

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

A Cultura do Arroz no Brasil

*2ª Edição
Revisada e ampliada*

Alberto Baêta dos Santos
Luís Fernando Stone
Noris Regina de Almeida Vieira
Editores Técnicos

*Embrapa Arroz e Feijão
Santo Antônio de Goiás, GO
2006*

Exemplares desta publicação devem ser solicitados à:

Embrapa Arroz e Feijão

Rod. GO 462, Km 12

Caixa Postal 179

CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás , GO

Fone: (62) 3533-2110

Fax: (62) 3533-2100

sac@cnpaf.embrapa.br

www@cnpaf.embrapa.br

Embrapa Informação Tecnológica

Parque Estação Biológica (PqEB), Av. W3 Norte (final)

Fone: (61) 3340-9999

Fax: (61) 3340-2753

CEP 70770-901 - Brasília, DF

vendas@sct.embrapa.br

www.sct.embrapa.br

Supervisor Editorial: *Marina A. Souza de Oliveira*

Revisor de Texto: *Noris Regina de Almeida Vieira*

Normalização Bibliográfica: *Ana Lúcia Delalibera de Faria*

Tratamento das Ilustrações: *Sebastião José de Araújo e Fabiano Severino*

Editoração Eletrônica: *Fabiano Severino*

1ª edição

1ª impressão (1999): 1.000 exemplares

2ª edição

1ª impressão (2006): 2.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Arroz e Feijão

A cultura do arroz no Brasil / editores, Alberto Baêta dos Santos, Luís Fernando Stone, Noris Regina de Almeida Vieira. - 2. ed. rev. ampl. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p. : il. ; 23 cm.

ISBN 85-7437-030-4

1. Arroz - Produção. 2. Arroz - Tecnologia. 3. Arroz - Pesquisa. I. Santos, Alberto Baêta dos, *ed.* II. Stone, Luís Fernando, *ed.* III. Vieira, Noris Regina de Almeida, *ed.* IV. Embrapa Arroz e Feijão.

CDD 633.18 (21. ed.)

© Embrapa 2006

Impacto da Orizicultura na qualidade do Meio Ambiente

Maria Laura Turino Mattos; José Alexandre Freitas Barrigossi; Anna Cristina Lanna

RESUMO - Alternativas tecnológicas para a produção de arroz em terras altas e várzeas, conforme os preceitos da Agenda 21, devem ser desenvolvidas pelas instituições de pesquisa sob condições de campo realísticas, considerando aspectos sócio-econômicos e ambientais, monitorando holisticamente seus efeitos. Nos Cerrados, a recuperação da capacidade produtiva dos solos pode ser obtida por meio da integração lavoura-pecuária, incluindo a cultura do arroz de terras altas, e mesmo o sistema plantio direto. Esse manejo pode preservar a biodiversidade regional e o crescimento do agronegócio pode ocorrer sem o desmatamento de novas áreas, com a conservação, em especial, do recurso solo. Nas várzeas subtropicais, a sustentabilidade da orizicultura irrigada pode ser alcançada pela adoção de sistemas modernos de qualidade, como Boas Práticas de Manejo (BPM) e Boas Práticas Agrícolas (BPA), inseridos no contexto da produção integrada, que fornecerá ao agronegócio de arroz a segurança para enfrentar os procedimentos legais, como o licenciamento ambiental, já implantado para essa atividade. Nas várzeas tropicais, de uso mais recente para cultivo de arroz, os estudos de avaliação de impacto ambiental devem ser implementados, paralelamente ao desenvolvimento de sistemas de produção, considerando, principalmente, que nessa região, o aporte de agrotóxicos é mais intenso que nas várzeas da Região Sul do Brasil, onde ainda concentra-se a orizicultura irrigada. É importante enfatizar que os processos de educação ambiental devem ser implementados em empresas orizícolas, atingindo todos os trabalhadores e reafirmando o compromisso com a saúde e o meio ambiente. Dessa forma, além do foco na obtenção de maior rentabilidade, a conscientização sobre a necessidade de maior qualidade ambiental, será induzida e validada *in loco*. A premissa básica considerada neste capítulo foi a de organizar o conhecimento compreensivo para a tomada de decisão na busca da sustentabilidade da cultura do arroz no Brasil. É importante salientar que uma lavoura de arroz, no tempo e no espaço, pode ser fonte de alguma contaminação ambiental ou causar impacto ambiental negativo, o que não significa, porém, que a atividade orizícola seja poluidora.

INTRODUÇÃO

Embora desde os seus primórdios a produção de alimentos esteja fundamentada na exploração e aproveitamento de recursos naturais, como solo, água, clima e biodiversidade, apenas no final do século passado é que o homem atentou para a necessidade da preservação e conservação desses recursos, visando ao desenvolvimento de sistemas agrícolas



sustentáveis. De acordo com a Agenda 21 brasileira, tecnologias ambientalmente saudáveis são aquelas que: protegem o meio ambiente; são menos poluentes; usam os recursos de forma sustentável; reciclam seus resíduos e produtos; e tratam os dejetos residuais de maneira mais aceitável que as tecnologias que passaram a substituir.

No caso da cultura de arroz, essa visão de sustentabilidade engloba, entre outros aspectos, a redução do uso de insumos químicos, precursora da minimização de custos de produção e de riscos de impacto ambiental negativo, subsidiando questões de segurança alimentar e ambiental. Nesse contexto, principalmente o controle doenças, insetos e plantas daninhas, entre outros organismos nocivos, deve ser praticado seguindo as bases técnicas para o Manejo Integrado de Pragas (MIP), buscando, sempre que possível, reduzir o uso de agrotóxicos, garantir a segurança alimentar, preservar a qualidade de águas superficiais e subterrâneas, os organismos da fauna aquática, as aves e os microrganismos do solo, bem como as matas nativas, aumentando a consciência ambiental.

A maioria dos registros e das recomendações para o controle de pragas, até então, foi baseada em informações de eficiência técnica dos produtos, em detrimento de informações sobre possíveis impactos no agroecossistema. Dados ecotoxicológicos foram importados de outros países para o Brasil, não sendo, portanto, obtidos no ambiente das lavouras nas várzeas tropicais e subtropicais. Embora toxicologistas ambientais venham pesquisando e melhorando os métodos analíticos e avaliando o impacto ambiental (AIA) dos agrotóxicos em arrozais, o uso dos resultados para o desenvolvimento de medidas regulatórias e boas práticas de manejo ainda é restrito.

Oitenta por cento do arroz produzido no mundo, é cultivado no ecossistema várzeas, sendo responsável por aproximadamente 93% da produção mundial (Santos et al., 2003). Portanto, a conservação dos recursos naturais nessas várzeas é muito importante, visando a manter e/ou restabelecer o equilíbrio necessário para uma exploração sustentável.

No Brasil, a produção de arroz irrigado, nas várzeas, ocupa cerca de 1.368.422 hectares, distribuída nas várzeas subtropicais do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (86,5%), e nas várzeas tropicais do Tocantins, Goiás e Mato Grosso do Sul (13,5%) (Santos et al., 2003). Nessas regiões, instituições públicas e privadas estão engajadas em prol de cuidados com o meio ambiente, demonstrando crescente interesse na geração de conhecimentos sobre os recursos naturais.

Neste capítulo, são apresentados modelos e observações de caráter puramente científico, para a determinação de qualidade



ambiental nos ecossistemas várzeas e terras altas, abordando tópicos sobre o impacto ambiental do uso de agrotóxicos, monitoramento ambiental, biodiversidade, nitrogênio e fosfatos, gás metano e medidas de mitigação nos ecossistemas, visando à compreensão dos possíveis impactos, positivos e negativos, da cultura do arroz.

Espera-se despertar o interesse do leitor para a importância das 'commodities ambientais', ou seja, os recursos naturais em condições sustentáveis para a manutenção da cadeia produtiva do arroz irrigado e de terras altas, nos biomas Cerrados e Campos Meridionais.

CONCEITUALIZAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

Segundo a resolução nº 001 de 23 de novembro de 1986 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), impacto ambiental (IA) pode ser conceituado como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia, resultante das ações antrópicas que, direta ou indiretamente, afetem: (1) a saúde, a segurança, o bem estar e as atividades socioeconômicas da população; (2) a biota, constituído pelo conjunto de animais e vegetais de uma dada região e (3) as condições estéticas e sanitárias de meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

Nesse contexto, o impacto ambiental constitui-se em qualquer modificação dos ciclos ecológicos em um dado ecossistema. A ruptura de relações ambientais normalmente produz impactos negativos, a não ser que essas relações já refletissem o resultado de processos adversos, e, por analogia, o fortalecimento de relações ambientais estáveis constitui um impacto positivo. Nos casos que representam a introdução de novas relações ambientais em um ecossistema, deve ser efetuada a análise de todos os seus efeitos, de modo a enquadrá-los, um a um, como benefícios ou adversidades. Em suma, os impactos ambientais afetam a estabilidade preexistente dos ciclos ecológicos, fragilizando-a ou fortalecendo-a (Tauf et al., 1991).

A avaliação de impacto ambiental (AIA) é um instrumento de política ambiental que permite avaliar os efeitos de ações antrópicas, estabelecidas por projetos, planos, programas e políticas, sobre os recursos naturais, culturais e socioeconômicos, de modo que as informações e resultados sejam apresentados adequadamente ao poder público, aos responsáveis pelas tomadas de decisão e à sociedade, para sua consideração e estabelecimento de medidas para monitoração e controle de seus efeitos (Silva & Pruski, 2000).



A realização adequada de AIA requer o envolvimento de equipe multi e interdisciplinar e, muitas vezes, multiinstitucional. No gerenciamento dessas equipes, dificuldades em função da diversidade de culturas, disciplinas e especializações envolvidas, devem ser contornadas para que haja uma integração holística. Requer, também, o estabelecimento de medidas de comparação entre situações alternativas, pois, avaliar pressupõe mensurar e comparar.

Os impactos ambientais podem ser classificados quanto: ao valor, em positivos ou negativos; à ordem, em diretos ou indiretos; à escala, em locais, regionais ou estratégicos; ao tempo, em imediatos, de médio ou de longo prazo; à ação, em temporários ou permanentes.

Em um estudo de impacto ambiental (EIA) deve ser realizado, inicialmente, o diagnóstico ambiental, a identificação, a medição, a interpretação e a quantificação dos impactos. Posteriormente, devem ser propostas medidas mitigadoras e elaborados programas de monitoração, essenciais à avaliação dos impactos e como ferramenta para o acompanhamento dos resultados das medidas corretivas propostas. Na Tabela 25.1 são apresentados os itens que compõem o EIA.

Tabela 25.1. Itens que devem compor o estudo de impacto ambiental.

Item	Exemplificação
Informações gerais	Descrição do empreendimento Área de influência Diagnóstico ambiental da área de influência
Fatores ambientais	
· Meio físico	Condições meteorológicas e clima Qualidade do ar Ruído Geologia Geomorfologia Solos Recursos Hídricos Hidrologia Qualidade da água
· Meio biótico	
· Meio sócioeconômico	Dinâmica populacional Uso e ocupação do solo Uso da água Patrimônio cultural Nível de vida Organização social

Fonte: Adaptada de Silva & Pruski (2000).



BIODIVERSIDADE

Biodiversidade é o total de gens, espécies e ecossistemas de uma região, sendo dividida em três categorias hierarquizadas – gens, espécies e ecossistemas – que descrevem aspectos bem diferentes dos sistemas de vida e que podem ser agrupadas em diversidade genética, significando variação dos gens dentro das espécies, de espécies, ou seja, variedade de espécies existentes dentro de uma região, e de ecossistemas (Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 1999).

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – UNCED/Rio 92 – desvendou para o público, por meio da Convenção sobre Diversidade Biológica, o laço existente entre a utilização dos recursos biológicos e o desenvolvimento sustentável. Um desenvolvimento que considere a harmonia Homem-Natureza numa ordem mundial mais justa, conservando os recursos biológicos para o bem-estar das futuras gerações. A conservação e utilização racional da biodiversidade devem caminhar juntas em prol da vida, sobretudo em benefício dos países em desenvolvimento, que, em geral, são os maiores detentores dessa riqueza (Garay & Dias, 2001).

O valor da biodiversidade está baseado na variedade de espécies, ecossistemas e habitats bem diferenciados que influenciam a produtividade e os serviços oferecidos pelos ecossistemas. Mudanças ocorridas na variedade de espécies num ecossistema irão acarretar mudanças na sua capacidade em absorver a poluição, manter a fertilidade do solo e os microclimas, purificar a água, entre outros.

No bioma Campos Meridionais, Planalto Sul Brasileiro e Mata Atlântica, na região de clima temperado, ocorre uma grande variedade de ecossistemas, o que concorre para a grande incidência de diversidade biológica. Além de origem e habitat das numerosas espécies animais e vegetais, desempenham serviços ecossistêmicos de ciclagem de nutrientes e materiais, de produção e depuração da água e do ar e de reprodução de estoques pesqueiros. A implementação de meios de gestão ou manejo que garantam a continuidade de espécies, de formas genéticas e de ecossistemas deve ser incentivada nessas regiões. A flora, os recursos florestais, a fauna, os recursos pesqueiros, por meio da aqüicultura, devem ter a sua biodiversidade conservada.



Nas várzeas subtropicais (Fig. 25.1), representadas nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, situadas entre as latitudes 24°S e 34°S, predomina o clima temperado úmido (Cf), com duas variedades específicas, Cfa (sub-tropical) e Cfb (temperado), distinguidas por temperaturas médias do mês mais quente superiores ou inferiores a 22°C, respectivamente, segundo a classificação de Köppen. Nessas áreas, uma grande diversidade de microrganismos são encontrados no solo, bem como sedimentos de plantas e de animais. Além disso, as bacias hidrográficas do sudeste, dos rios Paraná e Uruguai, além das Lagoas dos Patos, Mirim e Mangueira, conferem à região de Clima Temperado e, conseqüentemente, às várzeas subtropicais, uma condição privilegiada em relação à disponibilidade de recursos hídricos o que proporciona habitat natural para uma grande diversidade de espécies e de populações.

Foto: José Francisco Martins



Fig. 25.1. Lavoura de arroz irrigado nas várzeas subtropicais. Pelotas, RS.

