

# *Documentos*

---

ISSN 1517-5111 **98**  
Maio, 2014

## **Panorama da Contaminação Ambiental por Agrotóxicos e Nitrato de origem Agrícola no Brasil: Cenário 1992/2011**

## **Documentos 98**

# **Panorama da Contaminação Ambiental por Agrotóxicos e Nitrato de origem Agrícola no Brasil: cenário 1992/2011**

*Marco Antonio Ferreira Gomes  
Robson Rolland Monticelli Barizon*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Meio Ambiente**

Rodovia SP 340 Km 127,5 - Tanquinho Velho  
Caixa Postal 69  
CEP 13820-000 Jaguariúna, SP  
Fone: (19) 3311-2650  
Fax: (19) 3311-2640  
<http://www.cnpma.embrapa.br>  
[sac@cnpma.embrapa.br](mailto:sac@cnpma.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *Ladislau Araújo Skorupa*  
Secretária-Executiva: *Vera Lúcia S. S. de Castro*  
Secretário: *José de Arimatéia de Araújo Sousa*  
Bibliotecário: *Victor Paulo Marques Simão*  
Membro Nato: *Marcelo Augusto Boechat Morandi*  
Membros: *José Ricardo Pupo Gonçalves, Fagoni Fayer Calegario, Maria Lúcia Zuccari, Magda Aparecida de Lima, Mariana Silveira Guerra Moura e Silva e Rita Carla Boeira*

Editoração eletrônica: *Alexandre Rita da Conceição*

Revisão de texto: *Nilce Chaves Gattaz*

Normalização Bibliográfica: *Victor Paulo Marques Simão*

**1ª edição eletrônica (2014)**

**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 Meio Ambiente**

---

Gomes, Marco Antonio Ferreira.

Panorama da contaminação ambiental por agrotóxicos e nitrato de origem agrícola no Brasil: cenário 1992/2011 / Marco Antonio Ferreira Gomes; Robson Rolland Monticelli Barizon.– Jaguariúna, SP : Embrapa Meio Ambiente, 2014.

35 p. — (Documentos / Embrapa Meio Ambiente; 98).

1. Meio ambiente 2. Contaminação 3. Agrotóxico 4. Nitrato. I. Gomes, Marco Antonio Ferreira. II. Barizon, Robson Rolland Monticelli. III. Título. IV. Série.

CDD 363.7

# **Autores**

## **Marco Antonio Ferreira Gomes**

Geólogo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas,  
Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5  
- Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000  
Jaguariúna, SP.

marco.gomes@embrapa.br

## **Robson Rolland Monticelli Barizon**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de  
Plantas, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km  
127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, Cep.13.820-  
000 Jaguariúna, SP.

robson.barizon@embrapa.br

# Sumário

Introdução .....	6
1. Considerações gerais .....	7
2. Cenários regionais de contaminação ambiental por agrotóxicos e nitrato .....	10
2.1 Região Sudeste .....	10
2.2 Região Sul.....	18
2.3 Região Norte/Nordeste .....	21
2.4 Região Centro-Oeste.....	24
3. Considerações finais .....	26
Referências bibliográficas .....	28

# Panorama da Contaminação Ambiental por Agrotóxicos e Nitrato de origem Agrícola no Brasil: cenário 1992/2011

---

*Marco Antonio Ferreira Gomes*

*Robson Rolland Monticelli Barizon*

## Introdução

O modelo de produção agropecuário adotado no Brasil, baseado na “revolução verde”, cujo aumento na produtividade é obtido por meio de plantas melhoradas geneticamente e pelo uso de insumos como fertilizantes e agrotóxicos, exige a estruturação de toda a sociedade para avaliar e gerenciar os riscos advindos da utilização desses produtos. Mesmo com o grande número de dados físico-químicos, ambientais e toxicológicos exigidos pelos órgãos reguladores no processo de registro de agrotóxicos, ainda restam muitas incertezas no que diz respeito aos impactos do uso destas substâncias sobre a saúde humana e a proteção do meio ambiente. O monitoramento e a avaliação dos impactos do uso destas substâncias devem ser vistos como atividades essenciais para garantir a sustentabilidade dos sistemas de produção agropecuários que utilizam tais insumos (OLIVEIRA, 2005).

