management practices that reduces water runoff to the environment. Water management can play an important role in this effect. Based on that, the objective of this study was to investigate the effect of continuous and intermittent flooding on the amount of water losses through run-off and imazethapyr, imazapic and fipronil dissipation. When compared with continuous flooded, the intermittent flooded promote a reduction of 40% on water overflow to the environment. Promoting, consequently, reduction on more 80% of the mass of pesticide transported to the environment in comparison to the total applied in the rice field. These effects are due to the rainfall saving captured in this system, reducing water overflow.

Key words: *Oryza sativa*; DT₅₀; environmental contamination.

Introdução

O uso de agroquímicos, que são divididos em fertilizantes e agrotóxicos, é de grande importância para o desenvolvimento do arroz irrigado (MATSUNAKA, 2001). Os agrotóxicos protegem as culturas contra plantas daninhas, insetos e patógenos, possibilitando a obtenção de elevadas produtividades (MARCHEZAN et al., 2007; BARIZON, 2004). Porém, quando aplicados, certas quantidades desses químicos não atingem o alvo, podendo assim atingir áreas não alvo, onde podem ser dissipados. Na maioria dos casos, principalmente quando aplicados ao solo, os agrotóxicos podem ser dissipados por várias formas: degradados por ação da radiação solar, microrganismos e ainda sofrer degradações químicas; lixiviados no perfil do solo através dos macroporos; escoados superficialmente por ação das chuvas; adsorvidos aos colóides do solo e ainda atingir o alvo desejado (ROGER; BHUIYAN, 1995).

O transporte de agrotóxicos para o ambiente tem por consequência a contaminação dos mananciais hídricos. Muitos pesquisadores têm encontrado resíduos de diversos agrotóxicos em rios (HUBER et al., 2000; BOUMAN et al., 2002; DESCHAMPS et al., 2003; CEREJEIRA et al., 2003; PRIMEL et al., 2005; GRUTZMACHER et al., 2007; MARCHEZAN et al., 2007). Em lavouras de arroz irrigado, os principais eventos que ocasionam o transporte de agrotóxicos para o ambiente não-alvo são a deriva, a lixiviação, o escoamento superficial e a drenagem (CEREJEIRA et al., 2003). A deriva é ocasionada quando os agroquímicos são aplicados em condições adversas às ideais de aplicação, principalmente por ação do vento. A lixiviação é o movimento vertical do agrotóxico em meio à água, podendo atingir o lençol freático. Já o escoamento superficial é caracterizado pelo movimento horizontal do agrotóxico dissolvido em água ou adsorvidos à sedimentos, podendo assim, chegar aos mananciais hídricos (BHUIYAN; CASTAÑEDA, 1995). Outra forma de transporte de agrotóxicos para o ambiente é através da drenagem da lavoura. Essa vem caindo em desuso pelos agricultores, pois esses têm consciência de que a drenagem da lavoura, dependendo da época em que é realizada, pode proporcionar o carreamento de nutrientes e agrotóxicos para os mananciais hídricos, provocando assim a poluição dos mesmos (MACHADO et al., 2006).

Alguns fatores atuam no transporte dos agroquímicos, dentre eles: as propriedades físico-químicas dos agrotóxicos; as condições edafoclimáticas no momento e posteriores à aplicação; e o manejo da irrigação das culturas, em especial em lavouras de arroz irrigado. Algumas das propriedades físico-químicas que mais influenciam o transporte dos agrotóxicos são a solubilidade em água e o coeficiente de adsorção à matéria orgânica (K_{oc}) (SILVA et al., 2007). Entretanto, há outras propriedades físico-químicas que também podem influenciar no transporte de agrotóxicos para o ambiente, por exemplo, o peso molecular, o coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), o coeficiente de ionização (pK_a), a volatilidade e pressão de vapor (PV).

A solubilidade em água indica a quantidade máxima da molécula que se dissolve em água em determinada temperatura, e é expressa em miligramas do químico por litro de água. Assim, quanto maior a quantidade de grupos hidrofílicos a substância possuir, maior será sua afinidade com água, portanto, maior sua solubilidade em água (SILVA et al., 2007). O K_{ow} mede a lipofilicidade da molécula, ou seja, se ela tem caráter lipofílico (apolar) ou hidrofílico (polar) (MEROTTO JR. et

al., 2001). Os valores K_{ow} são expressos em logaritmo, variando de -5 a 1 para substâncias de caráter hidrofílico e de 1 a 7 para substâncias de caráter lipofílico. O K_{oc} representa o coeficiente de sorção normalizado conforme o teor de carbono orgânico do solo, sua unidade é em mililitro por grama (SILVA et al., 2007). O pKa indica o valor do pH em que as moléculas se encontram 50% associadas e 50% dissociadas (KRAEMER, 2008). A volatilidade é o escape de um composto na forma vapor do meio aquoso em que se encontra dissolvido. Normalmente é expressa pela PV na unidade de mmHg ou Pa (SILVA et al., 2007). Existem classes de volatilidade, onde valores com expoente $< 10^{-5}$ são classificados como produtos de baixa volatilidade, valores entre 10^{-4} e 10^{-5} como moderadamente voláteis e valores $\geq 10^{-3}$ como altamente voláteis (ZIMDAHL, 1999). Dessa forma, agrotóxicos que combinam alta solubilidade em água, baixo K_{oc} têm maior probabilidade de serem transportados para fora do ambiente alvo por ocasião de chuvas torrenciais (SILVA et al., 2007) ou drenagem da lavoura por ter maior afinidade com a água (polar) do que com a partículas lipofílicas.

Existem outros parâmetros que também dão idéia do comportamento desses produtos no ambiente, tais como a persistência em solo e água, a constante da Lei de Henry (K_H), o índice de GUS e o método de Goss (PRIMEL, 2005). A persistência é normalmente medida pela meia vida (SILVA et al., 2007). A meia vida é o tempo em que o xenobiótico leva para que 50% da sua concentração inicial seja dissipada. Portanto, quanto menor a meia vida do agrotóxico, menor a chance de ele ser transportado (SILVA et al., 2007). A K_H é um coeficiente de partição entre o ar e solução do solo. Também pode ser usado com indicativo do potencial de volatilização, ou seja, quanto maior K_H , maior a volatilidade (SILVA et al., 2007). Já o índice de GUS e o método de GOSS foram desenvolvidos para predispor o comportamento dos agrotóxicos no ambiente. O método de GOSS é utilizado para avaliar o risco de contaminação de águas superficiais. Ele leva em consideração valores de meia vida no solo, solubilidade em água e K_{oc} , e classifica o potencial de contaminação em alto, médio e baixo em função do transporte do agrotóxico adsorvido aos colóides do solo ou dissolvido em água (FILIZOLA et al., 2005). O índice GUS avalia o agrotóxico quanto ao potencial de lixiviação para água subterrânea, utilizando as propriedades $\frac{1}{2}$ vida no solo e K_{oc} , e classifica-os em faixas pré-estabelecidas: não sofre lixiviação ($GUS \leq 1,8$), faixa de transição ($1,8 < GUS < 2,8$) e provável lixiviação ($GUS \geq 2,8$) (GUSTAFSON, 1989).

As condições edafoclimáticas tais como: temperatura e umidade do ar; velocidade do vento; umidade e porosidade do solo; pH, teor de matéria orgânica e argilominerais do solo; radiação solar e a ocorrência de precipitações, são de vital importância no momento e após a aplicação, tanto para o funcionamento dos agroquímicos quanto para a dissipação desses (AYENI et al., 1998; HUBER et al., 2000; HEISER, 2007) pois essas condições influenciam o comportamento dos agrotóxicos no ambiente.

A lavoura de arroz irrigado é apontada como uma atividade com alto potencial poluidor (FEPAM, 2007) por usar grande volume de água para manter a lâmina de irrigação (MACHADO et al., 2006) e também por ser um cultivo que demanda o intenso uso de agroquímicos, principalmente herbicidas, inseticidas e nutrientes (NOLDIN et al., 2001).

O manejo da lâmina de água, de forma geral, pode diminuir o transporte de agroquímicos para o ambiente. Nesse sentido, Watanabe et al. (2007), comparando as perdas acumuladas para o ambiente dos herbicidas simetryn, thiobencarb e mefenacet em irrigação contínua e intermitente em arroz irrigado, encontraram valores de perdas de 37%, 12%, 35% da massa total dos herbicidas simetryn, thiobencarbe e mefenacete para a irrigação contínua e apenas perdas cumulativas na ordem de 3,8%, 1,2%, 2,7% da massa total dos mesmos herbicidas para a irrigação intermitente. Em outro estudo, Watanabe et al. (2006), encontraram perdas cumulativas de 38 e 49% do total aplicado de mefenacete e bensulfuron-methyl em área manejada com irrigação contínua. Já na área manejada com irrigação intermitente, nenhum herbicida foi perdido, pois não ocorreu extravasamento de água da lavoura por ocasião das precipitações, ou seja, a irrigação intermitente proporcionou maior armazenamento da água das chuvas do que a irrigação contínua.