Os solos de várzea, encontrados nas planícies de rios e de lagoas, no Rio Grande do Sul, abrangem uma área de aproximadamente 5.400.000 ha, nas regiões do Litoral, Encosta do Sudeste, Depressão Central, Campanha e Campanha/Missões. Em função da heterogeneidade do material de origem e dos diferentes graus de hidromorfismo, apresentam grande variação nas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, fazendo com que sejam



agrupados em diferentes classes, com diferentes limitações e aptidões de uso, como: Planossolos, Gleissolos, Chernossolos Ebânicos e Chernossolos Argilúvios, Plintossolos, Vertissolos, Neossolos Flúvicos e Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos. Nas partes mais altas das áreas de várzeas podem ocorrer Argissolos, Alissolos, Luvisolos, Chernossolos Háplicos e Neossolos Quartzarênicos Órticos (Gomes & Pauletto, 1999). Associados a essas classes de solos encontram-se diversos organismos componentes da biota do solo, como bactérias, fungos, algas e a fauna.

Em Planossolo Hidromórfico Eutrófico Típico e Gleyssolo Háplico Ta Eutrófico do ecossistema terras baixas foi possível identificar, por meio de análise molecular, uma diversidade de bactérias degradadoras de agrotóxicos: uma espécie da família *Enterobacteriaceae* e duas linhagens de *Bacillus megaterium*, 13 espécies de *Pseudomonas* e uma espécie de *Sinorhizobium*, ainda não descritas na literatura, e uma *Raoultella planticola*. Os resultados desse trabalho demonstraram uma rica diversidade de espécies bacterianas degradadoras de agrotóxicos, com predominância do gênero *Pseudomonas*, que tem a capacidade de utilizar um grande número de compostos orgânicos complexos e raros como fonte de carbono e energia. Além disso, *Pseudomonas* são capazes de rapidamente desenvolver novas atividades metabólicas em resposta a mudanças nas condições ambientais (Mattos et al., 2003a). Nesses solos, além de bactérias degradadoras de glifosato, duas espécies de *Pseudomonas* e uma espécie de *Sinorhizobium* (Fig. 25.2), também foram identificados fungos: *Nigrospora sphaerica*, *Cochliobolus heterostrophus*, *Fusarium anthophilum* e *Micelia sterilia* (Fig. 25.3) (Mattos, 2001); e bactéria degradadora do herbicida clomazone: *Pseudomonas fluorencens* (Fig. 25.4) (Mattos & Thomas, 1996).

Foto: Maria Laura Turino Mattos



Fig. 25.2. Bactérias degradadoras de glifosato: duas espécies de *Pseudomonas* e uma espécie de *Sinorhizobium*.



Foto: Maria Laura Turino Mattos

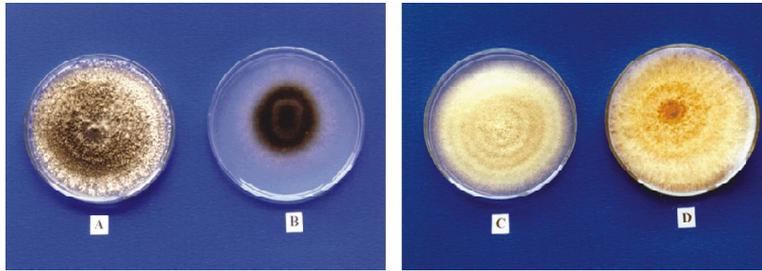


Fig. 25.3. Fungos degradadores de glifosato: *Nigrospora sphaerica* (A), *Cochliobolus heterostrophus* (B), *Fusarium anthophilum* (C) e *Micelia sterilia* (D).

Foto: Maria Laura Turino Mattos



Fig. 25.4. Bactéria degradadora de clomazone: *Pseudomas fluorescens*.

A assembléia de pássaros em área orizícola foi monitorada por Dias et al. (2001), na Estação Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, no município de Capão do Leão, RS (Fig. 25.5). Nesse trabalho, foram registradas 55 espécies de aves no local de estudo, sendo 29 (53%) exclusivas da área de influência indireta, 14 (25%) da área de influência direta e 12 (22%) comuns em ambas. Esses dados sugerem uma grande diversidade de aves que habitam temporariamente as várzeas cultivadas com arroz irrigado.

O Rio Grande do Sul apresenta uma variedade de ecossistemas: lagoas, campos, dunas, banhados e florestas. Muitos desses ambientes estão em áreas protegidas, chamadas unidades de conservação, que são porções do território com características naturais relevantes, criadas pelo poder público federal, estadual ou municipal para preservação da natureza e sua biodiversidade.





Fig. 25.5. Espécies componentes da assembléia de pássaros em área orizícola. Estação Experimental Terras Baixas, Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Nesse contexto, salientamos a área de banhado localizada na Estação Experimental Terras Baixas (ETB) da Embrapa Clima Temperado, no município de Capão do Leão, RS, de 806 ha (altitude máxima 13 m, latitude 31° 52' 00"S, longitude 52° 21' 24"W), situada na região da planície costeira (Fig. 25.6), indicada como um Centro de Reabilitação de Restinga no Plano de Preservação do Ecossistema das Áreas Úmidas no Estudo de Desenvolvimento Relativo ao Gerenciamento Ambiental da Bacia Hidrográfica das Lagoas dos Patos e Mirim, conduzido pela Japan International Cooperation Agency – JICA, em parceria com a Embrapa e outras instituições do estado, de responsabilidade do Governo do Estado do Rio Grande do Sul – Secretaria do Planejamento - Programa Mar de Dentro.

Refúgio de vida silvestre e também um valioso patrimônio natural do Rio Grande do Sul, o banhado pode ser destacado em importância no cenário nacional e internacional pela riqueza da biodiversidade, beleza cênica, recursos naturais florísticos e faunísticos. Em seu entorno, encontram-se várzeas subtropicais cultivadas com arroz irrigado onde a fauna aquática e aves estão sob influência direta dele (Fig. 25.7).



Foto: Max Pinheiro



Fig. 25.6. Área de banhado localizada na Estação Experimental Terras Baixas (ETB) da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Foto: Max Pinheiro



Fig. 25.7. Várzeas subtropicais cultivadas com arroz irrigado no entorno da área de banhado. Estação Experimental Terras Baixas (ETB), Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Nesse banhado, encontram-se macrófitas aquáticas, plantas flutuantes, aguapés (*Eichhornia* spp.), marrequinha (*Pistia stratiotes*) e lentilha d'água (*Lemnaceae*), entre outras. Observam-se pequenos tapetes de vegetação flutuante ou "colchões d'água", formações arbustivas como sarandis (*Cephalanthus*), vassouras e a típica árvore corticeira (*Erythrina crista-galli*). Junto à cobertura principal, ou palha, que cobre o terreno, observam-se tiriricas (*Cyperaceae*), juncos, santa-fé e outras (Fig. 25.8).





Fig. 25.8. Vegetação da área de banhado. Estação Experimental Terras Baixas (ETB), Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Os campos do banhado encontram-se mesclados com vegetação de caraguatás, apresentando regiões alagadas com grama-boiadeira/aguapé e moitas, contendo tunas (*Cactaceae*) em áreas mais altas. Campos com *Andropogon* estão presentes nas porções altas e baixas do terreno. Nas águas do açude, existente há mais de 40 anos, encontram-se grandes esteirões ou colchões de grama/arbustos flutuantes e uma abundante população de aguapés, os quais cobrem uma grande parte da lâmina d'água; nas partes mais rasas predominam as espécies da "palha". Entre as formações arbóreas dos capões, destaca-se a presença de figueiras (*Ficus*), açoita-cavalos (*Luehea*), palmeiras (*Palmae*), além de cactos e bromélias.

Também observam-se gaviões, martim-pescador, capivaras, socozinhos, marrecas, bandos de maçaricos-do-banhado, passeriformes, saracuras e frangos d'água, tarrãs e bem-te-vi. Dentre os peixes, predominam espécies como traíras, jundiás, mandis, lambaris, tambicas, vogas, carás, cascudos e violas.

Grupos de quelônios utilizam-se dos "colchões d'água" junto aos canais artificiais para assolhamento e moluscos bivalvos habitam nas águas túrbidas. Visualizam-se zorrilhos, lebres, dorminhocos, sorros ou graxains-do-campo, mão-pelada, gatos-da-palha, gatos-do-mato, ratões-do-banhado, gambás, doninhas, preás, morcegos, tatus, urubus, corujas, socó-boi, João-de-barro, quelônios e lagartos. Destaca-se também a presença de sabiás, picapaus, beija-flores, pombões, sorros, capinchos e tatus, nas matas de galeria.



Nos campos do banhado são freqüentes as perdizes, os maçaricos-do-banhado, as garças-brancas, tarrãs, marrecas-de-asa-azul, o João-Grande, rango-d'água-vermelho e os quero-queros. Lebres são normalmente avistadas próximo às tunas. Temporariamente aparecem marrecões-da-patagônia, cisnes e colhereiros-rosados. Modificações do habitat favoreceram o estabelecimento de populações significativas de capivaras, ratões-do-banhado e tarrãs. Ocorre também uma pequena população de jacarés-do-papo-amarelo (Fig. 25.9), espécie ameaçada de extinção, além de dorminhocos, saracuras, marrecas, tartarugas e uma abundante população de traíras, lambaris e caramujos.

Foto: Max Pinheiro



Fig. 25.9. Jacarés-do-papo-amarelo (*Caiman latirostris*). Estação Experimental Terras Baixas (ETB), Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

A criação do jacaré-do-papo-amarelo, da capivara, e do rato-do-banhado, nas várzeas subtropicais do RS, é uma alternativa econômica para produtores e, ao mesmo tempo, uma medida de conservação desse recurso no ambiente natural, visto que a oferta dessas carnes substitui o mercado clandestino (Pinheiro, 2000; Pinheiro et al., 2001).

Devido a sua extensão, a referida área úmida se constitui em importante área de trânsito de espécies silvestres. Entretanto, a valoração dessa área úmida ainda não foi efetuada. A consolidação de tais patrimônios em áreas de Reserva Natural, em consonância com processos de educação ambiental, permitirão a proteção de áreas de banhado e a promoção do conhecimento acerca do valor ambiental que elas representam para o bioma Campos Meridionais. A mesma análise pode ser aplicada para o bioma Cerrados.



As Regiões Centro-Oeste e Norte, que são também regiões produtoras de arroz, perfazem um total de 12 milhões de hectares de várzeas e 8 milhões de hectares de terras altas. A região tropical brasileira estende-se entre 23° 30', ao norte do Paraná, e 0°, na linha do Equador (Fageria et al., 2002).

O arroz irrigado, produzido em várzeas tropicais, ocorre principalmente no bioma Cerrados, mais especificamente, nos Estados de Goiás e do Tocantins. Este último apresenta uma área potencial para a irrigação da ordem de 4,5 milhões de hectares, abrange 30,4% da Região Norte e 15% do total do Brasil. Já o arroz de terras altas (Fig. 25.10) é produzido, principalmente, na região dos Cerrados nos Estados de Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Piauí e Pará, e na região pré-Amazônica.

Foto: Embrapa Arroz e Feijão



Fig. 25.10. Cultivo de arroz de terras altas no bioma Cerrados. Goiás, GO.

A região dos Cerrados, que ocupa cerca de dois milhões de quilômetros quadrados, ou aproximadamente um quarto do país, é um dos maiores e mais diversos complexos de savana do mundo. Mosaico de formações vegetais, consistindo de campos, formações arbustivo/arbóreas, florestas, veredas e matas de galeria, possui o mais alto grau de endemismo de plantas entre ecorregiões semelhantes no mundo. Embora essa região tenha sido relativamente pouco estudada, foi identificado até o momento um total de 429 espécies endêmicas de arbustos e árvores. Estima-se que a flora dos Cerrados possa apresentar um total de 4.000 a 10.000 espécies de plantas vasculares. No que se refere à fauna, possui cerca de 900 espécies de aves, 290 espécies de mamíferos, 260 espécies



de répteis e inúmeras espécies de insetos e outros invertebrados. Esse bioma é também o lar de espécies da fauna ameaçadas de extinção como a onça-pintada, o lobo-guará, o cervo-do-pantanal, o veado-campeiro, o tatu-canastra e o tamanduá-bandeira, entre outras.

Até meados da década de 60, havia pouca urgência de se proteger os Cerrados, pois com sua vasta extensão, falta de um sistema viário eficiente e dificuldades de implantação de agricultura de *commodities*, as ameaças ambientais não eram consideradas críticas. No início da década de 70, entretanto, avanços na tecnologia agrícola transformaram os Cerrados na fronteira agrícola de avanço mais rápido. Esse bioma distingue-se pelo seu relevo pouco acidentado, o que facilita a mecanização e a limpeza de áreas de vegetação natural para seu plantio. Com a utilização intensiva de fertilizantes e defensivos agrícolas, mais de 50% da região já foi transformada para a produção de pastagens, soja, arroz e outros grãos. Em adição aos problemas causados no ambiente terrestre, o crescimento da agricultura e expansão de centros urbanos têm provocado a poluição e assoreamento dos rios, ameaçando os ecossistemas aquáticos. A atual taxa de conversão de *habitats* silvestres nesse bioma é a maior dentre os demais biomas do país. Menos de 2% dos Cerrados possui proteção oficial e apenas 10% das áreas protegidas excedem 10 mil hectares.

A Amazônia ocupa cerca de metade do território brasileiro. Do total dos 4,5 milhões de hectares que a compõem, 3,7 milhões localizam-se no Brasil. Estima-se que 10 a 15% de toda a diversidade biológica do mundo esteja concentrada nessa região, que é considerada o maior complexo de florestas tropicais do planeta. Além de sua importância biológica, a Amazônia é uma região com características singulares, no que diz respeito aos seus aspectos históricos e culturais.

Aproximadamente 14% da Amazônia brasileira já foi desmatada, principalmente ao longo de rodovias localizadas na região conhecida como "Arco do Desmatamento". As atividades de desmatamento estão altamente concentradas em 7% dos municípios da região, que são responsáveis por cerca de 58% do desmatamento regional.

Além das áreas desmatadas, estima-se que aproximadamente 20% da região esteja degradada, seja pela extração da madeira, que fragmenta a cobertura vegetal, ou pela caça e pesca predatórias, que impactam a fauna regional. Os índices são alarmantes, mas demonstram por outro lado, que cerca de dois terços da Amazônia estão razoavelmente intactos, passíveis ainda de serem conservados.



A ameaça mais significativa para a região é, sem dúvida, a pecuária. Cerca de 80% das áreas desmatadas da Amazônia foram convertidas em pastos, enquanto os outros 20% foram alterados por pequenos agricultores e por grandes produtores de soja. A indústria madeireira contribui fortemente para a degradação florestal, já que a extração seletiva de árvores fragmenta a cobertura florestal.