Somente por meio de reavaliações realizadas regularmente é possível estabelecer um nível de segurança aceitável para a utilização de substâncias com reconhecida toxicidade para organismos biológicos, como é o caso dos agrotóxicos. Com o avanço da ciência observado atualmente, torna-se imprescindível a geração de dados à luz das novas tecnologias, a fim de verificar se os níveis de segurança estabelecidos

à época da concessão do registro do ingrediente ativo (i.a.) ainda são válidos para as condições atuais. Como exemplo destacam-se os avanços alcançados na sensibilidade analítica, que possibilita a quantificação de concentrações que, anteriormente, eram consideradas de difícil detecção. Os avanços da toxicologia também ilustram esta questão. Novos efeitos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente causados por diferentes substâncias são frequentemente reportados, o que gera uma justificada preocupação, uma vez que estes efeitos muitas vezes se expressam em concentrações menores do que aquelas já determinadas para efeitos reportados anteriormente.

Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar e avaliar o cenário de uso e presença de agrotóxicos e fertilizantes nitrogenados no Brasil, com destaque para o nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), tendo como referência a legislação pertinente ao tema e à base de dados gerados pela comunidade científica nas últimas duas décadas. Com isso, espera-se obter um diagnóstico mais próximo da realidade sobre a presença e contaminação do solo e da água por estas substâncias, para que assim esse diagnóstico sirva de alerta, e principalmente, de apoio às iniciativas direcionadas ao controle e uso racional dessas substâncias.

## 1. Considerações gerais

A partir dos anos 70, o Brasil passou a utilizar agrotóxicos em larga escala e até o final dos anos 80, praticamente, não havia maiores preocupações com agrotóxicos em relação à presença e/ou contaminação do solo e da água, tanto superficial quanto subterrânea. A primeira legislação sobre agrotóxicos no Brasil foi determinada pelo Decreto lei 24.114, de 12 de abril de 1934, que instituiu o Regulamento da Defesa Sanitária Vegetal e tinha força de lei. Desde esse período até a edição da Lei nº 7.802, de 1989, essa matéria era regulamentada em nosso País, apenas por portarias ministeriais, principalmente dos Ministérios da Agricultura e da Saúde. Este fato pode ter contribuído para a falta de conhecimento do problema, cuja

origem remete também à escassez de estudos e trabalhos científicos sobre o tema à época. A Lei 7.802/89 aborda um amplo espectro de temas relacionados aos agrotóxicos: registro, comercialização, fiscalização, disposição final de embalagens, entre outros (BRASIL, 1989).

A partir de 1992, com a divulgação e ênfase do Fórum Internacional Rio-92 em relação às questões de caráter ambiental, entre elas a agroambiental, o tema sobre contaminação no meio rural ganhou nova dimensão, com a proposição e realização de estudos por diversas instituições de pesquisa. Porém, a análise dos resultados obtidos após os 20 anos decorridos daquele fórum, indica que os avanços em pesquisa nesta área foram modestos, caracterizados principalmente por estudos regionalizados ou pontuais, quase sempre associados a teses acadêmicas e com objetivos específicos. Somado a isso, o consumo de agrotóxicos no Brasil aumentou de forma expressiva, e em 2008 o Brasil assumiu o posto de maior mercado consumidor de agrotóxicos do mundo, somando um total de vendas de US\$ 7,125 (comunicação pessoal)<sup>1</sup>. Este fato pode ser explicado por diversos fatores, podendo-se destacar o aumento da área cultivada, a adoção de tecnologia e também o surgimento de pragas agrícolas de difícil controle, como a ferrugem da cultura da soja e o psíldeo, vetor da doença Huanglongbing (HLB) em citros.

Por outro lado, avanços importantes no cenário regulatório também ocorreram neste período, com destaque para a publicação da Lei 9.974, de 06 de Junho de 2000, que estabeleceu diretrizes para o recolhimento das embalagens vazias de agrotóxicos. A partir deste documento baseado no conceito de logística reversa, o Brasil iniciou um programa de processamento de embalagens que é referência mundial. O efeito desta medida no meio ambiente é de extrema importância, uma vez que reduziu a exposição do solo a estas substâncias e,

---

<sup>1</sup> Mensagem eletrônica de Ivan Amâncio Sampaio, do Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola, recebida por Robson Barizon, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, em 19/8/2010.