A redução do transporte de agrotóxicos para o meio ambiente no sistema de irrigação intermitente se deve ao fato de haver, durante o desenvolvimento da cultura, espaço para armazenamento de água da chuva, evitando assim o escoamento superficial.

Nesse sentido, é de suma importância ampliar estudos de métodos de manejo da irrigação de lavoura de arroz irrigado com o objetivo de diminuir o volume de água aplicado e o transporte de agrotóxicos para o ambiente, minimizando o impacto ambiental. Assim, o presente trabalho teve como objetivos avaliar o efeito do manejo

da irrigação contínua e intermitente no balanço de água (lâmina de água aplicada e volume de água extravasada) e na dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil. Também, outro objetivo foi identificar como e quais propriedades físico-químicas dos agrotóxicos atuam na massa total de agrotóxicos transportada para o ambiente.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no ano agrícola 2007/2008, na área experimental do departamento do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal, em solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, com as seguintes características (0-20 cm de profundidade): $\text{pH}_{\text{água}(1:1)} = 4,8$; $\text{P} = 13,5 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K} = 48 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{M.O.} = 1,6 \% \text{ m v}^{-1}$; $\text{Ca} = 2,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 1,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al} = 1,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; e argila = $25 \% \text{ m v}^{-1}$.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por dois manejos de irrigação: contínua e intermitente. Para ambos os tratamentos, a irrigação foi iniciada quando as plantas de arroz estavam em estágio V5 de desenvolvimento segundo a escala proposta por Counce et al. (2000), estabelecendo-se uma lâmina de água de 100 milímetros (mm) de altura acima do nível médio do solo. No manejo intermitente, a irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura acima do nível médio do solo, permitindo-se então que a lâmina de água evapotranspirasse totalmente. Então, quando o solo encontrava-se saturado (Figura 3), a irrigação era reiniciada até que a lâmina de irrigação alcançasse novamente 100 mm de altura acima do nível médio do solo. Já para a irrigação contínua, a lâmina era constante. Nos dois tratamentos, a irrigação foi cessada quando as plantas de arroz se encontravam no estágio R7 (110 DAE). O sistema de drenagem foi instalado à 10 mm da altura média da lâmina de água, ou seja, à 110 mm de altura do nível médio do solo.

O sistema de implantação da lavoura foi o convencional, que consistiu no preparo do solo, realizado com duas gradagens sucessivas e aplainamento do solo com niveladora. A semeadura foi realizada no dia oito de novembro de 2007, em linhas espaçadas a 0,17 m, com densidade de 120 kg ha^{-1} de sementes da cultivar IRGA 422 CL. As sementes foram previamente tratadas com o inseticida fipronil na dose de $37,5 \text{ g i.a. por } 100 \text{ kg}$ de semente. A adubação de base foi realizada na

linha de semeadura conforme as recomendações técnicas da pesquisa para o arroz irrigado no Sul do Brasil (SOSBAI, 2007). As plantas daninhas que emergiram após a data de semeadura e anteriormente a emergência do arroz foram controladas com o herbicida glyphosate (960 g e.a. ha⁻¹).

Após a semeadura, foram construídas taipas de 30 cm de altura com o objetivo de isolar as parcelas, sendo que cada parcela teve dimensões 15 x 3,8 m (52,5 m²). Com a finalidade de evitar as perdas de água por infiltração lateral, foram construídas taipas ronda contornando os tratamentos com um canal, mantendo a água entre as parcelas e a taipa ronda para manter a mesma carga hidráulica das unidades experimentais.

Posteriormente à construção das taipas, foi realizado o nivelamento altimétrico em cada parcela com um nível topográfico para determinar as irregularidades na superfície do solo e estabelecer a altura média de 100 mm para a lâmina de irrigação e a altura de 110 mm para o sistema de drenagem. Concluído o levantamento topográfico, foram instaladas régua no solo para controlar a altura da lâmina de irrigação e o sistema de drenagem.

O controle de plantas daninhas foi realizado com a aplicação do herbicida composto pela mistura formulada de imazethapyr e imazapic (75 e 25 g i.a. ha⁻¹) na dose de um litro de produto comercial por hectare, associado com o adjuvante Dash HC[®] (0,5% v. v.⁻¹) no dia 5 de dezembro, ou seja, 15 dias após a emergência do arroz, quando as plantas daninhas estavam no estágio de 3-4 folhas. O herbicida foi aspergido com pulverizador costal de precisão, pressurizado com CO₂, contendo na barra quatro pontas Teejet XR 110015 operando com 275 kPa de pressão e vazão correspondente a 150 L ha⁻¹.

Em seqüência à pulverização herbicida, foi aplicado nitrogênio em cobertura na quantia de 70 kg ha⁻¹ na forma de uréia sobre o solo seco. No dia seguinte, foi iniciada a irrigação das plantas de arroz, que estavam com cinco folhas (V5). A segunda aplicação de nitrogênio em cobertura foi realizada em R₀ (iniciação da panícula), na quantia de 30 kg ha⁻¹. Os demais manejos foram realizados seguindo as recomendações técnicas da pesquisa para o arroz irrigado no Sul do Brasil (SOSBAI, 2007).

A irrigação das parcelas foi efetuada de forma independente e automatizada. Foi instalado um sistema de irrigação com tubulação de PVC de 100 mm para transportar água do canal principal da estação experimental até uma caixa

armazenadora de 1000 L. Dessa caixa, a água era pressurizada com auxílio de uma motobomba conectada a um reservatório de pressão, dotado de um pressostato que mantinha a pressão de serviço entre 20 e 40 psi (Figura 4). A partir do reservatório de pressão, a água era conduzida por tubos de PVC de 50 mm para as unidades experimentais e o volume de água aplicado em cada parcela era quantificado por hidrômetros conectados à tubulação. A altura da lâmina de água era mantida por uma bóia acoplada ao hidrômetro e regulada para suspender a irrigação quando a lâmina atingisse 100 mm (Figura 5). A reposição de água era ajustada manualmente para cada sistema de manejo (MACHADO et al., 2006) e diariamente eram realizadas leituras dos volumes de água usada por parcela por meio de leitura dos hidrômetros. Além disso, a verificação da altura de lâmina de água era feita por meio das réguas, conforme descritas anteriormente.

Para coletar a água que escoava das parcelas por ocasião das precipitações, foi confeccionado um divisor de água do tipo Geib, com uma chapa de metal dotada 50 perfurações circulares de 50 mm de diâmetro, distribuídas em três fileiras, espaçadas 20 mm na vertical e 10 mm na horizontal, para cada unidade experimental. Nas três perfurações centrais foram soldados pedaços de cano de 50 mm de comprimento. Nesses canos, foram conectadas mangueiras plásticas de 50 mm de diâmetro. As chapas foram instaladas nas taipas, de forma que a primeira fileira de buracos (total de 17) ficasse a 110 mm do solo, ou seja, só iria ter escoamento de água quando a lâmina de irrigação alcançasse 110 mm de altura (por ocasião de precipitações), lembrando que a altura máxima de irrigação era 100 mm. Esse sistema conduzia 1/17 do volume total de água que extravasava da unidade experimental para uma caixa armazenadora, de fibra de vidro, com capacidade de 500 litros (Figura 6). Após cada chuva em que ocorresse o extravasamento, era realizada a coleta de água no volume de 500 mL em frascos âmbar, retirado esse volume e feita à limpeza das caixas. Essas amostras eram posteriormente enviadas para determinação da concentração de imazethapyr, imazapic e fipronil.



Figura 3. Detalhe da parcela da irrigação intermitente no momento de reposição de água, quando o solo se encontrava saturado. Santa Maria, RS. 2009.



Figura 4. Vista lateral do sistema de armazenamento e pressurização da água de irrigação. Santa Maria, RS. 2009.

Esse sistema de coleta de água foi elaborado com o objetivo de armazenar uma porção do volume escoado (1/17 do total) por ocasiões de chuvas, independentemente do volume precipitado, integrando a água da chuva do início do extravasamento até o final do evento, possibilitando-se assim obter-se uma amostra média para análise. Os dados de volume de cada evento de precipitação foram obtidos por meio de um pluviômetro, que foi instalado no centro da área experimental.

O volume de água extravasado foi estimado, diminuindo-se o volume de chuva por parcela (m^3) pela capacidade de armazenamento de água de cada parcela (m^3). Então, os dados de volume de água extravasada estimados foram transformados para milímetros.



Figura 5. Vista lateral (A) frontal (B) das parcelas, em dois momentos da irrigação com detalhe dos hidrômetros, bóias e régua. Santa Maria, RS. 2009.