Outro fator considerado fundamental para o futuro da biodiversidade da Amazônia é a política de desenvolvimento regional, que se encontra em debate atualmente. Se os investimentos e a infraestrutura forem bem planejados, e concentrados ao longo de eixos econômicos já existentes, seus efeitos ambientais serão menores. No entanto, se esses investimentos forem estendidos para novas áreas, relativamente intactas, eles poderão constituir-se em grave ameaça para a biodiversidade regional.

O cultivo do arroz de terras altas nas regiões dos Cerrados e da pré-Amazônia é considerado não predatório, visto que não contribui para a redução da cobertura vegetal, corredores de fauna e espécies nativas presentes na região. Ao contrário, como as perdas de colheita em lavouras de arroz são elevadas, 3 - 5%, os grãos remanescentes garantem a sobrevivência de muitas espécies de mamíferos e aves, na entressafra. Esse período coincide com a estação seca, quando a oferta de alimento para os animais silvestres é pequena. Como a cultura do arroz de terras altas vem sendo praticada nas proximidades de rotas de pássaros migratórios, a lavoura de arroz na região tropical reflete na preservação de espécies em outros países.

AGROTÓXICOS

No agroecossistema de arroz irrigado, o uso de agrotóxicos pode, em determinadas situações, provocar impactos ambientais negativos no ecossistema, principalmente quando utilizados de forma inadequada, não respeitando as recomendações constantes no rótulo do produto e as condições ambientais. Por outro lado, a lavoura de arroz irrigado, no Rio Grande do Sul, desde que enquadrada ecologicamente, pode garantir, mesmo que temporariamente, uma ampliação do *habitat* de diversas espécies da fauna, principalmente no que diz respeito à fauna avícola palustre, provocando um impacto positivo no ecossistema. Conforme Lutzemberger (2000), espécies como jaçanãs, colhereiros, joões-grandes, garças, marrecas e muitas outras que têm estreita relação com o banhado e a lavoura de arroz precisam deste *habitat* natural.



Pingali & Roger (1995) apresentam uma revisão sobre o impacto de agrotóxicos usados em lavouras de arroz irrigado, nas Filipinas, sobre: a qualidade das fontes de águas naturais, superficiais e subterrâneas; vertebrados, com ênfase em peixes; invertebrados aquáticos não-alvo, como crustáceos, microcrustáceos, insetos aquáticos e suas larvas, moluscos, anelídeos, nematóides e rotíferos; e sobre a microflora, ou microrganismos. Essa revisão destaca com clareza que todos os efeitos devem ser avaliados em longos períodos de tempo, em pesquisas realizadas em condições realísticas (*in situ*) e em laboratório (*ex situ*), com destaque para os trabalhos de monitoramento ambiental.

Mattos et al. (2000c) desenvolveram um estudo para avaliar o comportamento ambiental de agrotóxicos aplicados em lavouras de arroz irrigado, no RS e SC, visando a determinar o impacto ambiental. No RS, os herbicidas glifosato, quinclorac, clomazone (CS) e pirazosulfuron-etil e o inseticida carbofuran foram investigados quanto à degradação microbiológica, adsorção aos colóides do solo, deriva, distribuição e movimento no solo e água. Em um Planossolos Hidromórfico Eutrófico Típico (Embrapa, 1999), cultivado com arroz irrigado na Estação Experimental Terras Baixas (ETB), foi identificada uma bactéria degradadora do clomazone: *Pseudomonas fluorencens*. Também na ETB, fungos isolados de amostras de palha de arroz irrigado, coletadas de parcelas desseccadas com o herbicida glifosato, foram identificados como utilizadores de glifosato: *Nigrospora sphaerica*, *Cochliobolus heterostrophus*, *Fusarium anthophilum* e *Micelia sterilia* (Mattos, 2001). Bactérias degradadoras do herbicida quinclorac foram obtidas em solo cultivado com arroz irrigado, no município de Jaguarão, RS (Mattos et al., 1999).

A avaliação do impacto ambiental (AIA) do inseticida carbofuran granulado (ICG) sobre microrganismos do solo indicou que existem bactérias com capacidade para degradar esse inseticida, em Planossolo Hidromórfico Eutrófico típico, com e sem histórico de sua aplicação (Mattos et al., 2001). Com relação aos componentes da fauna aquática, a AIA do ICG mostrou redução da população de anfíbios, moluscos e peixes até 48 horas após a aplicação do ICG (Melo et al., 2001), indicando impacto ambiental negativo temporário. Por outro lado, com relação à assembléia de pássaros, os padrões temporais de variação de riqueza específica e heterogeneidade das aves sofreram redução 48h após à aplicação de carbofuran granulado (Dias et al., 2001).

Na AIA da aplicação aérea do ICG (Fig. 25.11), Martins et al. (2002) determinaram que a extensão da deriva foi de até 82,5 m, comprovando, ao mesmo tempo, o seu aproveitamento no controle de insetos. Os



autores constataram também que, sob presença de ventos, os primeiros vôos não devem ser realizados junto ao limite da lavoura, devendo recuar-se o alinhamento do vôo, a fim de evitar a contaminação de áreas vizinhas pela deriva dos grânulos.

Foto: Maria Laura Turino Mattos



Fig. 25.11. Aplicação aérea do inseticida carbofuran granulado em lavoura de arroz irrigado. Estação Experimental Terras Baixas, Capão do Leão, RS.

Martins et al. (2000) realizaram um estudo para avaliar a possibilidade de reduzir as dosagens do inseticida carbofuran granulado atualmente registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), de 750-1000 g i.a. ha⁻¹ (Embrapa Clima Temperado, 1999), para o controle do inseto *Oryzophagus oryzae*, visando a implementar formas mais racionais de uso do produto e a diminuir o grau de impacto ambiental no ecossistema. Os resultados indicaram que existe potencial para reduzir em até 67% a dose mínima registrada (750 g i.a. ha⁻¹) e, conseqüentemente, diminuir os custos de produção e riscos de impacto ambiental negativo ao ecossistema.

No ecossistema terras altas, devido ao cultivo de arroz estar atualmente mais concentrado na Região Pré-Amazônica, em áreas recém desmatadas, onde a precipitação pluvial é elevada, o ataque de pragas iniciais, principalmente, cupins, lagarta elasmó e cigarrinhas-das-pastagens, não tem sido muito intenso. Persiste, porém, a prática do tratamento das sementes com doses significativas de inseticidas químicos, envolvendo ingredientes ativos tradicionais e outros lançados mais recentemente no mercado. Ademais, doses elevadas e repetidas de inseticidas químicos, muitos dos quais sem registro para uso na cultura do arroz de terras altas, são aplicados visando o controle de insetos que atacam a parte



aérea das plantas, destacando-se o percevejo-do-colmo *Tibraca limbativentris*. Ao contrário do que já vem acontecendo nas várzeas subtropicais, não existe qualquer estudo sobre o comportamento ambiental de inseticidas no ecossistema terras altas. Torna-se necessário, portanto, implementar uma estratégia para disciplinar o uso de inseticidas na cultura de arroz de terras altas e para avaliar o grau de impacto.

O comportamento de agrotóxicos aplicados na agricultura é governado por processos de transferência e degradação, bem como por suas interações (Fig. 25.12). Transferência é um processo físico no qual a molécula agrotóxica permanece intacta, incluindo a sorção-desorção, escoamento superficial, percolação, volatilização e absorção pelas plantas ou animais. Degradação é um processo químico no qual a molécula agrotóxica é clivada, incluindo a fotodecomposição, degradação microbiana, degradação química e detoxificação pelas plantas. Esses processos determinam a persistência ou retenção de um agrotóxico, sua eficácia no controle de doenças, insetos ou plantas daninhas, bem como seu potencial para a contaminação do solo e das fontes d'água (Pepper et al., 1996).

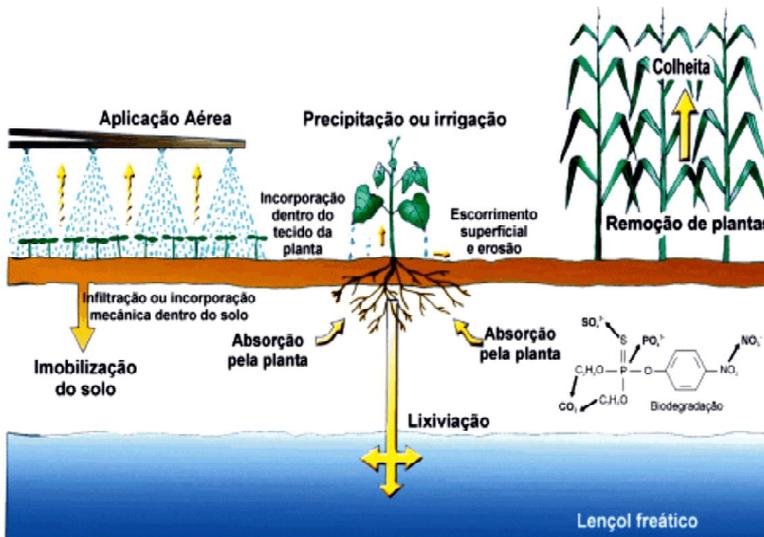


Fig. 25.12. Comportamento de agrotóxicos no ambiente.

Fonte: Post (1996), citado por Pepper et al. (1996).

Após a aplicação, os agrotóxicos podem desaparecer da área-alvo pelo movimento físico, pela ação do ar ou água, ou pela degradação (Taylor & Spencer, 1990, citados por Pingali & Roger, 1995). O movimento

de um agrotóxico inclui adsorção/desorção pelo solo, volatilização, difusão, percolação, escoamento e adsorção pelas plantas e animais (Pingali & Roger, 1995).

O comportamento ambiental de agrotóxicos no arroz irrigado tem sido investigado por pesquisadores de diversos países. No Brasil, destacam-se como pioneiros os trabalhos de grupos de pesquisa dos Centros Nacional de Pesquisa em Meio Ambiente (CNPMA, Jaguariúna, SP) e de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (CPACT, Pelotas, RS), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), e da Estação Experimental de Itajaí, da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri).

Mattos et al. (2000c) desenvolveram um estudo para avaliar o comportamento ambiental de agrotóxicos aplicados em lavouras de arroz irrigado, no RS e SC. No RS, os herbicidas glifosato, quinclorac, clomazone (CS), atrazina e pirazosulfuron-etil, assim como o inseticida carbofuran, estão sendo investigados quanto à degradação química e microbiológica, adsorção aos colóides do solo, deriva, distribuição e movimento no solo e água. Esses são agrotóxicos muito usados nos sistemas de produção convencional e plantio direto no RS. No sistema pré-germinado (Fig. 25.13), no RS e SC, a molécula pirazosulfuron-etil está sendo avaliada.

Foto: José Francisco da Silva Martins



Fig. 25.13. Preparo do solo em sistema pré-germinado.

Hermes et al. (1999) avaliaram o tempo de permanência de uma formulação comercial encapsulada (360 CS), contendo 360 g L⁻¹ de clomazone técnico (N-[2'-clorofenil) metil]-3-hidróxido-2,2-dimetil-



propanamide), durante as safras de 1997/98 e 1998/99, no sedimento e na lâmina de água, na cultura do arroz irrigado, cultivado no sistema pré-germinado, na Estação Experimental de Itajaí, localizada no município de Itajaí, SC. Os autores verificam nos resultados analíticos do clomazone, na formulação comercial, concentrações de ingrediente ativo até 24 dias após a aplicação do herbicida. Os valores finais observados foram de $1,29 \text{ mg L}^{-1}$ (safra 97/98) e $3,80 \text{ mg L}^{-1}$ (safra 98/99). Em relação aos estudos desenvolvidos com a formulação comercial emulsionável (500 CE) contendo clomazone (500 g L^{-1}), o tempo de residência do clomazone na água, na formulação 360 CS, aumentou em oito dias, indicando a necessidade de manutenção da lâmina d'água por um período maior na lavoura, visando diminuir o risco ambiental da drenagem da água (Noldin et al., 1997).

Jonsson & Maia (1999) compararam a toxicidade dos herbicidas clomazone (500 CE) e quinclorac pela exposição do invertebrado aquático *Daphnia similis* em diferentes sistemas, na presença ou ausência de sedimento, associados a dois métodos de aplicação dos produtos, Esses autores verificaram que, tanto na presença quanto na ausência de sedimento, o herbicida clomazone foi mais tóxico para o microcrustáceo que o quinclorac.

Noldin et al. (1997) ressaltam que, em SC, a aplicação de herbicidas é efetuada, predominantemente, pelo método conhecido como benzedura, onde os produtos são aplicados diretamente na lâmina d'água, tanto em pré-semeadura quanto em pós-emergência do arroz e das plantas daninhas. Esse método gera riscos de liberação de agrotóxicos nos rios, com possibilidade de contaminação de bacias hidrográficas. Em função disso, realizaram um estudo visando a avaliar a persistência no solo e na água do herbicida clomazone (500 CE), aplicado em pré-emergência, na cultura do arroz irrigado em sistema pré-germinado. Pelos resíduos de clomazone na água, verificaram a necessidade de manter estática na lavoura a água tratada com o herbicida, pelo menos durante duas semanas após a sua aplicação na lâmina d'água. Desta forma, poderá evitar-se que águas com resíduos de clomazone sejam drenadas para rios e riachos, com riscos de contaminação dos mananciais hídricos.

Estudos desenvolvidos por Jonsson et al. (1997), de avaliação "causa x efeito" associados aos processos de manejo das culturas, incluindo a aplicação dos herbicidas propanil, quinclorac e clomazone, utilizados na região orizícola do RS sobre organismos aquáticos bioindicadores (*Daphnia similis* e *Selenastrum capricornutum*), foram



conduzidos em área de cultivo de arroz irrigado da Estação Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado. Os autores concluíram que a aplicação de herbicidas, nas doses recomendadas, em nível de campo, na cultura do arroz irrigado, não apresentou efeitos tóxicos sobre o bioindicador zooplanctônico (*Daphnia similis*) e sobre a taxa de crescimento do organismo bioindicador fitoplanctônico (*Selenastrum capricornutum*).