consequentemente, a migração para outros compartimentos, como o ar e a água. Outro avanço de grande impacto no setor regulatório foi a promulgação do Decreto 4.074, de 04 de janeiro de 2002, que regulamenta a Lei 7.802/89. Trata-se de um importante documento jurídico que abordou temas relevantes relacionados à saúde humana e à proteção ambiental, com destaque para a criação do Sistema de Informação sobre Agrotóxicos (SIA), introdução dos produtos equivalentes, proibição de produtos sem antídotos, criação do Comitê Técnico de Assessoramento para Agrotóxicos (CTA), além do estabelecimento da exigência legal visando a implementação da avaliação de risco destes compostos, tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente. Em relação à avaliação de risco ambiental, vale ressaltar que apesar da publicação da legislação em 2002, até o momento ainda não houve a implantação efetiva desta importante ferramenta de gerenciamento dos riscos advindos do uso de pesticidas. Em um país com dimensões continentais como o Brasil, onde existe uma diversidade de cenários originados da combinação agricultura e meio ambiente, a avaliação do impacto de pesticidas utilizando apenas estudos de monitoramento teria um custo proibitivo. Assim, o desenvolvimento de ferramentas computacionais, como os modelos matemáticos, é de extrema importância no processo de avaliação do risco, pois permite uma avaliação mais abrangente dos diferentes cenários em que se insere determinada molécula.

Embora o Brasil, atualmente, seja o líder mundial do uso de agrotóxicos, não existem evidências suficientes que permitam concluir que os diversos compartimentos ambientais brasileiros estejam contaminados ou em processo de contaminação. Com essa lacuna de informações sobre a qualidade de nosso ambiente, comumente cria-se um panorama de incertezas no que diz respeito à saúde pública e à proteção do meio ambiente. Cenários internacionais indicam que muitas regiões agrícolas apresentam um nível de contaminação bastante elevado. Entre alguns exemplos, podem ser citados os níveis elevados de atrazina nos aquíferos dos Estados Unidos da América (BARBASH et al., 1999), como também os níveis elevados de nitratos nas águas superficiais

e subterrâneas em toda a Comunidade Europeia. (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2007).

## **2. Cenários regionais de contaminação ambiental por agrotóxicos e nitrato**

Como grande parte dos agrotóxicos aplicados no solo e na planta tende a se deslocar principalmente para as águas superficiais e subterrâneas, como também para a atmosfera, os estudos se concentraram nos dois primeiros compartimentos, com a geração de diversas publicações.

As investigações, no entanto, não têm identificado cenários de contaminação no ambiente agrícola, mas somente a presença dos agrotóxicos e nitrato em concentrações muito baixas ou até mesmo ausentes. Muitos fatores concorrem para a dissipação de agrotóxicos no ambiente, levando à mineralização completa da molécula ou gerando outros produtos como metabólitos e produtos de degradação.

A seguir são apresentados relatos de várias ocorrências de agrotóxicos e de nitrato nas cinco regiões brasileiras, com ênfase para as áreas rurais, como forma de alerta de um cenário que, se ainda não é alarmante, remete à necessidade de reflexão e de tomada de atitude no sentido de evitar que se torne crítico em um futuro relativamente próximo.

### **2.1. Região Sudeste**

Nesta região como em todas as demais do país, existem informações limitadas sobre a presença de agrotóxicos nos solos, nas águas superficiais e subterrâneas (aquíferos). Os relatos mais antigos referem-se aos compostos organoclorados, facilmente detectáveis em função da meia vida longa aliada à simplicidade (moléculas menos complexas) de sua composição química. Assim é que, os produtos hoje encontrados (1,2,3,4,5,6,-hexaclorociclohexano - BHC , Dicloro-Difenil-Tricloroetano - DDT e Aldrin), tanto no solo quanto na água subterrânea, são resultantes das aplicações sucessivas na cafeicultura

durante as décadas de 50, 60 e 70. Os estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná são os que mais apresentam casos de ocorrência de organoclorados, em função da predominância da cultura do café nestas regiões no período em que o uso dos organoclorados ainda era permitido (CORBI et al., 2006; PERES; MOREIRA, 2007; FLORES, 2000). No entanto, alguns estudos indicam o uso indevido de tais produtos atualmente, principalmente nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

Para Peres e Moreira (2007), no entanto, compostos organoclorados como o DDT, BHC e Lindano ainda são usados na região Serrana do Rio de Janeiro, principalmente em olerícolas, contrariando a legislação atual relativa ao uso de agrotóxicos.