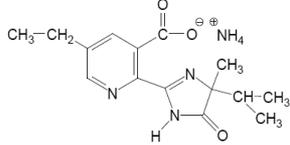
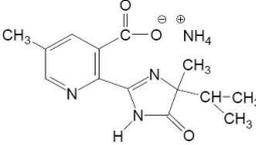
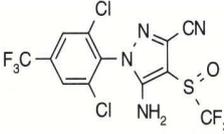
Figura 6. Vista lateral (A) e frontal (B) do sistema coletor de água que extravasava das parcelas por ocasião das chuvas. Santa Maria, RS. 2009

Para a determinação da concentração de imazetapyr, imazapic e fipronil nas parcelas foram coletadas amostras de 500 mL de água na lâmina de irrigação em frascos âmbar em cada unidade experimental aos 1, 3, 8, 14, 21, 28, 50 e 74 dias após o início da irrigação. As propriedades físico-químicas dos agrotóxicos analisados estão listadas na Tabela 2. Esses frascos eram armazenados em caixas térmicas e encaminhados ao Laboratório de Análise de Resíduos de Pesticidas do Departamento de Química da UFSM, onde foram determinadas as concentrações de imazethapyr e imazapic conforme a metodologia descrita por Gonçalves (2007) e também as concentrações de fipronil conforme metodologia descrita por Kurz (2007). A água que era extravasada das parcelas por ocasião das precipitações e armazenada nas caixas de fibra sofreu o mesmo procedimento mencionado acima.

As concentrações de imazethapyr, imazapic e fipronil detectadas em lâmina de água foram padronizadas para 100 mm de altura de lâmina de água para evitar o efeito de diluição, e depois submetidas ao cálculo da taxa de dissipação. A taxa de dissipação desses agrotóxicos foi calculada aplicando o logaritmo natural da concentração restante dos três produtos ($\ln C/C_0$), que por meio da plotagem desse valor com o tempo em dias, foi obtida a constante da taxa de dissipação dos herbicidas na água (k_p). Os valores da meia-vida de dissipação em água dos herbicidas foram calculados usando a equação $DT_{50} = \ln(2)/k_p$, sendo k_p o valor absoluto da inclinação e a constante, a taxa de dissipação dos agrotóxicos na água (SANTOS et al., 2008).

Os dados referentes às constantes da taxa de dissipação dos agrotóxicos (k_p), a lâmina de água aplicada (mm), a quantidade de água extravasada (mm), a quantidade total de agrotóxicos (g ha^{-1}) que extravasou juntamente com a água e a percentagem de ingrediente ativo transportado em relação ao total aplicado na lavoura foram inicialmente testados quanto à normalidade e homogeneidade da variância. Os valores referentes ao total de imazethapyr que extravasou das parcelas não atenderam as pressuposições citadas acima e então foram transformados para $yt = \sqrt{y}$, e os valores referentes à percentagem de ingrediente ativo (imazethapyr, imazapic e fipronil) transportado em relação ao total aplicado na lavoura também não atenderam as pressuposições e foram transformados para $yt = \arcseno\sqrt{(y+0,5)/100}$.

Tabela 2. Estrutura molecular, propriedades físico-químicas e classificação pelo método de Goss de imazethapyr, imazapic e fipronil. Santa Maria, RS. 2009.

	Imazethapyr ¹	Imazapic ¹	Fipronil ²
Estrutura molecular			
Peso molecular (g mol ⁻¹)	289,3	275,3	437,2
Solubilidade em água (mg L ⁻¹)	1400	2200	2,4 (pH 5)
K _{ow}	11 (pH 5); 31(pH 7); 16 (pH 9)	0,16 (pH 5); 0,01 (pH 7); 0,002 (pH 9)	10000
K _{oc} (mL g ⁻¹)	52	206	803
pKa	2,1 e 3,9	2,0 ; 3,9 e 11,1	–
PV (mPa)	< 0,013	< 0,013	3,7 x 10 ⁻⁴
Meia vida em campo (dias)	60 – 90	120	120 – 160
Classificação pelo Goss ³	Alto potencial ⁴	Alto potencial	Alto potencial

¹ Senseman, 2007.

² Connelly, 2001.

³ Método de classificação do potencial de poluição de águas superficiais por pesticidas (alto, médio e baixo).

⁴ Critérios para a classificação de alto potencial de transporte dissolvido em água: a) DT₅₀ solo > 35 dias; K_{oc} < 100.000 mL g⁻¹; Solubilidade em água > 1 mg L⁻¹; ou b) K_{oc} ≤ 700 mL g⁻¹; 10 ≤ Solubilidade ≤ 100 mg L⁻¹ (FILIZOLA et al., 2005).

Por fim, os dados referentes à lâmina de água aplicada e à quantidade de água extravasada foram submetidos ao teste t de Student. Os demais dados foram submetidos à análise da variância com um fatorial, sendo o fator A manejo da irrigação (contínua e intermitente) e o fator D agrotóxicos (imazethapyr, imazapic e fipronil). Também foi aplicado a teste de Correlação de Pearson para verificar a correlação entre as propriedades físico químicas dos agrotóxicos (peso molecular, solubilidade em água, K_{ow}, K_{oc}, DT₅₀ em água e DT₅₀ em solo) e a massa de agrotóxicos transportada para fora da lavoura durante o ciclo do arroz irrigado no sistema de irrigação contínua.

Resultados e Discussão

A lâmina de água aplicada e a lâmina de água extravasada foram menores no sistema de manejo intermitente quando comparado ao manejo de lâmina contínua (Tabela 3) pelo teste t de Student (p≤0,05). Os valores de uso de água da Tabela 3, quando convertidos para m³ ha⁻¹, correspondem a 5563 e 8184 m³ ha⁻¹, respectivamente para o sistema de irrigação intermitente e contínuo. A irrigação intermitente proporcionou menor extravasamento devido ao maior armazenamento

de água da chuva nesse sistema. O extravasamento no sistema contínuo correspondeu a 363,3 mm ao passo que a irrigação intermitente proporcionou um extravasamento de 217,2 mm. Dessa forma a irrigação intermitente proporcionou armazenamento de 340,75 mm de chuva quando comparado com 194,75 mm da irrigação contínua (diferença entre o precipitado e o extravasado). Em valores percentuais, a irrigação intermitente proporcionou economia de 32% do volume de água aplicada devido à redução de 40% no volume de água extravasado para fora da lavoura quando comparando com a irrigação contínua, justamente por armazenar maior volume da água da chuva.

Tabela 3. Balanço de água na lavoura de arroz irrigado manejada no sistema de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.

Sistema de irrigação	Precipitação (mm)	Lâmina de água aplicada (mm)	Lâmina de água extravasada (mm)
Contínuo ¹	558	818,47 *	363,25 *
Intermitente ²	558	556,30	217,25
Diferença ³	--	262,17	146,00
Economia/redução ⁴ (%)	--	32,03	40,20
Média	--	687,38	290,25
CV (%)	--	12,46	12,79

¹ Lâmina de água constante à 100 mm de altura acima de nível médio do solo, até o estágio R7 das plantas de arroz.

² A irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura acima do nível médio do solo, até que a lâmina de água evapotranspirasse totalmente. Então, quando o solo encontrava-se saturado, a irrigação era reiniciada até que a lâmina de irrigação alcançasse novamente 100 mm de altura. A irrigação foi paralisada quando as plantas estavam em estágio R7.

³ Diferença entre os valores de lâmina do contínuo e do intermitente.

⁴ Percentagem de economia de água de irrigação ou de redução de extravasamento.