Em trabalho desenvolvido por uma equipe multidisciplinar de pesquisadores, com um grupo de produtores, em campos de arroz na província de Laguna, Filipinas, para avaliar os impactos dos agrotóxicos carbofuran, carbosulfan, isoprocarb, endosulfan, lindane, monocrotofos e uma mistura formulada de clorpirifos e BPM, na saúde humana e no ambiente, foi estabelecido um banco de dados do comportamento de pesticidas *in situ* em um agroecossistema tropical. Os impactos observados sobre os diferentes componentes do agroecossistema de arroz irrigado, grãos, plantas, águas superficial e subterrânea, solo, organismos aquáticos, vertebrados e invertebrados, variaram de nenhum para inibitório, seletivo, ou mesmo, estimulatório. A natureza dos impactos depende da estrutura química dos compostos, suas concentrações, sensibilidade dos organismos e das condições ambientais prevalentes. Os resultados sugeriram que, em curto espaço de tempo, agrotóxicos usados nas lavouras de arroz não representam uma ameaça ambiental. Contudo, impactos de agrotóxicos ao longo do tempo, particularmente resíduos em peixes, em camadas de solo mais profundas e manancias hídricas urgentemente requerem investigações (Tejada et al., 1995, citados por Pingali & Roger, 1995). Os autores constataram também que o aumento da persistência de agrotóxicos em camadas mais profundas do solo, 125 - 175 cm, pode ser atribuído à diminuição da atividade microbiana, ocorrendo, conseqüentemente, menor degradação dos compostos.

O processo de degradação é regulado pelo conteúdo de água do solo, níveis de oxigênio dissolvido, potencial de oxidação-redução, temperatura, pH, salinidade, matéria orgânica, dinâmica da população microbiana, concentração e disponibilidade do agrotóxico (Shea, 1985). Por exemplo, a atividade de muitos microrganismos é maior em solos com conteúdo de água entre 50 e 70% da capacidade de campo, temperaturas de 25 a 35°C, e pH neutro (Alexander, 1961).

Toledo et al. (1997) avaliaram o efeito da aplicação dos herbicidas clomazone, quinclorac e propanil, comumente utilizados na cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, nos parâmetros de qualidade da água, sob condições experimentais, na Estação Terras Baixas da



Embrapa Clima Temperado. Foi determinado o pH, a temperatura e a condutividade elétrica das amostras nas parcelas experimentais e, no laboratório, o fósforo total, o ferro e a clorofila. A água do canal de irrigação do experimento também foi monitorada. Os resultados indicaram que os herbicidas não causaram efeito sobre a qualidade da água em relação à parcela testemunha. No entanto, foram observadas alterações no comportamento dos parâmetros de qualidade da água das parcelas em comparação com a água de entrada, principalmente o pH, o fósforo, a condutividade elétrica e a clorofila nas duas primeiras semanas de estabelecimento da cultura. Tais alterações trazem implicações à qualidade da água, uma vez que o aumento de fosfato nesta poderá causar eutrofização nos corpos d'água adjacentes à região orizícola do RS, quando da descarga desta água. Esteves (1988) define como eutróficos os corpos d'água que apresentam concentrações totais de fosfatos maiores que 100 mg L^{-1} de P-PO_4 , sendo que, no presente trabalho, foram encontrados valores da ordem de 150 mg L^{-1} de P-PO_4 , na fase final do experimento.

A adição de matéria orgânica e fertilizante aumentará a degradação biológica se for estimulado o crescimento dos microrganismos que podem degradar um determinado pesticida. A matéria orgânica também catalisa a degradação não-biológica de herbicidas, como cloro-*s*-triazinas, por fornecer uma superfície ácida para adsorção hidrolítica. Em estudo de percolação em solos, Duah-Yentumi & Kuwatsuka (1982) observaram uma diminuição no tempo requerido para a adaptação microbiana ou enzimática à degradação de um substrato (fase lag) composto de 2,4-D, MCPA, e thiobencarb {*S*-[(4-clorofenil)metil]dielilcarbamato}, em solos manejados com fertilizante com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), ou com um composto de palha de arroz (20 g kg^{-1} de solo).

Adições múltiplas de um herbicida a um meio microbiano podem gradualmente aumentar a taxa de degradação. O efeito tem sido atribuído, principalmente, a uma redução da fase lag devido à adaptação microbiana ao substrato herbicida. Embora seja desejável, essa adaptação pode gerar um problema prático, como uma perda acelerada de alguns herbicidas no solo (Fox, 1983).

Em pesquisas com herbicidas, detoxificação significa a perda da fitotoxicidade, mas pode também estar relacionada com a perda de toxicidade para animais. As perdas podem ocorrer nos solos por um ou mais processos que agem sobre os herbicidas. Degradação refere-se a mudanças na estrutura molecular dos herbicidas, as quais resultam em



produtos mais simples, geralmente menos fitotóxicos ou não-fitotóxicos. Assim, degradação é um dos vários processos pelos quais os herbicidas são detoxificados. O desaparecimento implica em processo de perda e pode ou não resultar em detoxificação. Por outro lado, o desaparecimento pode ser uma consequência de degradação. Herbicidas também desaparecem dos solos pela volatilização, escoamento em águas superficiais ou lixiviação através do perfil do solo (Sheets et al., 1964). Um herbicida pode permanecer quimicamente inalterado durante e após a volatilização, o movimento superficial e a lixiviação.

Os herbicidas diferem em suas propriedades físicas e químicas, como solubilidade em água, volatilidade e suscetibilidade à perda por processos fotoquímicos, químicos e biológicos. Essas características determinam a sua persistência relativa no solo. Os herbicidas persistentes usualmente têm uma ou mais das seguintes propriedades (Qureshi, 1987): baixa solubilidade em água; moderado grau de adsorção; baixa volatilidade; baixa suscetibilidade à decomposição pela luz; baixa suscetibilidade à degradação química; baixa suscetibilidade à decomposição microbiana.

Parâmetros físicos, como temperatura, salinidade, pH e concentração de oxigênio podem influenciar a persistência de um xenobiótico sob condições naturais e, portanto, devem ser avaliados criticamente (Neilson, 1994).

A persistência não é uma propriedade fixada pelos herbicidas, sendo influenciada por fatores de clima e solo; a sua estimativa deve, portanto, determinar como a taxa de degradação é afetada por esses fatores (Hurlle & Walker, 1980). Mousumeci (1992) reforça essa afirmação, comentando que a persistência é influenciada também pela estrutura química do herbicida.

Quando aplicados no solo, os herbicidas são normalmente absorvidos pelas raízes das plantas e transportados pelo xilema para as folhas, onde se acumulam ao redor da margem das folhas, nas dicotiledôneas, ou extremidades, nas monocotiledôneas. No solo, o ingrediente ativo (i.a.) pode ser dissipado por processos físicos, químicos ou bioquímicos. Todos os compostos com um coeficiente de partição ($\log P_{ow}$) octanol/água < 4 parecem exibir pelo menos algum movimento no xilema (Kirkwood, 1993).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency* = EPA) define um resíduo como perigoso se este é inflamável, corrosivo, reativo ou tóxico no procedimento



de extração. Em adição, os subprodutos do tratamento de alguns resíduos perigosos são também considerados perigosos, a menos que eles tenham sido especificamente excluídos (Cutright & Lee, 1994).

A tendência de muitos compostos, incluindo agrotóxicos, de se acumularem em cadeias alimentares, é governada em grande parte pelo seu alto grau de solubilidade ou lipofilicidade. O coeficiente de partição (valor p), definido como a razão entre a massa de soluto dissolvido no solvente orgânico (ex. *n*-octanol) para a massa de soluto dissolvido na água, é uma excelente medida da lipofilicidade (Collander, 1951; Lioy et al., 1971; Church & Bansch, 1973, citados por El-Naggar, 1983).

Em sistemas conservacionistas, o conteúdo volumétrico de água excede o do sistema convencional (Lindstrom et al., 1984, citados por Byers et al., 1995), favorecendo o aumento da atividade microbiana e, conseqüentemente, reduzindo a persistência de agrotóxicos (Dao, 1987, citado por Byers et al., 1995).

Embora os fatores químicos e físicos afetem o comportamento dos agrotóxicos no solo e na água, é evidente que não são os únicos fatores envolvidos, ou a acumulação em grande escala de material orgânico, incluindo contaminantes e substâncias orgânicas naturais, dominaria o nosso planeta. Assim, um terceiro fator, o componente biológico do solo e da água, deve ser visto com especial atenção. Esse componente, o qual é responsável pela degradação de materiais orgânicos de ocorrência natural, também mitiga os impactos dos agrotóxicos no ambiente. Referimo-nos à presença de microrganismos no solo e na água que podem afetar a distribuição, movimento e concentração de agrotóxicos por meio do processo de biodegradação.

MONITORAMENTO AMBIENTAL

O conhecimento sobre os sistemas químicos, biológicos e as propriedades físicas do ambiente, bem como os vários processos que influenciam o comportamento dos agrotóxicos, está baseado na coleta e análise de dados. Por exemplo, todo o conhecimento acerca do manejo da poluição ambiental — suas fontes, limpeza e controle — depende da habilidade para determinar se existe poluição, em que local e se pode ser nociva para o homem ou meio ambiente (Artiola et al., 1996, citados por Pepper et al., 1996). No entanto, surge o seguinte questionamento: como a existência, extensão e comportamento de um poluente pode ser medido para suprir esta determinação?



Em muitos casos, essa investigação se inicia com a coleta e análise de amostras ambientais, processo conhecido como monitoramento ambiental. Entre os principais componentes de monitoramento ambiental, podem incluir-se o desenvolvimento de planos de amostragem e métodos de coleta de amostras ambientais para atmosfera, solo e água (Artiola et al., 1996, citados por Pepper et al., 1996). No monitoramento ambiental de agrotóxicos, existe a questão de quais amostras devem ser colhidas para o mapeamento de resíduos e uma avaliação do possível impacto benéfico ou adverso. Amostras de água, solo, alguma biota disponível e ocasionalmente ar, devem ser tomadas para determinar a distribuição e o destino dos resíduos (Blau et al., 1975; Neely, 1981, citados por Frighetto, 1997).

Nesse contexto, o monitoramento das águas superficiais e subterrâneas, com enfoque em resíduos de agrotóxicos, nitratos e fosfatos, merecem destaque nas regiões orizícolas do RS, SC, TO e GO. Esses estados possuem uma grande riqueza em mananciais hídricos de água doce, que, além de fornecerem água para irrigação das lavouras de arroz, abastecem suas populações.

O maior reservatório subterrâneo de água doce do mundo, 1,2 milhão de km², o Aquífero Guarani, encontra-se em subsolo brasileiro (70%). O reservatório ultrapassa as fronteiras do Brasil e se espalha pela Argentina, Uruguai e Paraguai. No Rio Grande do Sul, existem áreas de recarga, onde se pode encontrar a atividade orizícola. Embora nesse estado não existam, atualmente, grandes ameaças de contaminação, deve ser priorizado o monitoramento de pesticidas usados em lavouras de arroz irrigado, nos pontos de recarga. A gestão integrada desse recurso hídrico, visando a sua exploração e proteção, está sendo implementada por um projeto financiado pelo *Global Environmental Facility* (GEF) e o Banco Mundial (Bird) (Técnicos..., 2000).

As Lagoas dos Patos e Mirim, localizadas no sul do Rio Grande do Sul, ocupam áreas de 9.794 km² e 3.738 km², respectivamente, excluindo o rio Guaíba. A Lagoa Mirim está localizada na fronteira entre o Uruguai e o Brasil, ocupando 2.826 km² no lado brasileiro (Fig. 25.14). A rápida urbanização e industrialização, especialmente na região norte do RS, afetam adversamente a qualidade da água da Lagoa dos Patos, como dos rios que escoam para a lagoa, carregando poluentes originários de esgotos domésticos e industriais. Pesticidas usados na agricultura também agravam o problema, acreditando-se que considerável quantidade usada em cultivos de arroz irrigado escoam para os rios que se ligam com a lagoa (Japan International Cooperation Agency, 2000), considerando-se também que lavouras de arroz irrigado estão em seu entorno.



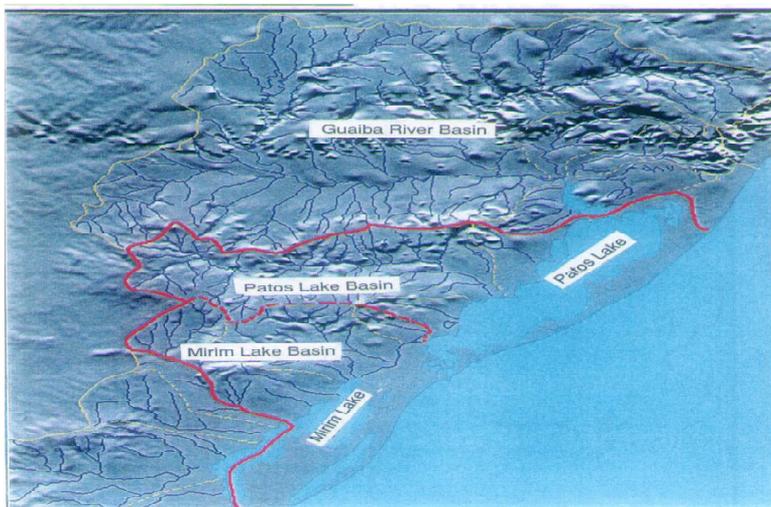


Fig. 25.14. Lagoas dos Patos (1) e Mirim (2), Bacias do Rio Guaíba (3), da Lagoa Mirim (4) e dos Patos (5).

Fonte: Japan International Cooperation Agency (2000).

Diante dessas circunstâncias, o Governo do Estado do RS, em conjunto com a JICA, estabeleceram um acordo para o estudo de gerenciamento ambiental da bacia hidrográfica das Lagoas dos Patos e Mirim. No estudo, durante o período de fevereiro a março de 1998, amostras de água foram coletadas de dez pontos da Lagoa dos Patos e seis do Canal São Gonçalo, efluente da área de rizicultura. Não foram detectados resíduos do herbicida glifosate e seu metabólito [ácido aminometilfosfônico (aminomethylphosphonic acid) = AMPA], de propanil, dos inseticidas carbofuran e DDT e seus metabólitos (Japan International Cooperation Agency, 2000).