No caso do estado de São Paulo, estudos realizados por Corbi et al. (2006) em sedimentos de 11 córregos da região central, em áreas com cultivo de cana-de-açúcar, pastagem e mata ciliar, com abrangência dos municípios de São Carlos, Araraquara, Ribeirão Bonito, Ibaté, Dourado e Américo Brasiliense, identificaram a presença de 16 organoclorados. Entre tais produtos, destacaram-se Aldrin, BHC, Endrin, DDT, Endossulfan I, Endossulfan II e Sulfato. O Aldrin esteve presente no sedimento de todos os córregos e em altas concentrações, de acordo com os valores de referência do Conselho Nacional Do Meio Ambiente (2009). Os valores para este produto variaram de 7,14 no córrego Andes (pastagem) até 1787  $\mu\text{g kg}^{-1}$  no córrego do Ouro (cana-de-açúcar). No entanto, os maiores valores e ocorrências foram observados nos córregos situados em áreas adjacentes ao cultivo de cana-de-açúcar. Os resultados obtidos para o composto BHC (alfa, beta e delta) evidenciaram que os córregos com atividade canavieira no entorno apresentaram maiores quantidades e ocorrências desses compostos. Os valores variaram de 1,75  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de alfa BHC no córrego Chibarro (cana-de-açúcar) até 93,8  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de delta BHC para o mesmo córrego. O composto Endrin, que pertence à classe toxicológica I (altamente tóxico), é um inseticida com uso frequente nas culturas de cana-de-açúcar, algodão, milho e soja e que possui efeitos tóxicos

similares ao do Aldrin e Dieldrin. Este composto apresentou valores que variaram entre  $1,16 \mu\text{g kg}^{-1}$  e  $31,7 \mu\text{g kg}^{-1}$  e foi detectado em todos os córregos com atividade canavieira no entorno. Os produtos organoclorados Endossulfan I e Endossulfan II, juntamente com DDT e seus análogos Dicloro-difenil-dicloroetano (DDD) e Dicloro-difenil-clorofeniletieno (DDE) estiveram presentes em concentrações variáveis, porém baixas, em todos os córregos estudados. Já o agrotóxico Endossulfan Sulfato, principal metabólito do Endossulfan I e Endossulfan II, esteve presente em todos os córregos estudados, em altas concentrações e em maiores quantidades em relação aos isômeros I e II. No entanto, devido a alta persistência desses produtos no ambiente, com meia vida longa, é possível que parte dos mesmos tenha relação direta com a atividade cafeeira dos anos 50 e 60, muito presente na região de Ribeirão Preto, apesar do declínio acentuado da produção brasileira após a crise mundial de 1929.

Em relação ao estado de Minas Gerais, um estudo realizado por Flores (2000) e Flores et al. (2004), na cidade de Viçosa, interior de Minas Gerais, revelou a presença dos organoclorados BHC e DDT em sedimentos do Ribeirão São Bartolomeu. Nas amostras de águas, deste mesmo ribeirão, encontrou-se a presença de Heptacloro epóxido, Endrin e DDT. Os organoclorados encontrados nas águas haviam sido detectados anteriormente em outro estudo, neste mesmo local, porém em níveis superiores àqueles permitidos no Brasil, principalmente no solo, com variação de valores entre  $10$  e  $19 \mu\text{g kg}^{-1}$  (CHAGAS et al., 1999). Para os produtos Hexaclorociclohexano total (HCH), DDT, DDD e DDE totais, por exemplo, a Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo - CETESB adota o valor de  $9 \mu\text{g kg}^{-1}$ , considerado como Nível de Máximo Risco Aceitável (NMRC) para o compartimento solo, de acordo com recomendações da Holanda (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2002).

No caso do estado do Paraná, de acordo com Lichi (2001), foram empregadas nas plantações de café, durante décadas, grandes quantidades de pesticidas organoclorados, como o BHC, e no cultivo do

algodão foram empregados inseticidas clorados com átomos de bromo, compondo a molécula do princípio ativo. O bromo é aqui salientado por ser um elemento pouco abundante na natureza, possuir elevada toxicidade, e que, sob quaisquer condições ambientais, sejam reductoras ou oxidantes, apresenta uma grande mobilidade e possibilidade de dispersão. A aplicação desses pesticidas na cultura do algodão era dirigida para a broca-da-raiz-do-algodoeiro (*Eutinobothrus brasiliensis*) e para o bicudo (*Anthonomus grandis*), responsáveis por grandes danos na lavoura, principalmente quebra de safra. Medeiros et al. (1984) *apud* Lichi (2001) investigaram a presença de resíduos de 10 princípios ativos (BHC, DDT, Lindano, Clordano, Aldrin, DDE, Endrin, Dieldrin, DDD e Heptachloro) nas águas in natura, lodo in natura, lodo decantado na estação de tratamento d'água e na água tratada em 16 municípios, com distribuição geográfica representativa do Paraná, e identificaram que os inseticidas organoclorados se acumularam nos sedimentos de fundo e nos materiais em suspensão.