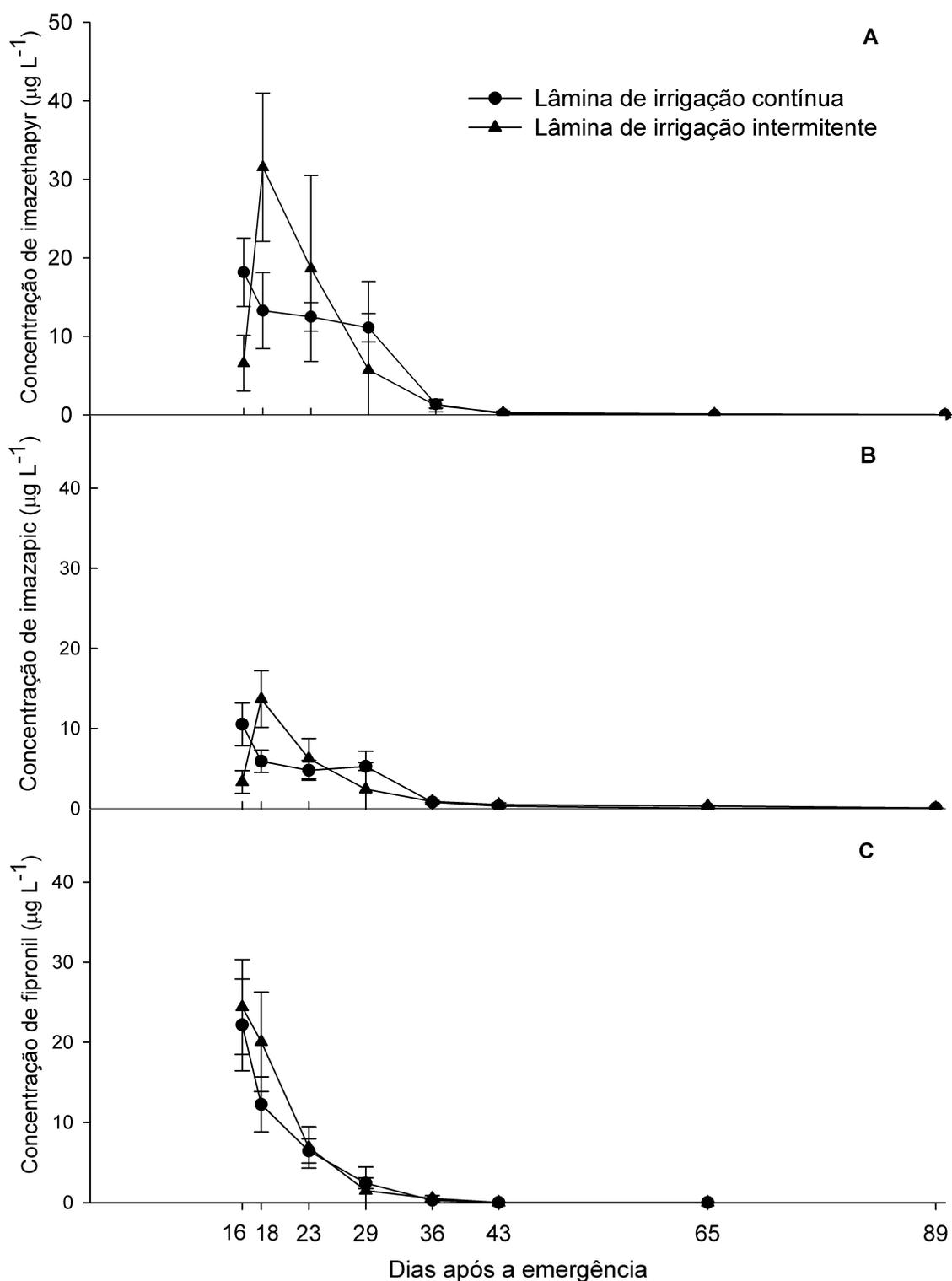
* Diferença significativa entre os dois manejos de irrigação pelo teste t ($p \leq 0,05$).

Esses resultados corroboram com os resultados obtidos por outros autores. Borrell et al. (1997) sugerem que a irrigação intermitente pode usar de 29 a 42% menos água do que a irrigação contínua, dependendo das condições climáticas. Além disso, em experimento conduzido por Watanabe et al. (2006) foi observado que a irrigação intermitente possibilitou uma economia de 75% na lâmina de água aplicada quando comparado com o sistema contínuo. Nesse mesmo experimento, a irrigação intermitente com sistema de drenagem alto (75 mm) não teve escoamento superficial, contrastando com a irrigação contínua que em grandes eventos de chuvas escoavam até 20 mm dia⁻¹ de água. Esses mesmos autores mencionam que o excesso de água armazenado pela irrigação intermitente associada com o alto sistema de drenagem previne perdas de água por escoamento superficial durante significativos eventos de chuva, necessitando assim de menor lâmina de água

aplicada a lavoura. Em outro estudo, Watanabe et al. (2007) afirmam que durante o período monitorado (35 dias), a irrigação contínua necessita 60% mais irrigação do que a irrigação intermitente com alto sistema de drenagem.

Com relação à dissipação dos agrotóxicos (Figura 7), foram observadas concentrações detectáveis de imazethapyr e imazapic até 89 dias após a emergência (DAE) das plantas de arroz para os dois sistemas de manejo de irrigação, essa data corresponde a 74 dias após o início da irrigação (DAII). O pico máximo de concentração desses dois ingredientes ativos foi observado aos 18 DAE (03 DAII) na irrigação intermitente e aos 16 DAE (01 DAII) na irrigação contínua. Já para fipronil, foram detectadas concentrações até o 65º DAE (50 DAII), sendo que a maior concentração foi detectada aos 16 DAE (01 DAII) em ambos os sistemas de manejo de irrigação. Houve uma grande variação nas concentrações dos agrotóxicos avaliados nos dois sistemas de irrigação, demonstrada pelas barras de erro. Entretanto, nota-se que as maiores concentrações de imazethapyr e imazapic foram detectadas 18 DAE (03 DAII) na irrigação intermitente.

A maior concentração observada aos 3 DAII, quando comparada à concentração observada aos 1 DAII pode ter sido ocasionado pelos processos de sorção/dessorção. Os herbicidas que foram aplicados em solo seco, tiveram tempo de se adsorver ao solo no período de 24 horas antes da inundação. Após a inundação, os herbicidas necessitam um tempo para que esses se equilibrem entre a fase líquida e sólida, nesse sentido, Avila (2005) determinou que imazethapyr equilibrou-se com o solo em 48 horas. Assim, a detecção de maior concentração na segunda coleta se deve ao tempo em que imazethapyr leva para alcançar o equilíbrio com o solo. Já na irrigação contínua, a forma semelhante de decréscimo das concentrações dos herbicidas pode ter sido influenciada pela reposição constante de água, exercendo assim maior pressão hidráulica, fazendo com que esses produtos sejam lixiviados, permanecendo em menor concentração em lâmina de irrigação. Inoue et al. (2007), evidenciaram que, em Latossolo Vermelho distrófico, houve lixiviação de imazapic até a camada de 10-15 cm da coluna de solo para a lâmina de irrigação de 40 mm e até a camada 15-20 cm para a lâmina de 60 mm. Já no que diz respeito à lixiviação de imazethapyr, Kraemer (2008) encontrou concentrações em até 20 cm de profundidade em diferentes sistemas de preparo de solo em que foi cultivado arroz irrigado sob irrigação contínua.



Barras de erro representam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

Figura 7. Concentrações de imazethapyr (A), imazapic (B) e fipronil (C), em $\mu\text{g L}^{-1}$, com seus respectivos intervalos de confiança (95%) na água da lavoura em irrigação contínua e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.

Outros autores encontraram detecção do herbicida imazethapyr em lâmina de água de lavouras de arroz irrigado até o 27º DAII (SANTOS et al., 2008), 32º DAII (MARCOLIN et al., 2003) e 42º DAII (MARCOLIN et al., 2005). Da mesma forma,

esses autores encontraram maiores concentrações em datas mais próximas ao início da irrigação. O decréscimo da concentração dos agrotóxicos em lâmina de água é devido à sua dissipação no ambiente, seja por transporte para fora da lavoura ou mudança de compartimento, como por exemplo, adsorção aos colóides do solo. A rápida dissipação pode também ser explicada pela rápida degradação dos agrotóxicos proporcionada pela existência de condições climáticas favoráveis, como insolação e temperatura (SANTOS et al., 2008).

No entanto, as concentrações de fipronil em lâmina de irrigação tiveram comportamento semelhante em ambos os manejos de irrigação, decrescendo com o passar do tempo. A diferença do comportamento desse agrotóxico com relação aos outros se deve provavelmente à forma de aplicação, visto que o mesmo foi aplicado em tratamento de sementes. Dessa forma, podem ter ocorrido processos de adsorção do inseticida com o solo, estabilizando assim a sua concentração no solo até o início da irrigação, que ocorreu 28 dias após a semeadura. Fipronil tem o valor médio de K_{oc} igual a 803 mL g^{-1} (CONNELLY, 2001), isso demonstra uma forte tendência de se adsorver aos colóides do solo, indicando baixa a moderada mobilidade do ingrediente ativo das sementes tratadas. Nesse sentido, Raveton et al. (2007) observaram mobilidade até camadas de 11 cm de profundidade, ficando mais concentrado no solo em posições mais próximas de onde foi depositada a semente (profundidades de até 5 cm).

A partir dos resultados da Figura 7, foi calculada a taxa de dissipação dos agrotóxicos em água (Tabela 4). Houve diferença significativa na taxa de dissipação dos agrotóxicos, sendo que fipronil possuiu maior taxa de dissipação, diferindo de imazethapyr e imazapic. Comparando-se a taxa de dissipação dos agrotóxicos dentro dos sistemas de irrigação, observou-se que foi encontrada diferença significativa apenas para fipronil, que possuiu maior taxa de dissipação na irrigação contínua. Os valores médios de meia vida de dissipação em água para irrigação contínua e intermitente correspondem a 10,2, 6,7 e 3,5 dias para imazapic, imazethapyr e fipronil, respectivamente. A maior meia vida para fipronil no sistema intermitente é atribuída à menor perda do agrotóxico por extravasamento nesse sistema. Isso se deve provavelmente ao fato de ocorrer maior diluição e perdas de agrotóxicos na irrigação contínua por ocasião das chuvas (WATANABLE et al., 2007). Em irrigação contínua, Santos et al. (2008) encontraram meia vida de imazethapyr variando de 6,2 a 1,2 dias, dependendo da dose e época de aplicação.

Tabela 4. Taxa de dissipação de agrotóxicos (k_p) e meia-vida de dissipação dos agrotóxicos em água (DT_{50}) nos sistemas de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.