Mattos et al. (2000a) realizaram o monitoramento ambiental do herbicida glifosato e de seu metabólito AMPA em águas de lavouras de arroz irrigado, em uma granja localizada no litoral sul do RS. Foram analisadas amostras de águas provenientes da lâmina da lavoura, dos canais de irrigação e de drenagem, dos açudes e dos levantes de entrada de água. Não foram detectadas concentrações de glifosato acima do limite máximo permitido (700 mg L^{-1}) pela EPA e pela portaria nº 1469 do Ministério da Saúde (500 mg L^{-1}). Concluiu-se que determinado nível de segurança poderá ser alcançado dentro de 120 dias após a aplicação da formulação comercial de glifosato para as águas de lançamento da granja para a Lagoa Mirim (Fig. 25.15).





Fig. 25.15. Pontos de coleta de água para análise de resíduos de glifosato e AMPA em granja orizícola. Jaguarão, RS.

Em outro estudo, Mattos et al. (2003b) monitoraram a presença de agrotóxicos em amostras de águas superficiais, coletadas em lavouras orizícolas implantadas no sistema pré-germinado (Fig. 25.16), no município de Rio Grande, RS, de modo a avaliar o impacto do uso de herbicidas e de inseticidas sobre os recursos hídricos, especialmente no Arroio Sarandi e na Lagoa Mirim. As concentrações detectadas dos herbicidas oxadiazon e quinclorac e do inseticida carbofuran, em águas superficiais, ficaram acima do limite máximo permitido pela legislação da Comunidade Européia, que estabelece $0,10 \mu\text{g L}^{-1}$ para todos os pesticidas individualmente em águas para consumo humano. Por outro lado, de acordo com a legislação da EPA, o nível de carbofuran detectado ficou abaixo da concentração máxima permitida ($40 \mu\text{g L}^{-1}$) para águas destinadas ao consumo humano.

Em Santa Catarina, 95% da área cultivada com arroz irrigado localiza-se nas bacias hidrográficas dos Rios Itapocu, Itajaí-Açu, Camboriú, D'Una, Tubarão, Araranguá e Mampituba, mananciais que também abastecem vários municípios da região. O uso frequente de agroquímicos nas áreas cultivadas com arroz irrigado em SC e RS e seus possíveis impactos levaram à elaboração do projeto "Qualidade Ambiental do Ecossistema Arroz Irrigado", em parceria com a Epagri-Estação Experimental de Itajaí, Embrapa Clima Temperado, Embrapa Meio Ambiente, Univali/CTTMar e Instituto de Química da UFRGS. O projeto visou monitorar a ocorrência de agroquímicos em mananciais hídricos e



seu impacto sobre componentes da microflora do arroz irrigado, cultivado no sistema pré-germinado (Noldin et al., 1999). Os autores verificaram que a concentração de ingrediente ativo nas amostras estudadas estava abaixo dos valores das doses recomendadas para aplicação. Isto pode refletir a degradação dos ingredientes ativos ou a concentração em outras matrizes (argila, matéria orgânica, algas...). Esse comportamento pode ser considerado também um indicador de práticas inadequadas de manejo, uma vez que há escape dos agrotóxicos para as áreas de drenagem (Deschamps et al., 2003).



Fig. 25.16. Pontos de coleta de água em área orizícola implantada no sistema pré-germinado. Rio Grande, RS.

Embora recentes, os monitoramentos realizados em agroecossistemas de arroz irrigado traduzem a conscientização de vários segmentos da sociedade com relação à manutenção dos recursos naturais em condições sustentáveis, constituindo-se em *commodities* ambientais. As *commodities* ambientais constituem um complexo produtivo que envolve sete matrizes: água, energia, minério, biodiversidade, madeira, reciclagem e controle de emissão de poluentes. As sete matrizes resguardam-se sobre o manto da Soberania Nacional, pois são bens que pertencem ao povo brasileiro e são explorados no território brasileiro. Assim, caberia ao Estado a gestão financeira desses recursos naturais, revertendo-os em benefícios que, de um lado, não dão lucros imediatos, não contabilizam juros nas contas dos fundos, tampouco podem ser ativos especulativos, mas, de outro, constituem investimentos em educação, saúde, cultura e meio ambiente (Khalili, 2000).

FERTILIZANTES NITROGENADOS E FOSFORADOS

O uso adequado de fertilizantes, fontes apropriadas, métodos e época de aplicação são importantes práticas de manejo de adubação. Entre os nutrientes essenciais, nitrogênio (N) e fósforo (P) são os mais

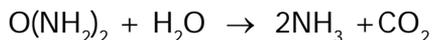


deficientes, tanto nos solos sob cultivo de arroz irrigado quanto nos de cultivo de arroz de terras altas.

Em decorrência desse fato, sempre se faz necessária a aplicação de fertilizantes à base de N e P. Geralmente uréia e sulfato de amônio são as principais fontes de N nos fertilizantes e, para o P, são os fertilizantes superfosfato simples, superfosfato triplo e os naturais.

No Rio Grande do Sul, o principal nutriente aplicado em lavouras de arroz irrigado é o N. Por exemplo, na safra 99/00, em uma área plantada de 952.539 ha (Irga, 2000), um total de 9.525.390 kg de N foi aplicado — uma média de 10 kg ha⁻¹, dosagem recomendada pela Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC (1995). As recomendações para os solos do Rio Grande do Sul indicam 10 kg de N ha⁻¹ em adubação de base, sendo a fonte amídica (uréia) a mais usada (Embrapa, 1999). Em solos tropicais, também esta fonte é a predominante.

O N está sujeito a uma série de transformações químicas e bioquímicas no solo. A uréia (CO(NH₂)₂), por exemplo, é hidrolisada mediante a seguinte reação:



onde a urease é uma enzima microbiana. Essa reação pode resultar na perda de N para a atmosfera como NH₃ gasoso, quando a uréia é aplicada na superfície do solo ou próxima desta. As perdas são intensificadas se o pH da superfície do solo for ≥ 7,0 (Thompson, 1996, citado por Pepper et al., 1996).

O ciclo do N (Fig. 25.17) compreende reações biológicas e não-biológicas. Dessas, as biológicas são as mais importantes para o controle do comportamento e formas de N no solo. Uma importante reação não-biológica no ciclo do N é a lixiviação do nitrato. Devido a sua carga negativa, o nitrato não é fortemente adsorvido aos colóides do solo e é altamente móvel na fase líquida do solo. Como a água percola através do solo, o nitrato no interior dos poros do solo está sujeito à lixiviação abaixo da zona radicular e dentro da zona *vadose* (não-saturada). Uma vez na zona *vadose*, o nitrato pode atingir as águas subterrâneas e tornar-se um poluente. No entanto, o nitrato pode poluir tanto as águas superficiais como as subterrâneas. A poluição das águas subterrâneas envolve riscos associados com o consumo de água com níveis elevados de nitrato, enquanto a poluição das águas superficiais pode levar à eutrofização - aumento do crescimento de algas e esgotamento de oxigênio (Thompson, 1996, citado por Pepper et al., 1996).



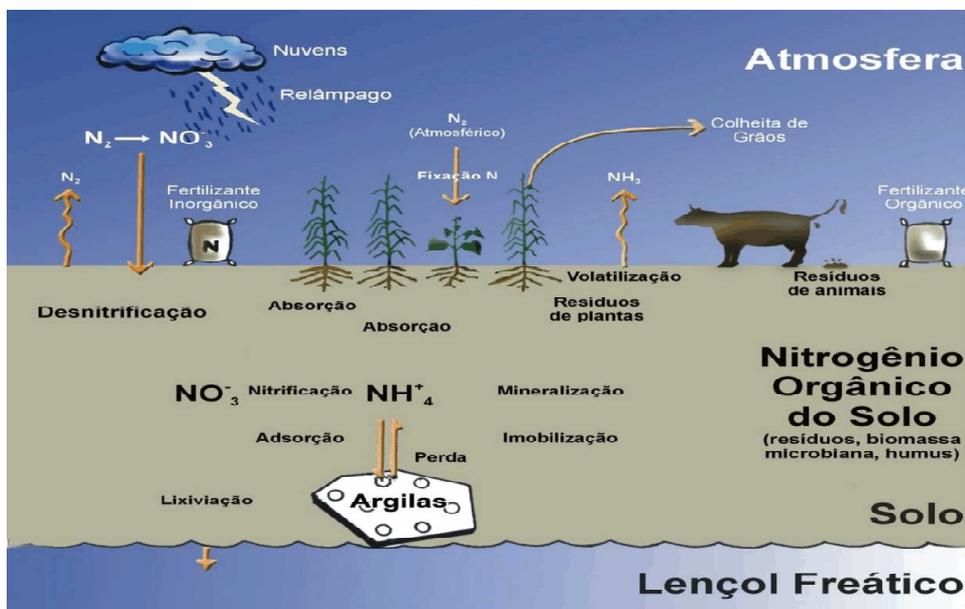


Fig. 25.17. Transformações do nitrogênio no solo.

Fonte: Thompson (1996), citado por Pepper et al. (1996).

Nitrato é altamente solúvel em água e, por isso, aplicações excessivas de N podem resultar em grandes quantidades de resíduo pós-colheita de N no solo. Esse nutriente pode ficar disponível para culturas da próxima estação, mas é susceptível à lixiviação durante o período de pousio, caracterizado pelo excesso de chuva e baixa taxa de evaporação (Fageria & Baligar, 1999). Portanto, no manejo de N para o arroz de terras altas deve ser dada importância substancial à quantidade e a frequência de sua distribuição durante o ciclo da cultura.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, estabelece um nível de contaminação máxima de $10 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$ como o nível máximo de segurança para a água de consumo, e a Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization* = WHO) estabelece um nível máximo de segurança de até $11,3 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$ para a água de consumo. Essas concentrações apresentam um perigo primariamente para crianças; o nível de segurança para adultos é provavelmente maior, mas permanece desconhecido (Thompson, 1996, citado por Pepper et al., 1996).

A resolução nº 20, de 18 de junho de 1986 do CONAMA, estabelece teores máximos em água doce de $10 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$ (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1986).



É importante salientar que, além do risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas pelo uso de N em lavouras de arroz, deve-se considerar também que a falta de saneamento básico contribui fortemente com teores de nitratos resultantes dos dejetos humanos, e animais. A origem precisa e as contribuições relativas das diferentes fontes de nitrato ainda não foram bem determinadas.

No trabalho realizado pela JICA, no período de 1998-2000, intitulado “Estudo de Gerenciamento Ambiental da Bacia Hidrográfica das Lagoas dos Patos e Mirim”, na região denominada de Mar de Dentro, onde está contida a bacia hidrográfica das Lagoas dos Patos e Mirim, foram encontradas concentrações que variaram de 0 - 0,67 mg NO₃-N L⁻¹ ao longo de todos os pontos amostrados. As maiores variações foram registradas no mês de junho, com valores acentuadamente maiores para os pontos localizados no Rio Guaíba e Lagoa dos Patos, na direção dos municípios de São Lourenço do Sul e Camaquã (Japan International Cooperation Agency, 2000).

No cultivo de arroz irrigado, no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, em solos com baixo teor de P, é recomendada a utilização de fosfatos solúveis, termofosfatos e as escórias (Embrapa Clima Temperado, 1999). Fósforo é usualmente aplicado na forma de superfosfato triplo, ou como compostos de fosfato de amônio. Esses são compostos solúveis que fornecem uma fonte P disponível para o crescimento de plantas e microrganismos, os quais absorvem P da solução do solo como H₂PO₄⁻ ou HPO₄²⁻. Microrganismos não usam P nem como uma fonte direta de energia nem comoceptor final de elétrons. Além disso, ânions fosfato, ao contrário de nitrato, são fortemente ligados aos colóides do solo, por isso, não lixiviam ou se movem no solo. A insolubilidade de muitos fosfatos provoca uma diminuição da disponibilidade de P para plantas, gerando, assim, a necessidade de aplicações regulares.

Fertilizantes fosfatados podem tornar-se poluentes perigosos sob determinadas circunstâncias. Podem, por exemplo, escorrer e contaminar águas superficiais, nas quais o P é um fator limitante para o crescimento de plantas e algas. A introdução de grandes quantidades de P pode provocar o aumento de seu crescimento. Quando ocorre a morte dessas plantas e algas, sua decomposição por microrganismos heterotróficos resulta na diminuição de O₂ na água. Esse processo, conhecido como eutrofização, pode gerar conseqüências desastrosas para os ecossistemas aquáticos. Baixas concentrações de P, como 10 µg L⁻¹, tem sido associadas com eutrofização (Thompson, 1996, citado por Pepper et al., 1996).



Foi realizado um diagnóstico dos teores de amônio, nitrato e fósforo total, na lamina d'água em lavouras de arroz cultivadas em sistemas orgânico e convencional, localizadas no Banhado do Colégio, Camaquã, RS, na safra de 2001/2002, acusando teores de amônio e nitrato abaixo de $10 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$ e de P total acima de $0,025 \text{ mg L}^{-1}$, em ambos os sistemas, 12 dias após a entrada de água nas lavouras. Aos 26 dias, os teores de P total reduziram para $0,014 \text{ mg L}^{-1}$, na área orgânica. No cultivo de arroz de terras altas esse fenômeno ocorre com menor intensidade, visto que as principais áreas de cultivo localizam-se em chapadas distantes de mananciais.

Levantamento exploratório da composição química das águas utilizadas para irrigação do arroz no RS foi objeto de estudo por Macedo et al. (2001). Os autores constataram que os teores de N e P estavam abaixo dos limites considerados inadequados para o consumo humano (CETESB, 1988) das águas de irrigação e drenagem das lavouras de arroz.

Deschamps et al. (2003) determinaram a frequência com que alguns parâmetros de qualidade de água se apresentariam alterados, a partir do estabelecimento de valores limites, em seis bacias hidrográficas de Santa Catarina. Os valores médios de P estavam acima do estabelecido para águas brutas, conforme resolução nº 20 do CONAMA, ao passo que os teores de nitrato e nitrito, estavam dentro dos padrões estabelecidos por essa resolução, para todas as bacias monitoradas.

EMISSÃO DE GÁS METANO

Mais de 50% da população humana mundial utiliza o arroz como alimento básico. Em 1988 foram ocupados 148 milhões de hectares com o cultivo do cereal em todos os sistemas, atingindo uma produção global de 475 milhões de toneladas (Cole et al., 1993).

Há muita restrição à expansão da área desse sistema de produção orizícola, geralmente fundamentada em impactos ambientais negativos que possam advir de alterações no ecossistema, como a intensificação de emissões de gases metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) (Cole et al., 1993), as quais afetam a camada de ozônio.

N_2O é produzido pelos processos microbianos no solo. Emissões antropogênicas de N_2O ocorrem como resultado da conversão de terras em sistemas agrícolas e são mais intensas em sistemas que utilizam grandes quantidades de nitrogênio (Cole et al., 1993). Porém, essa emissão pode ser via fertilização com N mineral ou orgânico oriundo de dejetos animais.



A mineralização biogênica de materiais orgânicos em ecossistemas anóxicos, particularmente em áreas de cultivo de arroz irrigado por inundação, as quais totalizam $1.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ (FAO Production Yearbook, 1985), é a fonte mais importante de CH_4 atmosférico (Schütz et al., 1989). Contudo, a estimativa de contribuição da mineralização biogênica para o CH_4 global emitido, de 20-280 Tg ano^{-1} (Sass et al., 1994), permanece imprecisa. Recente estimativa sugere que o valor de CH_4 emitido de áreas de arroz irrigado, no mundo, é $60 \pm 40 \text{ Tg ano}^{-1}$ (IPCC..., 1992). Segundo Schütz et al. (1989), áreas de arroz irrigado têm uma emissão anual global de $10 \pm 50 \text{ Tg CH}_4 \text{ ano}^{-1}$ ($\text{Tg} = 10^{12} \text{ g}$). A concentração atmosférica de CH_4 aumentou à taxa de 1% anualmente, no período de 1978 - 1990 (Bouwman, 1990) e, recentemente, a uma taxa menor, de 0.8% (Sass et al., 1992). Como a produção de arroz no mundo aumentará consideravelmente nos próximos anos, 2% ao ano, até atingir 24 milhões de toneladas na safra 2005/2006 (Irga, 2000), é importante eleger práticas culturais que melhorem a produtividade da cultura e, ao mesmo tempo, reduzam a emissão de CH_4 .

O CH_4 é produzido em solos inundados pelas bactérias metanogênicas, estritamente anaeróbias. A drenagem diminui a emissão de CH_4 para a atmosfera, devido ao fato de a aeração do solo inibir sua produção pelas bactérias metanogênicas. Concomitantemente, ocorre a diminuição de CH_4 no solo devido à oxidação aeróbia pelas bactérias metanotróficas. A emissão de CH_4 de arrozais inundados resulta: da produção de bactérias metanogênicas em solo reduzido; do consumo pelas bactérias metanotróficas nas zonas oxigenadas do ecossistema (água submersa, interface água/solo e rizosfera do arroz); e de processos de transferência (difusão, ebulição) através do solo e plantas de arroz (Conrad, 1989).

A presença de bactérias metanogênicas e metanotróficas em solos de arroz foi indiretamente demonstrada pela aferição da produção de CH_4 e oxidação (Schütz et al., 1989). Porém a microflora envolvida é pouco conhecida. Somente três gêneros de bactérias metanogênicas (*Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanobrevibacter*) e dois (*Methanospirillum*, *Methanocorpusculum*) de metanotróficas foram isolados de solos de arroz (Joulian et al., 1996). A principal rota de produção de CH_4 em solos alagados é a redução de CO_2 com H_2 , ácidos graxos, ou álcool, como doadores de hidrogênio, e a transmetilação de ácido acético ou álcool metílico pela bactéria produtora de CH_4 (Conrad, 1989).



Em arrozais inundados, a cinética do processo de redução microbiana é afetada pela composição e textura do solo e seus conteúdos de aceptores de elétrons inorgânicos (Neüe, 1992). O período entre a inundação e o início da metanogênese pode variar de acordo com o solo (Sass et al., 1992).

O CH_4 biogênico é produzido pela metanogênese, etapa final do processo de mineralização da matéria orgânica em ambientes anaeróbios, usando acetato e H_2/CO_2 como substrato (Wolfe, 1979). Experimentos radiomarcados confirmaram que CH_4 foi essencialmente produzido de acetato que é originado de resíduos de arroz, algas e plantas aquáticas incorporadas ao solo, húmus do solo e produtos de autólise ou exsudatos de raízes de arroz (Neüe & Roger, 1994).

A produção de CH_4 ocorre somente em condições altamente reduzidas, potencial redox de -200 mv. Alagamentos intermitentes ou drenagens diminuem as emissões de CH_4 (Sass et al., 1992). A quantidade de CH_4 produzida é altamente dependente da quantidade de carbono orgânico disponível, proveniente da palha de arroz adicionada ao solo (Schütz et al., 1989; Sass et al., 1991; Neüe et al., 1994) ou adubos verdes (Lauren et al., 1994). As plantas de arroz influenciam a emissão de CH_4 por fornecerem substrato para a liberação de exsudatos pelas raízes e decomposição destas (Sass et al., 1991).

Existem três processos de liberação de CH_4 à atmosfera, proveniente de lavoura de arroz irrigado por inundação. A perda, como bolhas de ar, é um mecanismo que ocorre durante o estágio inicial de crescimento da planta e durante operações de eliminação de plantas daninhas. A perda por difusão, através da superfície da água, é um processo que ocorre lentamente. O terceiro processo é o transporte através do aerênquima da planta de arroz e liberação à atmosfera através dos brotos, os quais não estão sujeitos ao controle estomatal, sendo este o mecanismo mais importante de emissão (Cicerone et al., 1983). Durante a fase de crescimento da planta de arroz, uma grande proporção de CH_4 produzida no solo alagado, é oxidada antes de ser liberada à atmosfera (Sass et al., 1992).

Uma estimativa realizada sobre a emissão de CH_4 em áreas de cultivo de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, utilizando a metodologia preconizada pelo IPCC (IPCC..., 1995), indicou que, em uma área de 937.737 ha, na safra de 1995/96, a lavoura de arroz irrigado foi responsável pela emissão de 397,63 Gg (ou 0,396 Tg), correspondendo a cerca de 68% em relação à emissão média total desse gás no país,



de $583,3 \pm 54,3$ Gg (média anual estimada no período de 1989 a 1995), e mais especificamente, em torno de 73% do total emitido em condições de regime de inundação contínua ($546,3 \pm 43,2$ Gg) (Lima et al., 1997a).

No Estado de Santa Catarina, onde 95% da área cultivada com arroz irrigado é no sistema pré-germinado e o restante no sistema convencional, na safra de 1995/96, o cultivo de arroz irrigado foi responsável pela emissão de 61,43 Gg de CH_4 , correspondendo a cerca de 10,53% em relação à emissão total desse gás no país, sendo que cerca de 11,24 % correspondeu ao total emitido em condições de regime contínuo (Lima et al., 1997b).

Na Itália, a emissão de CH_4 em lavouras de arroz irrigado por inundação foi aferida por Schütz et al. (1989). As taxas de emissão apresentaram grande variação diurna e sazonal, sendo que as mudanças diurnas foram correlacionadas às mudanças na temperatura do solo.

No Estado de São Paulo, município de Pindamonhangaba, foi conduzido um estudo em área experimental do Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Vale do Paraíba, com o objetivo de avaliar as emissões de metano em campos de arroz inundado continuamente e sob alagamento intermitente. Foram verificadas emissões médias de $198,96 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-2}$ e de $233,98 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente para os referidos regimes de inundação (Lima et al., 2003).

Resultados da quantificação de emissões de CH_4 em solo cultivado com arroz irrigado por inundação, no município de Cachoeirinha, RS, na safra de 2002/2003, revelaram emissões médias entre os sistemas convencional e plantio direto de $15 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, estando esse valor dentro do intervalo citado na literatura internacional, que é de 0 a $80 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Le Mer & Roger, 2001, citados por Costa et al., 2003). Os valores mínimo e máximo de emissão ocorreram no sistema convencional e foram, respectivamente, de 2,91 e $29,30 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, resultando numa amplitude de $26,40 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 2,2 vezes maior do que a amplitude no plantio direto ($12,00 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (Costa et al., 2003).

Considerando a diversidade de características dos sistemas de cultivo de arroz irrigado, como o sistema de preparo do solo, o efeito de espécies vegetais utilizadas para cobertura morta em plantio direto, bem como o efeito de outras práticas culturais, como o manejo da água de irrigação, a adubação nitrogenada (doses e fracionamento), a dessecação de plantas daninhas e outras espécies vegetais nativas, o



efeito da permanência da palha de arroz na lavoura exposta a inundações durante o inverno e utilização e/ou retirada da palha para fenação ou como cobertura morta para plantio direto de espécies de inverno como trigo e aveia, em várzeas, contudo, bem drenadas para reduzir a emissão de CH_4 , torna necessária a avaliação de todos esses aspectos com enfoque sobre a emissão desse gás. Além disso, a arquitetura de plantas de arroz, de diferentes cultivares, nos diferentes sistemas, deve ser investigada em relação ao potencial para emissão de metano.

ESTOQUE DE CARBONO

O mercado de carbono (C) encontra-se em fase adiantada de desenvolvimento mundial para a comercialização de créditos, visto que já existem metas de redução e o monitoramento dos níveis de emissão em vários países, como Estados Unidos e Inglaterra. Anteriormente à entrada em vigor do Protocolo de Quioto ou da não ratificação pela Rússia, iniciativas e estratégias múltiplas mundiais visando a este mercado já eram consideráveis.

A agricultura brasileira tem um grande potencial para seqüestrar carbono no bioma Cerrados e Campos Meridionais. Estimativas apontam que em um ano é possível retirar da atmosfera 110 milhões de toneladas do principal gás responsável pelo efeito estufa, sendo 50 milhões de toneladas retidas no solo e 60 milhões de toneladas com o controle da erosão.

O solo pode funcionar como um reservatório de C. Nesse caso, ocorre aumento da matéria orgânica (MO) e da qualidade do solo, ou como fonte de CO_2 para a atmosfera, dependendo do manejo adotado. Sistemas conservacionistas propiciam a manutenção e o aumento do conteúdo de MO do solo, atuando efetivamente como um reservatório de CO_2 atmosférico (Pillon, 2000). Nesse sentido, a adoção do sistema plantio direto ou de sistemas com mínimo revolvimento, em solos de várzeas, de clima tropical e subtropical, e de terras altas, constituem estratégias para evitar a degradação dos solos e, conseqüentemente, a perda de CO_2 atmosférico, gás de efeito estufa.

MEDIDAS MITIGADORAS DE IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS

Neste capítulo, abordamos alguns impactos ambientais negativos que podem ser gerados pelos sistemas de produção de arroz irrigado, nas várzeas tropicais e subtropicais, e de arroz de terras altas,



os quais, se não controlados, ou até mesmo evitados, podem criar problemas sérios de perda da qualidade ambiental, muitas vezes de caráter irreversível. Portanto, considerando a relação custo benefício é muito mais eficaz evitar os danos ambientais do que controlá-los.

A prevenção dos impactos pode ocorrer de várias formas. Por exemplo, boas práticas de manejo (BPM) podem ser desenvolvidas para otimizar a quantidade de fertilizantes e agrotóxicos necessários para a cultura do arroz - o que significa usar somente a quantidade necessária para suportar o crescimento.

O conceito de Manejo Integrado de Pragas (MIP) é frequentemente empregado para mitigação de efeitos negativos de poluição ambiental pelo uso inadequado de agrotóxicos. O princípio do MIP é o de reduzir o uso de agrotóxicos para um mínimo requerido, capaz de manter a qualidade dos alimentos consumidos, maximizando a qualidade ambiental e preservando a saúde humana. Com a erradicação eficiente de uma praga, ocorre uma redução na quantidade de agrotóxicos aplicados e, conseqüentemente, uma manutenção efetiva de insetos desejáveis em lavouras de arroz.

Geralmente, fontes pontuais de poluição por agrotóxicos resultam de controle e/ou uso inadequado em áreas não apropriadas, principalmente quando próximas a mananciais hídricos.

O objetivo de um programa de fertilização é a adição de quantidade suficiente de nutrientes para maximizar a produtividade das plantas, sem, contudo, haver perda de nutrientes, pois esta representa prejuízo econômico para os produtores, e, se em excesso, pode causar dano ao meio ambiente. Os produtores podem manipular variáveis relacionadas à aplicação de fertilizantes e à água para maximizar a absorção pelas plantas, ao mesmo tempo, minimizando econômica e ambientalmente as perdas de nutrientes. Método e época de aplicação podem variar, bem como a seleção da fonte do fertilizante. Uso eficiente na época correta é o objetivo das BPM, recomendadas por pesquisadores para a maioria das culturas em vários países, inclusive no Brasil.

Uma prática que pode aumentar a eficiência da fertilização nitrogenada envolve o uso de fertilizantes de liberação lenta, os quais liberam N durante um período de dias ou semanas. Três tipos de fertilizantes com liberação lenta de N são disponíveis: substâncias de baixa solubilidade que requerem decomposição, como uréia e seus derivados; fertilizantes solúveis encapsulados com materiais insolúveis;



e materiais moderadamente solúveis. Outras BPM envolvem o controle da quantidade e época de aplicação dos fertilizantes nitrogenados. É possível aplicar o fertilizante nitrogenado no momento em que a planta necessita, avaliando o seu estado nutricional pela análise foliar. Podem envolver também o manejo da água de irrigação. Práticas de irrigação podem aumentar o risco de perdas de nitratos móveis da zona das raízes. Técnicas que podem realizar a aplicação de água mais uniforme e eficiente podem ajudar a minimizar as perdas de nitrato. Por exemplo, a sistematização de terras pode resultar na aplicação mais uniforme da água e de fertilizantes (Thompson et al., 1996, citados por Pepper et al., 1996).

A prevenção de poluição dos mananciais hídricos por fosfatos também envolve a adoção de BPM como o uso de fontes de P menos solúveis e a aplicação de fosfatos em época adequada, em conjunto com a minimização de perdas de solo por erosão, com a implantação de sistemas conservacionistas.

O sucesso da implementação das opções mitigadoras da emissão de metano, em lavouras de arroz irrigado, dependerá da aceitação coletiva pelos produtores de arroz. Sass (2001) destaca que, para que isso ocorra, os resultados de pesquisa devem ser capazes de demonstrar que: (1) a produtividade de grãos não seria diminuída e poderia aumentar por uma prática de mitigação em particular; (2) a adoção das práticas recomendadas de mitigação pelos produtores viriam em benefício da melhor utilização da água, ou diminuição nos custos de produção; e (3) as cultivares de arroz as quais conduziriam a uma redução na emissão de metano seriam aquelas desejadas pelos consumidores locais.