Sistema de irrigação	Imazethapyr	Imazapic	Fipronil	Média
	----- k_p -----			
Contínuo ¹	B 0,11 ^{ns (3)}	C 0,07 ^{ns}	A 0,23 *	0,136
Intermitente ²	B 0,10	C 0,06	A 0,18	0,12
Média	0,105	0,065	0,205	
	----- DT_{50} (dias) -----			
Contínuo	6,44	9,53	3,08	6,39
Intermitente	7,03	10,88	3,78	7,23
Média	6,73	10,20	3,49	

¹ Lâmina de água constante à 100 mm de altura acima de nível médio do solo, até o estágio R7 das plantas de arroz.

² A irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura acima do nível médio do solo, até que a lâmina de água evapotranspirasse totalmente. Então, quando o solo encontrava-se saturado, a irrigação era reiniciada até que a lâmina de irrigação alcançasse novamente 100 mm de altura. A irrigação foi paralisada quando as plantas encontravam-se em estágio R7.

³ Média não ligada por mesma letra na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

* Diferença significativa entre os manejos de irrigação pelo teste F ($p \leq 0,05$).

^{ns} Diferença não significativa entre os manejos de irrigação pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Dos 27 eventos de chuva que ocorreram durante o cultivo do arroz (Figura 8), na irrigação contínua, 16 deles proporcionaram extravasamento de água para fora da lavoura (Tabela 5) na irrigação contínua. Desses 16 eventos, em apenas nove foram detectadas concentrações de imazethapyr e imazapic, e somente dois eventos foram detectadas concentrações de fipronil, sendo que esses foram transportados para fora da lavoura. Já na irrigação intermitente, dos nove eventos de chuva que ocasionaram o extravasamento, somente seis eventos foram detectadas concentrações de imazethapyr e imazapic, e em único evento foi detectada concentração de fipronil.

O fato da irrigação intermitente proporcionar menor extravasamento e por conseqüência menor contaminação ambiental se deve à borda livre (diferença entre a altura do sistema de drenagem e a altura da lâmina de irrigação) das parcelas que evitavam o extravasamento de água da chuva, possibilitam assim o maior armazenamento dessa água (Figura 8). Entretanto, pode-se observar que o principal evento de transporte de agrotóxicos para o ambiente foi o primeiro, que ocorreu somente na irrigação contínua, pois nos demais eventos havia menor concentração de agrotóxicos na lavoura reduzindo assim a massa transportada para o ambiente. Também, é demonstrado na Tabela 5 que em quase todos os eventos que ocorreram transporte superficial de imazethapyr e imazapic, as concentrações desses químicos, na maioria dos casos, foram maiores na irrigação intermitente.

Provavelmente isso se deve às maiores perdas dos herbicidas que ocorreram na irrigação contínua (WATANABE et al., 2007).

De todos os eventos de transporte, o primeiro evento (21 DAE) proporcionou o transporte de maior quantidade de agrotóxicos, com valores de 1,96, 0,81 e 1,43 g i. a. ha⁻¹, respectivamente para imazethapyr, imazapic e fipronil (calculado com base na concentração e agrotóxicos e volume extravasado), que corresponde a 92% do total de imazethapyr, 74% do total de imazapic e 99,9% do total de fipronil transportado na irrigação contínua. Esses resultados corroboram com resultados de outros autores, como Gaynor et al. (2002) que observaram que no primeiro evento de chuva ocorreu o transporte de 89% da massa de atrazine do total transportada em todo o ciclo da cultura do milho. De maneira geral, Wauchope (1978) estimou para uma grande variedade de agrotóxicos que cerca de 1 a 2% da massa aplicada pode ser perdida em um único evento de escoamento superficial.

Analisando a concentração nominal dos agrotóxicos avaliados nesse experimento, valores referentes à concentração de imazapic na água transportada por meio do extravasamento ultrapassaram o valor de 0,1 µg L⁻¹ aos 40, 41, 44, 55 e 60 DAE na irrigação intermitente. Na irrigação contínua, concentrações nominais acima de 0,1 µg L⁻¹ foram encontradas no 21º DAE para imazethapyr, imazapic e fipronil e 41º DAE somente para imazethapyr e imazapic. O somatório das concentrações dos três agrotóxicos em cada evento de extravasamento foi verificado concentração acima de 0,5 µg L⁻¹ apenas na primeira coleta de água extravasada (21 DAE). Na legislação brasileira não estão estabelecidos os limites de concentração de imazethapyr, imazapic e fipronil presente na água para consumo humano e para águas superficiais. A maioria dos produtos que se encontram na Portaria 1469 do CONAMA não são utilizados na cultura do arroz irrigado, ainda que as concentrações máximas permitidas estejam na unidade de mg L⁻¹. Entretanto, a União Européia estabeleceu a concentração de 0,1 µg L⁻¹ para um agrotóxico e a concentração de 0,5 µg L⁻¹ para a concentração total de agrotóxicos. Essas concentrações são os limites máximos admissíveis de agrotóxicos em água destinada ao consumo humano, com a exceção de aldrin, dieldrein, heptachlor e óxido de heptachlor, que o limite é de 0,03 µg L⁻¹ (HAMILTON et al., 2003). Dessa forma, a irrigação contínua proporcionou contaminação ambiental em níveis acima dos estipulados pela união européia, considerando a concentração total dos agrotóxicos.

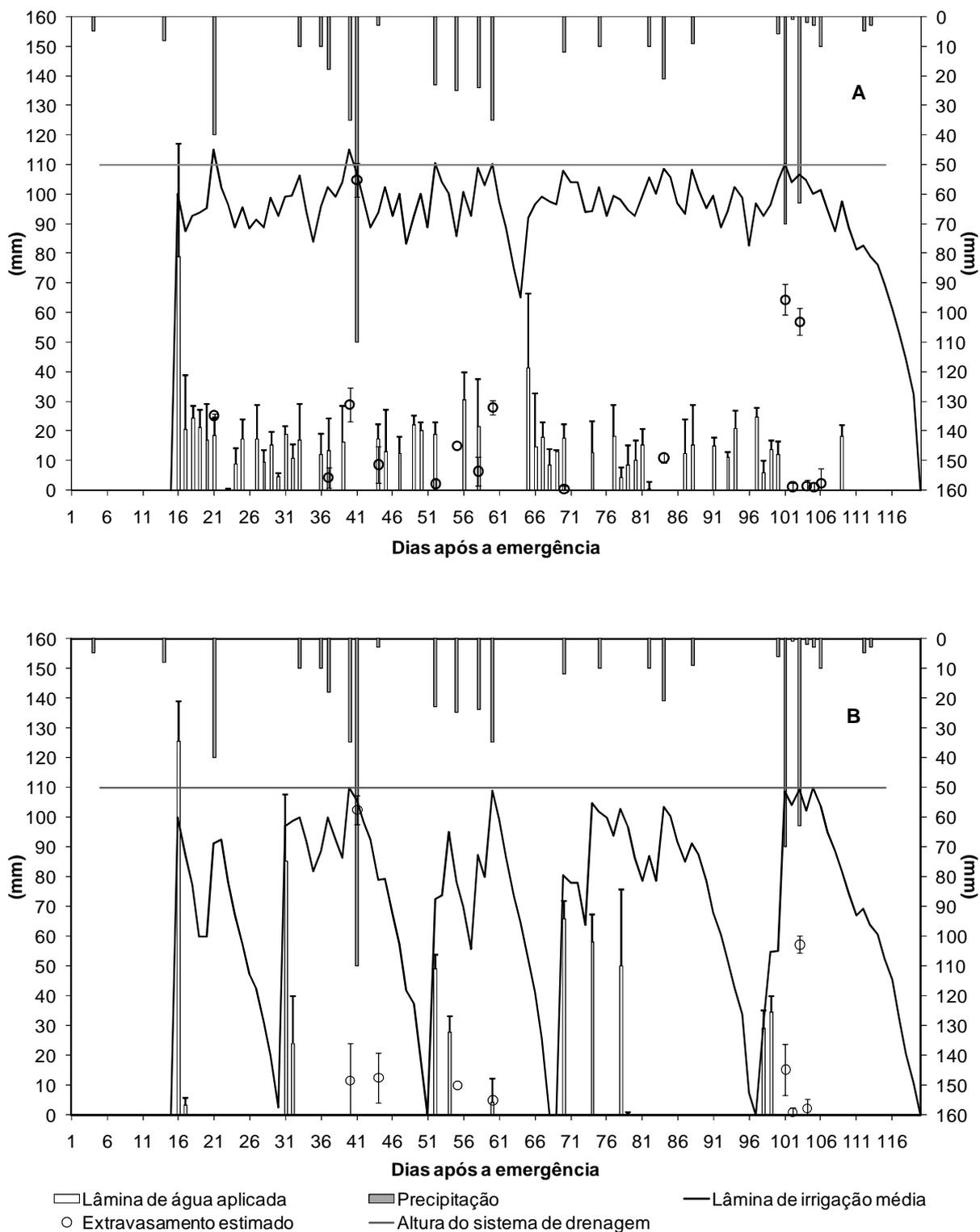


Figura 8. Balanço de água observado incluindo lâmina de água aplicada (mm), precipitação (mm), altura da lâmina de irrigação média (mm), extravasamento estimado (mm) e altura do sistema de drenagem (mm) no sistema de manejo de irrigação contínua (A) e intermitente (B). Para lâmina de água aplicada e extravasamento, barras de erro correspondem ao intervalo de confiança em 95% de probabilidade. Santa Maria, RS. 2009.