Atividades integradas do setor público e privado têm atendido a demandas da sociedade relativas à maior rentabilidade da exploração orizícola, porém buscando índices mais elevados possíveis de segurança ambiental. Como boas práticas agrícolas (BPA), já recomendadas para a lavoura orizícola irrigada, e de medidas mitigadoras de impactos ambientais negativos, podem ser citados os seguintes exemplos:

- 1) Redução de 36 e 67% da dose registrada de inseticida líquido e granulado, registrados, respectivamente para o tratamento de sementes e aplicação na água de irrigação do arrozal, visando ao controle do gorgulho-aquático.
- 2) Manejo da água de irrigação e a capina mecânica, em lavouras de aproximadamente 30 ha, praticamente evitando o uso de herbicidas.



- 3) Uso de inoculantes à base de cianobactérias, associado ao emprego de adubos verdes poderá garantir o suprimento da fonte mineral para o arrozal.
- 4) Manejo da água para maior eficiência de herbicidas com menor toxicidade e redução da dose registrada.
- 5) Otimização de técnicas de aplicação aérea de agrotóxicos com máxima segurança do trabalhador e do ambiente.
- 6) Tríplice lavagem e destino de embalagens vazias de agrotóxicos para usinas de reciclagens credenciadas pelo Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e Ministério da Saúde.
- 7) Práticas conservacionistas de manejo do solo, como a rotação de culturas apoiada no plantio direto, visando à eliminação ou mesmo redução do efeito de fatores de degradação física, química e biológica do solo. Dessa forma, os processos de biodegradação de agrotóxicos se intensificam e, conseqüentemente, diminui o risco de contaminação do solo e da água.
- 8) Cepas bacterianas degradadoras de agrotóxicos podem ser utilizadas para biorremediação de áreas contaminadas e como indicadores de AIA. Na coleção de bactérias degradadoras de agrotóxicos da Embrapa Clima Temperado (Mattos et al., 2000b) podem ser encontradas 40 cepas nativas identificadas bioquimicamente e molecularmente, isoladas de solos do agroecossistema de arroz irrigado.
- 9) Cultivo de arroz orgânico em áreas de risco de contaminação dos recursos hídricos, mitigando e proporcionando, ao mesmo tempo, a conquista de mercados especializados.

Além dessas medidas, novas diretrizes surgiram nesse contexto, como o licenciamento ambiental, sistemas de produção orgânica e integrada.

Licenciamento ambiental

É o procedimento administrativo realizado pelo órgão ambiental competente, que pode ser federal, estadual ou municipal, para licenciar a instalação, ampliação, modificação e operação de atividades e empreendimentos que utilizam recursos naturais, ou que sejam potencialmente poluidores ou que possam causar degradação ambiental. O licenciamento é um dos instrumentos de gestão ambiental estabelecido pela lei Federal n.º 6938, de 31/08/81, também conhecida



como Lei da Política Nacional do Meio Ambiente. Em 1997, a Resolução nº 237 do CONAMA definiu as competências da União, estados e municípios e determinou que o licenciamento deverá ser sempre feito em um único nível de competência. No licenciamento ambiental são avaliados impactos causados pelo empreendimento, tais como: seu potencial ou sua capacidade de gerar líquidos poluentes (despejos e efluentes), resíduos sólidos, emissões atmosféricas, ruídos e o potencial de risco, como por exemplo, explosões e incêndios.

Cabe ressaltar que algumas atividades causam danos ao meio ambiente principalmente na sua instalação. É o caso da construção de estradas e hidrelétricas, por exemplo. É importante lembrar que as licenças ambientais estabelecem as condições para que a atividade ou o empreendimento cause o menor impacto possível ao meio ambiente. Por isso, qualquer alteração deve ser submetida a novo licenciamento, com a solicitação de Licença Prévia (Fundação Estadual de Proteção do Meio Ambiente, 2004).

O CONAMA, na resolução nº 237/97, e o Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA), na resolução nº 036/ 2003, regulamentaram o licenciamento ambiental para a atividade de irrigação. As instituições responsáveis pela concessão do licenciamento, no Estado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, são a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) e a Fundação de Trabalho em Meio Ambiente (FATMA), respectivamente. A partir de 2003, o licenciamento ambiental passou a ser exigido para o produtor orizícola dos dois estados.

Vários estados brasileiros já sancionaram as leis que regulamentam a exploração dos recursos hídricos, como o Rio Grande do Sul, São Paulo, Ceará e Bahia (Zaffaroni & Tavares, 2004). Em Goiás, a instalação da Agência Goiana de Águas, em 2003, foi um dos mecanismos criados pelo governo estadual para estabelecer a política de recursos hídricos, como forma de manter o controle dos mananciais sob o domínio estadual e de desenvolver ações para garantir a preservação dos recursos hídricos.

Sistema de produção orgânica

Em sistemas de produção orgânica, fatores de produção biofísicos estão intimamente relacionados com os fatores sócioeconômicos e institucionais. O termo orgânico refere-se a métodos de produção e processamento de alimentos que conservem os recursos naturais.



A Embrapa Clima Temperado, em Pelotas, RS, em parceria com a Epagri e a Associação dos Usuários do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro (AUD), Camaquã, RS, está desenvolvendo o projeto “Alternativas Tecnológicas para Produção Orgânica de Arroz Irrigado no Sistema de Cultivo Convencional, no Rio Grande do Sul” (Fig. 25.18) (Mattos et al., 2004).



Fig. 25.18. Área de validação de sistema de produção orgânica de arroz irrigado, em pequena propriedade rural, em Camaquã, RS. (A) Coberturas vegetais de inverno; (B) Capina mecânica; (C) aspecto geral da lavoura; (D) colheita de arroz.

Na prática, arroz orgânico deve ser produzido e processado sem o uso de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos. Métodos biorracionais, como biológicos, mecânicos, resistência de plantas e outros, devem ser usados para o controle de pragas. O sistema de cultivo deve incluir a rotação de culturas, o uso de coberturas como fertilizante, uma densidade de sementeira e um manejo da água de irrigação voltados ao controle de plantas daninhas e outras pragas (Mattos et al., 2004).

Comparação econômica de sistemas de produção orgânico e químico de arroz irrigado, em área de validação, em propriedade rural, em Camaquã, RS, consta na Tabela 25.2. A menor rentabilidade relativa do sistema orgânico é decorrente da menor produtividade até então obtida e da falta de agregação de valor ao produto, mesmo que o custo de produção seja 32% inferior ao do sistema químico. No entanto, se o preço pago ao arroz químico e orgânico for diferenciado, agregando ao



arroz orgânico um valor 48% superior, como ocorreu na safra 2002/03, atingindo o preço de R\$ 67,00/saca de 50 kg, principalmente por se tratar de grão japonico, cultivar BRS Bojuru, a rentabilidade do sistema orgânico fica apenas 10% abaixo do sistema químico.

Tabela 25.2. Economicidade do sistema de produção orgânica de arroz irrigado comparada ao sistema de produção química. Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS. 2004

Sistema de Produção	Produtividade ⁽¹⁾		Custo de Produção		Rentabilidade (%) ⁽²⁾	
	(kg ha ⁻¹)	(%)	(R\$)	(%)	A	B
Químico	6.500	100	1.008	100	100	100
Orgânico	3.740	58	695	69	55	90

⁽¹⁾ Maior produtividade obtida em área de validação, em propriedade rural (Camaquã, RS), por meio de sistemas de produção orgânica e química.

⁽²⁾ Rentabilidade sem (A) e com agregação de valor ao arroz orgânico (B), sendo o preço da saca de 50 kg igual a R\$ 43,00 e R\$ 67,00, respectivamente.

A expectativa é de que, com o avanço das pesquisas, sejam liberadas tecnologias eficientes para o controle de plantas daninhas e para maior aporte de matéria orgânica ao solo, vitais para o aumento da produtividade do sistema orgânico. Além disso, a agregação de valor e a conquista de mercados especializados, são capazes de promover maior rentabilidade do sistema de produção orgânica, ultrapassando significativamente a do sistema de produção baseado na utilização de insumos químicos.

Sistema de produção integrada

A sustentabilidade ambiental é uma das qualidades que o agronegócio brasileiro necessita para o aumento da competitividade do negócio orizícola. Nesse contexto, a Produção Integrada de Arroz (PIA), sistema de produção que gera alimentos e demais produtos de alta qualidade, mediante o uso de recursos naturais e regulação de mecanismos para a substituição de insumos poluentes, objetiva a garantia da sustentabilidade da produção agrícola e enfatiza o enfoque do sistema holístico, envolvendo a totalidade ambiental como unidade básica e o papel central do agroecossistema.

A PIA é uma das alternativas capazes de aumentar a competitividade da orizicultura no Brasil, rumo à qualidade certificada do arroz. Ao mesmo tempo, a PIA, além de minimizar os impactos ambientais negativos da lavoura orizícola, irá inserir, direta ou indiretamente, na cadeia



produtiva do arroz, vários processos de qualidade como ISO 14001 e 9001 (segurança ambiental), Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle = APPCC (segurança alimentar), Procedimentos Práticos de Higiene Ocupacional (PPHO), normalização, rotulagem, certificação ambiental, Boas Práticas Agrícolas (BPA), rastreabilidade e outros. A adesão dos produtores é voluntária. Ao enquadrar-se no Programa de Produção Integrada, a atividade orizícola se tornará ambientalmente correta e socialmente justa (Mattos, 2003). A Fig. 25.19 apresenta o esquema da PIA, em nível de campo, indicando que o produtor, ao atingir o nível tecnológico quatro, estará habilitado na PIA.

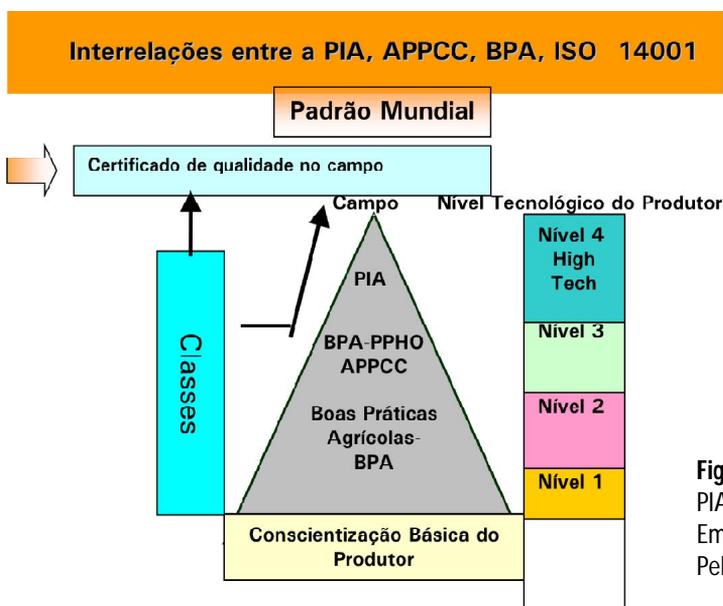


Fig. 25.19. Esquema da PIA no segmento campo. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Com a introdução do sistema de PIA, principalmente apoiada em princípios do MIP, serão reduzidas as aplicações de insumos químicos, passando a cultura a ser conduzida segundo normas que visam à produção com sustentabilidade ambiental. Para isso, faz-se necessário o acompanhamento da pesquisa e a participação de uma equipe multidisciplinar junto aos produtores, para o estabelecimento dos planos de gestão das propriedades, visando a assegurar o sucesso da proposta por meio da colocação em prática da norma de PIA por região, de modo a permitir a utilização de um selo de qualidade para o arroz produzido em várzeas e terras altas. O selo de qualidade no arroz permitirá a rastreabilidade do sistema de produção, facilitando a exportação e a aceitação pelo consumidor.



A Embrapa Clima Temperado é coordenadora da proposta de implementação da PIA no Brasil, junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York: J. Wiley, 1961. 472 p.
- BOUWMAN, A. F. Global distribution of the major soils and land cover types. In: BOUWMAN, A. F. (Ed). **Soils and greenhouse effect**. Chichester: J. Wiley, 1990. p. 47-59.
- BYERS, M. E.; TYESS, D.; ANTONIOUS, G. F.; HILBORN, D.; JARRET, L. Monitoring herbicide leaching in sustainable vegetable culture using tension lysimeters. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 54, p. 848-854, June 1995.
- CETESB. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**: legislação referente à qualidade de águas. São Paulo, 1988. Anexo 1.
- CICERONE, R. J.; SHETTER, J. D.; DELWICHE, C. C. Seasonal variation of methane flux from a California rice paddy. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 88, n. NC15, p. 1022-1024, 1983.
- COLE, C. V; FLACH, K.; LEE, J.; SAUERHECK, D.; STEWART, B. Agricultural sources and sinks of carbon. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 70, n. 1/4, p. 111-112, Oct. 1993.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1995. 223 p.
- CONRAD, R. Control of methane production in terrestrial ecosystems. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D. S. (Ed.). **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. New York: J. Wiley, 1989. p. 39-58.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986. Classificação das águas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 jul. 1986.
- COSTA, F. de S.; LIMA, M. A. de; BAYER, C.; FRIGHETTO, R. T. S.; BOHNEN, H.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Emissões de metano em lavoura de arroz irrigado por inundação no sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP, 2003. 1 CD-ROM.
- CUTRIGHT, T. J.; LEE, S. Remediation of PAH-contaminated soil using *Achromobacter sp.* **Energy Sources**, Akron, v. 16, n. 2, p. 279-287, Apr./June 1994.
- DESCHAMPS, F. C.; NOLDIN, J. A.; EBERHARDT, D. S.; KNOBLAUCH, R. A qualidade da água em áreas cultivadas com arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p. 700-702.
- DIAS, R. A.; MATTOS, M. L. T.; MARTINS, J. F. da S.; MELO, M. Assembléia de aves em área orizícola tratada com carbofuran. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 2001. p. 778-780.



DUAH-YENTUMI, S.; KUWATSUKA, S. Microbial degradation of benthocarb, MCPA and 2,4-D herbicides in perfused soils amended with organic matter and chemical fertilizers. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 28, n. 1, p. 19-26, 1982.

EL-NAGGAR, S. F. **Water solubility and octanol/water partition coefficient of FMC 57020**. Princeton: FMC Agricultural Chemical Group, 1983. 15 p. Relatório técnico.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: Embrapa Clima temperado: IRGA: EPAGRI, 1999. 124 p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciencia: FINEP, 1988. 575 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Yield and yield components of lowland rice as influenced by timing of nitrogen fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, n. 1, p. 23-32, 1999.

FAGERIA, N. K.; AIDAR, H.; BARBOSA FILHO, M. P. Solos de várzea. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. (Ed.). **Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 21-41.