A massa total de agrotóxicos transportado para o ambiente foi maior no sistema de irrigação contínuo, independentemente do agrotóxico em questão (Tabela 6). A irrigação contínua proporcionou aproximadamente 15 vezes mais massa de agrotóxico (em g ha^{-1}) transportado para o ambiente quando comparado com a irrigação intermitente. Estudos realizados por Watanabe et al. (2007) e Watanabe et al. (2006) comprovam que a irrigação intermitente, por possuir maior capacidade de armazenamento das águas das chuvas, proporciona menor contaminação ambiental de agrotóxicos do que a irrigação contínua.

A percentagem de ingrediente ativo transportado em relação ao total aplicado na lavoura, também foi maior na irrigação contínua, resultando em diferença significativa entre as médias dessa variável nos distintos manejos de irrigação. Dessa forma, a irrigação intermitente permite redução do percentual de transporte de agrotóxicos para o ambiente em 80% para o herbicida imazapic, 96% para imazethapyr e 99% para fipronil. Apesar dos três agrotóxicos terem propriedades físico-químicas que os classificam como alto potencial de transporte dissolvido em água, estimada pelo método de Goss (Tabela 2), houve diferença significativa entre eles para a percentagem de ingrediente ativo transportado. Imazapic foi o agrotóxico com maior valor percentual médio transportado em relação às quantidades aplicadas no solo, que diferiu significativamente do demais.

Nesse sentido, Watanabe et al. (2007), comparando as perdas acumuladas para o ambiente de herbicidas em irrigação contínua e intermitente em arroz irrigado, encontraram valores de perdas de 37%, 12%, 35% e 3,8%, 1,2%, 2,7% de da massa total dos herbicidas simetryn, thiobencarb e mefenacet para a irrigação contínua e intermitente, respectivamente. Em outro estudo, Watanabe et al. (2006), encontraram perdas cumulativas de 38 e 49% do total aplicado de mefenacet bensulfuron-methyl em área manejada com irrigação contínua. Já na área manejada com irrigação intermitente, nenhum herbicida foi perdido, pois não ocorreu extravasamento de água da lavoura por ocasião das precipitações.

Correlacionando a massa de agrotóxico transportada com as propriedades físico químicas dos agrotóxicos (Tabela 7) observa-se que houve correlação positiva dessa variável com as propriedades solubilidade em água, DT_{50} em água e em solo. Ou seja, há uma tendência de aumento da massa do agrotóxico extravasada com o aumento do valor dessas propriedades. Já as propriedades peso molecular, K_{ow} e K_{oc} ,

a correlação é negativa, ou seja, há tendência de diminuir a massa de agrotóxicos extravasados com o aumento do valor dessas propriedades.

Os valores de peso molecular, K_{ow} e K_{oc} são inversamente correlacionados com a massa do agrotóxico transportada. Quanto maior o peso molecular, mais pesada é a molécula, mais difícil será o seu transporte através da água para o ambiente. Da mesma forma para K_{ow} e K_{oc} . O valor de K_{ow} indica lipofilicidade da molécula, ou seja, quanto menor o valor, mais hidrofílico é o agrotóxico, mais solúvel em água e maior o transporte para o ambiente. O K_{oc} representa o coeficiente de sorção da substância ao carbono orgânico do solo, ou seja, quanto menor o K_{oc} menor é a sorção, mais facilmente a molécula será transportada por ação da água. Em um estudo realizado por Watanabe et al. (2007), o K_{oc} foi um melhor indicativo do destino aquático de herbicidas quando comparado com a solubilidade em água.

A solubilidade em água é a quantidade máxima de agrotóxico que se dissolve em água, ou seja, agrotóxicos que possuem maior solubilidade, estão mais dissolvidos em água, logo serão mais facilmente transportados em solução para fora da lavoura. Da mesma forma para a meia vida em água e em solo, quanto maior os valores de meia vida, mais tempo o agrotóxico persiste no ambiente, maior é a probabilidade de ser carregado para fora do ambiente alvo, podendo estar dissolvido em água ou ainda adsorvido aos sedimentos.

Frente a essas correlações e justificativas, pode-se mencionar que o imazapic teve maior percentagem da massa transportada em relação ao total aplicado do que os demais agrotóxicos avaliados devido aos maiores valores de solubilidade em água, DT_{50} em campo (Tabela 2) e DT_{50} em água (Tabela 4). Por outro lado, para fipronil, o maior peso molecular, K_{ow} e K_{oc} podem ter influenciado na menor percentagem transportada desse ingrediente ativo em relação ao total aplicado na lavoura. Esse fato pode ser explicado pela forte sorção aos colóides do solo (elevado K_{oc}), não ficando disponível na solução para ser transportado. Outro fator que pode ter contribuído foi a menor meia vida de fipronil em água, devido a sua degradação por fotólise, hidrólise e microorganismos (CONNELLY, 2001). Dados da literatura reportam que não foram encontrados resíduos de fipronil em água de lavouras que iniciaram a irrigação de 4 a 6 semanas após a data de semeadura (MEDE, 1997).

Tabela 5. Concentração de imazethapyr, imazapic e fipronil, com respectivos intervalos de confiança (95%), na água transportada por meio do extravasamento para fora da lavoura de arroz manejada nos sistemas de irrigação contínuo e intermitente nos 16 eventos de chuva que ocasionaram extravasamento de água dos 27 eventos ocorridos durante o período do experimento. Santa Maria, RS. 2009.

DAE ¹	Imazethapyr ($\mu\text{g L}^{-1}$)		Imazapic ($\mu\text{g L}^{-1}$)		Fipronil ($\mu\text{g L}^{-1}$)	
	Contínuo ²	Intermitente ³	Contínuo	Intermitente	Contínuo	Intermitente
21	12,868 ($\pm 3,249$)	-	5,342 ($\pm 1,120$)	-	9,341 ($\pm 1,974$)	-
37	0,054 ($\pm 0,049$)	-	0,064 ($\pm 0,085$)	-	nd	-
40	0,047 ($\pm 0,029$)	0,059 ($\pm 0,057$)	0,070 ($\pm 0,045$)	0,158 ($\pm 0,088$)	nd	nd
41	0,108 ($\pm 0,064$)	0,042 ($\pm 0,015$)	0,148 ($\pm 0,094$)	0,149 ($\pm 0,036$)	nd	nd
44	0,047 ($\pm 0,049$)	0,035 ($\pm 0,012$)	0,073 ($\pm 0,070$)	0,126 ($\pm 0,024$)	nd	nd
52	0,018 ($\pm 0,014$)	-	0,022 ($\pm 0,020$)	-	nd	-
55	nd	0,031 ($\pm 0,01$)	nd	0,114 ($\pm 0,019$)	nd	nd
58	0,019 ($\pm 0,005$)	-	0,050 ($\pm 0,007$)	-	nd	-
60	0,018 ($\pm 0,009$)	0,028 ($\pm 0,009$)	0,078 ($\pm 0,015$)	0,102 ($\pm 0,015$)	0,002 ($\pm 0,001$)	0,002 ($\pm 0,001$)
70	0,010 ($\pm 0,014$)	-	0,040 ($\pm 0,055$)	-	nd	-
84	nd	-	nd	-	nd	-
101	nd	0,010 ($\pm 0,005$)	nd	0,045 ($\pm 0,006$)	nd	nd
102	nd	nd	nd	nd	nd	nd
103	nd	nd	nd	nd	nd	nd
104	nd	nd	nd	nd	nd	nd
106	nd	-	nd	-	nd	-
Média	1,466	0,034	0,654	0,116	4,671	0,002

¹ Dias após a emergência das plantas.

² Lâmina de água constante à 100 mm de altura acima de nível médio do solo, até o estágio R7 das plantas de arroz.

³ A irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura acima do nível médio do solo, até que a lâmina de água evapotranspirasse totalmente. Então, quando o solo encontrava-se saturado, a irrigação era reiniciada até que a lâmina de irrigação alcançasse novamente 100 mm de altura. A irrigação foi paralisada quando as plantas encontravam-se em estágio R7.

Tabela 6. Massa total dos ingredientes ativos dos agrotóxicos transportados para o ambiente por meio da água extravasada da lavoura de arroz e percentagem de ingrediente ativo transportado em relação ao total aplicado na lavoura de arroz irrigado manejada nos sistemas de irrigação contínuo e intermitente. Santa Maria, RS. 2009.

Sistema de irrigação	Imazethapyr	Imazapic	Fipronil	Média
	-----Massa total dos ingredientes ativos transportados (g ha ⁻¹)-----			
Contínuo ¹	2,1484 ³	1,1008	1,4305	1,5578 *
Intermitente ²	0,0645	0,2146	0,0002	0,0930
Diferença	2,0839	0,8862	1,4303	1,4648
Média	1,1064 ^{ns}	0,6577	0,7154	
	Percentagem transportada em relação ao total aplicado na lavoura ⁴			
Contínuo	2,8646	4,3906	3,1790	3,4780 *
Intermitente	0,0860	0,8584	0,0004	0,3149
Diferença	2,7786	3,5322	3,1786	3,1631
Média	1,4753 b ⁵	2,6245 a	1,5897 b	

¹ Lâmina de água constante à 100 mm de altura acima de nível médio do solo, até o estágio R7 das plantas de arroz.

² A irrigação era interrompida quando a lâmina alcançava 100 mm de altura acima do nível médio do solo, até que a lâmina de água evapotranspirasse totalmente. Então, quando o solo encontrava-se saturado, a irrigação era reiniciada até que a lâmina de irrigação alcançasse novamente 100 mm de altura. A irrigação foi paralisada quando as plantas encontravam-se em estágio R7.

³ Para a análise, os dados foram transformados para $yt = \sqrt{y}$.

⁴ Para a análise, os dados foram transformados para $yt = ar \cos en \sqrt{(y + 0,5)/100}$.

⁵ Média não ligada por mesma letra na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P ≤ 0,05).

* Diferença significativa entre os manejos de irrigação pelo teste F (P ≤ 0,05).

^{ns} Diferença não significativa entre os manejos de irrigação pelo teste F (P ≤ 0,05).

Tabela 7. Correlação entre algumas propriedades físico químicas dos agrotóxicos (peso molecular, solubilidade em água, K_{ow}, K_{oc}, DT₅₀ em água e DT₅₀ em solo) e a massa de agrotóxico transportada para fora da lavoura durante o ciclo do arroz irrigado no sistema de irrigação contínuo. Santa Maria, RS. 2008.

	Massa de agrotóxico transportada	
	Coefficiente de correlação de Pearson ¹	Valor de P
Peso molecular ² (g mol ⁻¹)	-0,666	0,009
Solubilidade em água ² (mg L ⁻¹)	0,546	0,033
K _{ow} ²	-0,688	0,006
K _{oc} ² (mL g ⁻¹)	-0,728	0,003
DT ₅₀ em água ³ (dias)	0,535	0,035
DT ₅₀ em solo ² (dias)	0,739	0,003

¹ Correlação das propriedades físico química de todos os agrotóxicos avaliados com suas respectivas massa extravasada durante o ciclo do arroz irrigado. Coeficientes positivos e com valores de P ≤ 0,05 há uma tendência de aumento do extravasamento de agrotóxicos com o aumento do valor da propriedade do agrotóxico. Coeficientes negativos e com valores de P ≤ 0,05 há uma tendência de diminuição da massa ou percentual de agrotóxico extravasada com o aumento do valor da propriedade do agrotóxico. Para correlação de Pearson com valores de P > 0,05 não há relação significativa entre a característica do agrotóxico e a massa extravasada.

² Dados de literatura, conforme Tabela 2. Para os valores de DT₅₀ em solo foram utilizados os valores máximos da tabela.

³ Resultados da análise de agrotóxico na água desse experimento, demonstrados na Tabela 4.

Conclusão

Quando comparada com a irrigação contínua, a irrigação intermitente proporciona economia de 32% do volume de água aplicada, devido ao maior volume de água da chuva armazenada, e conseqüentemente proporciona redução de 40% no volume de água escoada superficialmente e menor contaminação ambiental.

A irrigação intermitente permite redução de mais de 90% na massa de ingrediente ativo de agrotóxicos transportados para o ambiente em relação ao total aplicado na lavoura.

A correlação é positiva entre as propriedades solubilidade em água, DT_{50} em água e em solo e massa do agrotóxico transportada. Já as propriedades peso molecular, K_{ow} e K_{oc} , a correlação é negativa.

CONCLUSÕES GERAIS

A irrigação intermitente proporciona produtividade de grãos semelhante à irrigação contínua. Além disso, proporciona economia de 32% do volume de água aplicado, resultando em uma maior eficiência do uso de água do que a irrigação contínua. Essa economia é ocasionada devido ao maior volume de água da chuva armazenada. Dessa forma, a irrigação intermitente também proporciona redução de 40% no volume de água escoada superficialmente e menor contaminação ambiental, aproximadamente uma redução em mais de 90% na massa de ingrediente ativo de agrotóxicos transportados para o ambiente em relação ao total aplicado na lavoura.

Concentrações detectáveis de agrotóxicos são observadas até 101 DAE (85 DAI), entretanto somente o primeiro evento (21 DAE ou 5 DAI) de extravasamento na irrigação contínua ocasionou perdas com concentrações acima de $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ de agrotóxicos, necessitando assim adotar práticas que impeçam que a água saia da lavoura em momentos próximos a data de aplicação.

A intermitência da lâmina de água não afeta o controle de plantas daninhas se for utilizado herbicidas com propriedades residuais no solo e a primeira reposição da irrigação for feita quando as plantas de arroz já estiverem com o dossel vegetativo bem desenvolvido, sombreando parcialmente as entrelinhas. Da mesma forma, o ciclo da cultivar IRGA 422 CL não é influenciado pelo sistema de irrigação intermitente.

A correlação é positiva entre as propriedades solubilidade em água, DT_{50} em água e em solo e massa do agrotóxico transportada, ou seja, há uma tendência em aumentar a massa do agrotóxico extravasada com o aumento do valor de alguma dessas propriedades. Já as propriedades peso molecular, K_{ow} e K_{oc} , a correlação é negativa, ou seja, há tendência em diminuir a massa de agrotóxicos extravasados se aumentarem o valor dessas propriedades.

REFERÊNCIAS

- AVILA, L. A. et al. Effect of flood timing on red rice (*Oryza spp.*) control with imazethapyr applied at different dry-seeded rice growth stages. **Weed Technology**, Champaign, v. 19, n. 2, p. 476-480, May, 2005.
- AVILA, L. A. **Imazethapyr: red rice control and resistance, and environmental fate**. 2005. 81 f. Dissertation (Doctor of Philosophy) – Texas A & M University. Texas.
- AYENI, A. O.; MAJEK, B. A.; HAMMERSTEDT, J. Rainfall influence on imazethapyr bioactivity in New Jersey. **Weed Science**, Champaign, v. 46, n. 5, p. 581-586, Sept./ Oct. 1998.
- BARIZON, R. R. M. **Sorção e transporte de pesticidas sob condições de não-equilíbrio**. 2004. 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 71-86, jan./abr. 2005.
- BELDER, P. et al. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 65, n. 3, p. 193-210, Mar. 2004.
- BELTRAME, L. S.; LOUZADA, J. A. Water use rationalization in rice irrigation by flooding. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON EFFICIENT WATER USE, 1.; 1991, Cidade do México. **Anais...** Cidade do México: IWRA, 1991. p. 337-345.
- BHUIYAN, S. I.; CASTAÑEDA, A. R. The impact of ricefield pesticides on the quality of freshwater resources. In: PINGALI, P. L.; ROGER, P. A. (Org). **Impact of pesticides on farmer health and the rice environment**. Massachusetts : International Rice Research Institute, 1995. p. 181-202.
- BORRELL, A.; GARSIDE, A.; FUKAI, S. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi-arid tropical environment. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 52, n. 3, p. 231-248, Jun. 1997.

BOUMAN, B. A. M.; CASTAÑEDA, A. R.; BHUIYAN, S. I. Nitrate and pesticide contamination of groundwater under rice-based cropping systems: past and current evidence from the Philippines. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, New York, v. 92, n. 2-3, p. 185-199, Nov. 2002.

CAMARGO, E. R. et al. Influência da aplicação de nitrogênio e fungicida no estágio de emborrachamento sobre o desempenho agrônômico do arroz irrigado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 153-159, jan./abr. 2008.

CEREJEIRA, M. J.; VIANA, P.; BATISTA, S. Pesticide in Portuguese surface and ground waters. **Water Research**, New York, v. 37, n. 5, p. 1055-1063, Mar. 2003.

CONNOLLY, P. **Environmental fate of fipronil**. Sacramento: California Environmental Protection Agency, 2001.

CORRÊA, N. I. et al. Consumo de água na irrigação do arroz por inundação. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 50, n. 432, p. 3-8, jul./ago. 1997.

COUNCE, P. A. et al. A uniform, objective, and adaptive system for expressing Rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 436-443, Mar./Apr. 2000.

DESCHAMPS, F. C. et al. Resíduos de agroquímicos em águas de áreas de arroz irrigado, em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003. Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Balneário Camboriú: SOSBAI, 2003. p. 683-685.

FILIZOLA, H. F. et al. Monitoramento de agrotóxicos e qualidade das águas em área de agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 2, p. 245-250, abr./jun. 2005.