FAO PRODUCTION YEARBOOK. Rome: FAO, v. 39, 1985.

FOX, J. I. Microbes pose problems for pesticides. **Science**, Washington, v. 9, n. 4615, p. 1029-1031, Sept. 1983.

FRIGHETTO, R. T. S. Impacto ambiental decorrente do uso de pesticidas agrícolas. In: MELO, I. S. de; AZEVEDO, J. L. de (Ed.). **Microbiologia ambiental**. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1997. p. 415-438.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Licenciamento ambiental**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br>>. Acesso em: 3 maio 2004.

FUNDAÇÃO O Boticário de Proteção à Natureza. **A estratégia global da biodiversidade**. Curitiba, 1999. 232 p.

GARAY, I. E. G.; DIAS, B. F. S. **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento. Petrópolis: Vozes, 2001. 430 p.

GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A. (Ed.). **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. 201 p.

HERMES, L. C.; NOLDIN, J. A.; FAY, E. F.; EBERHARDT, D. S.; ROSSI, M. A. Dissipação do herbicida clomazone em arroz irrigado em sistema pré-germinado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 685-688.

HURLE, K.; WALKER, A. Persistence and its prediction. In: HANCE, R. J. (Ed.). **Interactions between herbicides and the soil**. London: Academic Press, 1980. p. 83-122.



IPCC Climate change 1992: the IPCC supplementary report to the IPCC scientific assessment, supporting material, working group III, response strategies, subgroups. Geneva: AFOS: WMO: UNEP, 1992. p. 14-22.

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Bracknell: WMO: UNEP, 1995. 3 v.

IRGA. **Informativo**. Porto Alegre, 2000. 4 p.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. **The study on the environmental management of the hydrographic basin of Patos and Mirim Lakes in the Federative Republic of Brazil**. Tokyo, 2000. 396 p. Relatório técnico.

JONSSON, C. M.; MAIA, A. de H. N. Toxicidade dos herbicidas clomazone e quinclorac para o invertebrado aquático *Daphnia similis* na presença e ausência de sedimento. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 9, p.145-153, jan./dez. 1999.

JONSSON, C. M.; TOLEDO, L. G.; BIELE, J. Efeito de três herbicidas usados em culturas de arroz irrigado sobre a mobilidade e crescimento de organismos aquáticos bioindicadores. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1997, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 1997. p. 538-541.

JOULIAN, C.; OLLIVIER, B.; NEÛE, H. U.; ROGER, P. A. Microbiological aspects of methane emission by a ricefield soil from the Camargue (France): 1. Methanogenesis and related microflora. **European Journal of Soil Biology**, New Jersey, v. 32, n. 2, p. 61-70, 1996.

KHALILI, A. El. **O potencial do novo mercado de commodities ambientais**. Disponível em: <<http://www.estado.com.br/ciencia/>>. Acesso em: 11 maio 2000.

KIRKWOOD, R. Use and mode of action of adjuvants for herbicides: a review of some current work. **Pesticide Science**, Oxford, v. 38, n. 2/3, p. 93-102, 1993.

LAUREN, J. G.; PETTYGROVE, G. S.; DUXBURY, J. M. Methane emissions associated with a green manure amendment to flooded rice in California. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 24, n. 2, p. 53-65, 1994.

LIMA, M. A.; NEVES, M. C.; PESSOA, M. C. P. Y.; HERMES, L. C. Estimativa de emissão de metano proveniente do cultivo de arroz inundado no estado do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1997, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 1997a. p. 565-568.

LIMA, M. A.; NEVES, M. C.; HERMES, L. C.; PESSOA, M. C. P. Y. Estimativa de emissão de metano proveniente da cultura de arroz irrigado no estado de Santa Catarina. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1997, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 1997b. p. 562-564.

LIMA, M. A.; VILELLA, O. V.; FRIGHETTO, R. T. S.; RACHMAN, M. A. L. Emissão de metano em área de cultivo de arroz irrigado inundado sob regime de água contínuo e intermitente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p. 741-743.

LUTZEMBERGER, J. LUTZ joga no time do arroz. **Planeta Arroz**, Cachoeira do Sul, p.12-13, abr. 2000.



MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E.; BOHNEN, H. Levantamento exploratório da composição química das águas utilizadas para irrigação do arroz no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 2001. p. 793-795.

MARTINS, J. F. da S.; MATTOS, M. L. T.; CUNHA, U. S. da. Reduction of carbofuran insecticide dosage for *Oryzophagus oryzae* larval controlling and environmental impact evaluation in the flooded rice ecosystem. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ENTOMOLOGY, 21., 2000, Foz do Iguassu. **Anais...** Foz do Iguassu: Sociedade Brasileira de Entomologia, 2000. 1 CD-ROM.

MARTINS, J. F. da S.; MATTOS, M. L. T.; CUNHA, U. S. da; SCHRÖDER, E. P. **Aperfeiçoamento do método para avaliação da deriva de inseticida granulado aplicado por via aérea em lavouras de arroz irrigado.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 4 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico, 85).

MATTOS, M. L. T. Arroz integrado. **Anuário Brasileiro do Arroz 2003**, Santa Cruz do Sul, p. 36-37, 2003.

MATTOS, M. L. T. Resíduos biodegradados. **Cultivar**, Pelotas, v. 3, n. 24, p. 22-23, jan. 2001.

MATTOS, M. L. T.; THOMAS, R. W. S. P. Degradation of the herbicide clomazone by *Pseudomonas fluorescens*. In: INTERNATIONAL BIODETERIORATION AND BIODEGRADATION SYMPOSIUM, 10., 1996, Hamburg. **Anais...** Hamburg: Dechema, 1996. p. 623-630.

MATTOS, M. L. T.; THOMAS, R. W. S. P.; PERALBA, M. C. R.; AYRES, S. S. Obtenção de bactérias degradadoras de herbicidas no sistema plantio direto de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 693-696.

MATTOS, M. L. T.; PERALBA, M. C. R.; CAMPOS, B. C.; THOMAS, R. W. S. P.; FREIRE, J. J.; DIAS, S. L. P.; OLIVEIRA, E. C.; SANTOS, F. O.; SANTOS, S. C. A. **Análise quanti e qualitativa da biodegradação do herbicida glifosate em solo e água de lavouras de arroz irrigado e soja do planalto médio e litoral do Rio Grande do Sul.** Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 2000a. 94 p. Relatório técnico.

MATTOS, M. L. T.; SANTOS, S. C. A.; SANTOS, F. O.; SANTOS, F. M.; MALÜK, L. S. Coleção de culturas de bactérias degradadoras de pesticidas da Embrapa Clima Temperado. **Agropecuária Clima Temperado**, Pelotas, v. 3, n. 2, p. 261-268, 2000b.

MATTOS, M. L. T.; CASTRO, L. A. S.; ANDRES, A.; HERMES, L. C.; CHAIN, A.; ABAKERLI, R. B.; SOUZA, M. D.; NETO, L. M.; PERALBA, M. C. R.; THOMAS, R. W. S. P.; VIDAL, R.; NOLDIN, J. A. Environmental behavior of herbicides in irrigated rice in the "low lands" agroecosystem. In: INTERNATIONAL WEED SCIENCE CONGRESS, 3., 2000, Foz do Iguassu. **Resumos...** Foz do Iguassu: International Weed Science Society, 2000c. p. 239.

MATTOS, M. L. T.; MACHADO, M. I.; SANTOS, F. O.; MARTINS, F. S.; SANTOS, S. C. A. Microrganismos do solo envolvidos na degradação dos herbicidas clomazone e glifosate, em lavouras de arroz irrigado, no Rio Grande do Sul. In: WORKSHOP SOBRE BIODEGRADAÇÃO, 2., 2001, Campinas. **Resumos...** Campinas: EMBRAPA-CNPMA, 2001. p. 361-364.



MATTOS, M. L. T.; SANTOS, S. C. A.; SANTOS, F. O.; SANTOS, F. M. Diversidade bacteriana em solos hidromórficos do ecossistema terras baixas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP, 2003a. 1 CD-ROM.

MATTOS, M. L. T.; DESCHAMPS, F. C.; PETRINI, J. A. Monitoramento ambiental de pesticidas em águas de lavouras de arroz irrigado no sistema pré-germinado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003b. p. 697-699.

MATTOS, M. L. T.; MARTINS, J. F. da S.; FRANCO, D. F.; MADAIL, J. C. M.; VENDRUSCULO, J. L. S.; SCIVITTARO, W. B. Nicho de mercado. **Revista Cultivar**, Pelotas, v. 4, n. 60, p. 36-38, abr. 2004.

MELO, M.; MATTOS, M. L. T.; MARTINS, J. F. da S.; DIAS, R. A. Fauna aquática em área tratada com carbofuran em ecossistema de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 2001. p. 796-797.

MOUSUMECI, M. R. Defensivos agrícolas e suas interações com a microbiota do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N. (Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360 p.

NEILSON, A. H. **Organic chemicals in the aquatic environment: distribution, persistence, and toxicity**. Boca Raton: Lewis, 1994. 438 p.

NEÜE, H. U. Agronomic practices affecting methane fluxes from rice cultivation. In: OJIMA, D. S.; STEVENSSON B. H. (Ed.). **Trace gas exchange in a global perspective**. Copenhagen: Blackwell, 1992. p. 174-182. (Ecology Bulletin, 42).

NEÜE, H. U.; ROGER, P. A. Potential of methane emission in major rice ecologies. In: ZEPP, R. G. (Ed.). **Climate biosphere interaction: biogenic emission and environmental effects of climate change**. New York: J. Wiley, 1994. p. 65-93.

NEÜE, H. U.; LANTIN, R. S.; WASSMANN, J. B.; ADUNA, M. C. R.; ANDALES, M. J. F. Methane emission from rice soils of the Philippines. In: MINAMI, K.; MOSIER, A.; SASS, R. (Ed.). **CH₄ and N₂O: global emissions and controls from rice fields and other agricultural and industrial sources**. Tokyo: Yokendo, 1994. 234 p.

NOLDIN, J. A.; HERMES, L. C.; ROSSI, M. A.; FERRACINI, V. L. Persistência do herbicida clomazone em arroz irrigado em sistema pré-germinado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1997, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 1997. p. 363-368.

NOLDIN, J. A.; MATTOS, M. L. T.; DESCHAMPS, F. C.; EBERHARDT, D. S.; KNOBLAUCH, R.; PERALBA, M. C.; PETRINI, J. A.; HERMES, L. C.; CHARRID JUNIOR, R. **Qualidade ambiental do ecossistema arroz irrigado**. Itajaí: FUNDAGRO: EPAGRI: EMBRAPA-CPACT, 1999. 43 p. Relatório de projeto.

PEPPER, I. L.; GERBA, C. P.; BRUSSEAU, M. L. (Ed.). **Pollution science**. London: Academic Press, 1996. 397 p.

PILLON, C. N. **Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo introduzidas por sistemas de cultura em plantio direto**. 2000. 232 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.



PINGALI, P. L.; ROGER, P. A. (Ed.). **Impact of pesticides on farmer health and the rice environmental**. Manila: IRRI, 1995. 664 p. (Natural Resource Management and Policy).

PINHEIRO, M. S. **Conservação, manejo e utilização comercial dos crocodilianos com ênfase para o Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. 86 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 71).

PINHEIRO, M. S.; SILVA, J. J. C.; RODRIGUES, R. C. **Utilização sustentável e domesticação da capivara**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 86 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 31).

QURESHI, F. A. **Herbicide carry-over**. Alberta: Alberta Environmental Centre Vegreville, 1987. 31 p. Relatório técnico.

SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K.; PRABHU, A. S. Rice ratooning management practices for higher yields. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, n. 5/6, p. 881-918, May/June 2003.

SASS, R. L. Factors in the production, emission and mitigation of methane from rice fields. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. **Palestras...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. p. 157-179.

SASS, R. L.; FISHER, F. M.; HARCOTBE, P. A.; TURNER, F. T. Mitigation of methane emissions from rice fields: possible adverse effects of incorporated rice straw. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 5, n. 3, p. 275-287, Sept. 1991.

SASS, R. L.; FISHER, F. M.; WANG, Y. B.; TURNER, F. T.; JUND, M. F. Methane emission from rice fields: the effect of floodwater management. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 6, n. 3, p. 249-262, Sept. 1992.

SASS, R. L.; FISHER, F. M.; LEWIS, S. T.; TURNER, F. T.; JUND, M. F. Methane emission from rice fields: effect of soil properties. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 8, n. 2, p. 135-140, June 1994.

SCHÜTZ, H.; HOLZAPFEL-PSCHORN, R.; CONRAD, R.; RENNENBERG, H.; SEILER, W. A 3-year continuous record on the influence of daytime, season, and fertilizer treatment on methane emission rates from an Italian rice paddy. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 94, n. D13, p. 16405-16416, Nov. 1989.

SHEA, P. J. Detoxification of herbicide residues in soil. **Weed Science**, Champaign, v. 33, n. 2, p. 33-41, 1985. Suplemento.

SHEETS, T. J.; HARRIS, C. I.; KAUFMAN, D. D.; KEARNEY, P. C. Fate of herbicides in soils. **Proceedings of the North East Weed Control Conference**, Maryland, v.18, p.21-31, 1964.

SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. **Gestão de recursos hídricos**: aspectos legais, econômicos e sociais. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos; Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000. 659 p.

TAUK, S. M.; GOBBI, N.; FOWLER, H. G. **Análise ambiental**: uma visão multidisciplinar. São Paulo: FAPESP: SRT: FUNDUNESP, 1991. 169 p.

TÉCNICOS definem etapas de projeto para conhecimento e proteção do aquífero guarani - mensagem em lista de discussão. Disponível em: <pesquisagro@sede.embrapa.br>. Acesso em: 28 ago. 2000.



TOLEDO, L. G.; JONSSON, C. M.; STUMPF JUNIOR, W. Estudo da qualidade da água em culturas de arroz irrigado com aplicação de herbicidas. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1997, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 1997. p. 552-555.

ZAFFARONI, E.; TAVARES, V. E. **O licenciamento ambiental dos produtores de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, Brasil**: AGROverde documentos.

Disponível em: <<http://www.ambiental.net/agroverde/LicenciaAmbientalArroz>>.

Acesso em: 6 fev. 2004.

WOLFE, R. S. Methanogens: a surprising microbial group. **Antonie Van Leeuwenhoek**, Delft, v. 45, n, 3, p. 353-364, 1979.