FEPAM — Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. In: **Licenciamento ambiental: atividade agricultura**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamentoambiental/enquadramento/p1.htm>. Acesso em: 29 jun. 2007.

GAYNOR, J. D. et al. Runoff and drainage losses of atrazine, metribuzin, and metolachlor in three water management systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, n. 1, p. 300-308, Jan./Feb. 2002.

GONÇALVES, F. F. **Estudo de métodos empregando HPLC–DAD e LC-MS/MS para determinação de resíduos de herbicidas em água e solo do cultivo de arroz irrigado.** 2007. 148 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

GOULART, M.; CALLISTO, M. Bioindicadores da qualidade da água como ferramenta em estudo de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, Pará de Minas, n. 2, v. 1, p. 1-9, 2003.

GRUTZMACHER, D. D. et al. Avaliação e monitoramento de agrotóxicos no sedimento de dois mananciais hídricos da região sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 27., 2007, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: SOSBAI, 2007. 1 CD-ROM.

GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 8, n. 4, p. 339-357, Apr. 1989.

HAMILTON, D.J. et al. Regulatory limits for pesticide residues in water. **Pure and Applied Chemistry**, Oxford, v.75, n.8, p.1123-1155, Aug. 2003.

HANADA, K. Tillers. In: MATSUO, T.; HOSHIKAWA, K. (Org). **Science of the plant.** Tokyo: Food Agriculture Policy Research Center, 1993. p. 222-258.

HEISER, J. W. **Dissipation and carryover of imidazolinone herbicides in imidazolinone-resistance rice (Oryza sativa).** 2007. 104 f. Thesis (Master of Science), University of Missouri - Columbia. Columbia.

HUBER, A.; BACH, M.; FREDE, H.G. Pollution of surface waters with pesticides in Germany: modeling non-point source inputs. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, Amsterdam, v. 80, n. 3, p. 191-204, Sept. 2000.

INOUE, M. H. et al. Potencial de lixiviação de imazapic e isoxaflutole em colunas de solo. **Planta daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 545 - 555, jul./set. 2007.

KRAEMER, A. F. **Residual da mistura formulada dos herbicidas imazethapyr e imazapic em áreas de arroz sob diferentes manejos de solo.** 2008. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

KURZ, M. H. S. **Estudo de métodos empregando extração em fase sólida e análise por HPLC-DAD e GC-ECD para determinação de resíduos de pesticidas em águas e degradação a campo.** 2007. 161 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

LEE, D. J. et al. Soil characteristics and water potential effects on plant-available clomazone in rice. **Weed Science**, Champaign, v. 52, n. 2, p. 310-318, Mar. 2004.

MACHADO, S. L. O. et al. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 65-71, jan./fev., 2006.

MACHADO, S. L. O. et al. Lavoura arrozeira e recursos hídricos. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 27, p. 97-106, 2003.

MACHADO, S. L. O. et al. Persistência de alguns herbicidas em lâmina de água de lavoura de arroz irrigado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 2003. Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 2001. p. 775-777.

MARCHEZAN, E. et al. Rice herbicides monitoring in two brazilian rivers during the rice growing season. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 2, p. 131-137, jan./mar. 2007.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M.; GENRO JR, S. A. Persistência de herbicida imazethapyr na lâmina de água em diferentes sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., 2005. Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: SOSBAI, 2005. p. 560-562.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M.; GENRO JR, S. A. Persistência de herbicida imazethapyr na lâmina de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003. Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Balneário Camboriú: SOSBAI, 2003. p. 686-688.

MARIOT, C. H. P.; MENEZES, V.G. Controle de angiquinho no sistema clearfield em arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 26., CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS, 18., 2008, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto: SBCPD, 2008. 1 CD-ROM.

MASSONI, et al. Controle de arroz vermelho em arroz tolerante a imidazolinonas e o residual em genótipo de arroz não tolerante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 27., 2007, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: SOSBAI, 2007. 1 CD-ROM.

MATSUNAKA, S. Historical review of rice herbicides in Japan. **Weed Biology and Management**, v. 1, n. 1, p. 10-14, 2001.

MEDE, K. **Fipronil**: Aquatic Field Dissipation. Rhône-Poulenc Agricultural Limited. Data Package ID No. 169043-45 DPR Document No. 52062-240 Pt.1, 1997.

MEDEIROS, R. D. et al. Manejo de água em arroz irrigado no Estado de Roraima. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 48, n. 420, p. 12-14, mar./abr. 1995.

MEROTTO JR., A.; VIDAL, R. A.; FLECK, N. G. Absorção e translocação de herbicidas. In: VIDAL, R. A.; MEROTTO JR., A. (Org). **Herbicidologia**. Porto Alegre: R. A. Vidal ; A. Merotto Jr., 2001. p. 6-14.

NOLDIN, J. A. et al. Estratégia de coleta de amostras de água para monitoramento do impacto ambiental de cultura do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2., 2001, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: SOSBAI, 2001. p. 760-762.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances In Agronomy**, San Diego, v. 24, p. 29-96, 1972.

PRIMEL, E. G. et al. Poluição das águas por herbicidas utilizados no cultivo do arroz irrigado na região central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil: predição teórica e monitoramento. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 605-609, jul. / ago. 2005.

RAVETON, M. et al. Soil distribution of fipronil and its metabolites originating from a seed-coated formulation. **Chemosphere**, Oxford, v. 69, n. 7, p. 1124-1129, Oct. 2007.

RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; PELLEGRINI, J. B. R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 27, p. 85-96, 2003.

RODRIGUES, G. S.; IRIAS, L. J. M. **Considerações sobre os impactos ambientais da agricultura irrigada**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2004.

ROGER, P. A.; BHUIYAN, S. I. Behavior of pesticides in rice-based agrosystems: a review. In: PINGALI, P. L.; ROGER, P. A. (Org). **Impact of pesticides on farmer health and the rice environment**. Massachusetts: International Rice Research Institute, 1995. p. 111-148.

SANTOS, A. B. et al. Manejo de água e de fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 565-573, abr. 1999.

SANTOS, F. M. et al. Controle químico de arroz-vermelho na cultura do arroz irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 405-412, 2007.

SANTOS, F. M. et al. Persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone em lâmina de água do arroz irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 875-881, 2008.

SELBORNE, L. **A ética do uso da água doce**: um levantamento. Brasília, DF: UNESCO, 2001.

SENSEMAN, S.A. (Ed.). **Herbicide handbook**. 9th ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2007.

SHI, Q. et al. Effects of different water management practices on rice growth. In: BOUMAN, B. A. M et al. **Water-wise rice production**. Proceedings of the International Workshop on Water-wise Rice Production. Los Bãnos (Philippines): International Rice Institute, 2002. p. 3-13.

SILVA, A. A.; VIVIAN, R.; JR. OLIVEIRA, R. S. Herbicidas: Comportamento no solo. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Org). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Editora da UFV, 2007. p. 189-243.

SILVA, L. S. et al. Avaliação de métodos para estimativa da disponibilidade de fósforo para arroz em solos de Várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 207-216, jan./fev. 2008.

SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz Irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil / Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado; Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 5., Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 27.** Pelotas: SOSBAI, 2007.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2. ed. Belo Horizonte: DESA, 1996.

STONE, L. F. **Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

STONE, L. F. et al. Manejo de água na cultura do arroz: consumo, ocorrência de plantas daninhas, absorção de nutrientes e características produtivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 323-337, mar. 1990.

TABBAL, D. F. et al. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice: case studies in the Philippines. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 93-112, Jul. 2002.

TOESCHER, C. F. **Produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação.** 1991. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

TOESCHER, C. F.; RIGHES, A. A.; CARLESSO, R. Volume de água aplicada e produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 4, n. 1, p. 75-79, 1997.

TUONG, T. P.; BHUIYAN, S. I. Increasing water-use efficiency in rice production: farm-level perspectives. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 40, n. 1, p. 117-122, Mar. 1999.

VILLA, S. C. C. et al. Controle de arroz-vermelho em dois genótipos de arroz (*Oryza sativa*) tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 549-555, jul. / set. 2006.

WATANABE, H. et al. Effect of water management practice on pesticide behavior in paddy water. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 88, n. 1-3, p.132-140, Mar. 2007.

WATANABE, H.; KAKEGAWA, Y.; VU, S. H. Evaluation of the management practise for controlling herbicide runoff from paddy fields using intermittenr and spillover-irrigation schemes. **Paddy Water Environmental**, Tokyo, n. 4, p. 21-28, Feb. 2006.

WAUCHOPE, R. D. The pesticide content of suface water draining from agricultural fields - a review. **Journal of Environmental Quality**, Madison, n. 7, p. 459-472, 1978.

WILLIAMS, B. J. et al. Weed management systems for Clearfield rice. **Louisiana Agriculture**, Baton Rouge, v.45, n.3, p.16-17, Jul./Sept. 2002.

ZIMDAHL, R. L. **Fundamentals of weed science**. San Diego: Academic Press, 1999.