A presença dos compostos organoclorados nas águas superficiais muito provavelmente tem relação com a atividade cafeeira que foi intensiva nessas regiões.

Em épocas mais recentes, com a proibição dos compostos organoclorados, uma grande diversidade de moléculas de diferentes grupos químicos passou a ser utilizada na agricultura. Estes pesticidas apresentam meia vida mais curta e composição química mais complexa, o que lhes confere maior dificuldade de serem detectados no ambiente. Assim, os novos pesticidas passaram, também, a ser mais investigados, principalmente em áreas de agricultura intensiva e localizadas próximas aos cursos d'água, como também em áreas compreendidas como frágeis, a exemplo das porções de recarga de aquíferos – grandes reservas de água subterrânea.

Na água subterrânea, principalmente em aquíferos, conhece-se mais sobre a ocorrência de pesticidas a partir de um estudo na região de Ribeirão Preto/SP. Nesse município, uma pesquisa realizada para identificação de determinados herbicidas, principalmente dos grupos

das triazinas e das amino-ureias, seguida da avaliação de risco em uma microbacia (Córrego Espreado) de uso intensivo com cana-de-açúcar, mostrou que alguns deles podem comprometer a qualidade da água subterrânea por apresentarem elevado potencial de lixiviação até o lençol freático, e especialmente quando aplicados em solos arenosos, a exemplo dos Neossolos Quartzarênicos (EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 1998; EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 1999; GOMES et al., 2001; MATALLO et al., 2003; PESSOA et al., 2003). Nesse estudo, os produtos com maior potencial de deslocamento (lixiviação) foram detectados em concentrações abaixo do nível crítico definido para padrão de potabilidade, se considerado o limite de  $0,1\mu\text{g L}^{-1}$  por pesticida, estabelecido pela Comunidade Econômica Europeia (CEE), de acordo com Altenburger (1993). Ainda nesse estudo foi utilizado um modelo de simulação, tipo *screening*, que projetou cenários de risco de contaminação para moléculas com alto potencial de lixiviação em um espaço de tempo de 16 anos a partir de aplicações anuais sucessivas (PESSOA et al., 2003).

Filizola et al. (2002), ao avaliarem o uso de agrotóxicos na região de Guaíra/SP, concluíram que todos eles não oferecem riscos para a água subterrânea, uma vez que os solos são bastante profundos e com grande capacidade de retenção. Porém, isso não invalida a necessidade de estudos mais longos e detalhados na região.

Estudo realizado no Parque Estadual Terras Alto Ribeira (PETAR) localizado no Vale do Ribeira/SP, por Elfvendahl citado por Tomita (2002), analisou amostras de água, sedimento e peixe no período das chuvas, em janeiro de 2000 e seus resultados indicaram que a fauna do PETAR está exposta a diferentes agrotóxicos que se encontram dissolvidos na água ou presentes no sedimento, sendo que dos 20 agrotóxicos detectados na água, sete foram considerados altamente tóxicos para peixes e outros organismos aquáticos e os demais foram considerados moderadamente tóxicos.

No estado do Rio de Janeiro as atividades agrícolas estão concentradas na região serrana, com a presença constante de situações de risco

de contaminação ambiental por agrotóxicos. Na região se destaca, entre outras, a produção de tomate, particularmente nos Municípios de Nova Friburgo, Paty do Alferes, Bom Jardim, Santo Antônio de Pádua, Sumidouro e Teresópolis. No município de Paty do Alferes, por exemplo, a atividade olerícola intensiva tem favorecido a presença e mesmo a contaminação da água por agrotóxicos, tanto superficial quanto subterrânea. Trabalhos desenvolvidos por Veiga et al. (2005) mostraram contaminação por organofosforados e carbamatos nas águas em áreas cultivadas com tomate.

Em Nova Friburgo, em estudo realizado na zona rural foi observado que a dispersão de agrotóxicos no ambiente, em particular nos recursos hídricos, ocasionava impacto significativo na ocorrência e distribuição de espécies animais. Nesse estudo, de acordo com Moreira et al. (2002), os organismos associados ao compartimento coluna d'água se mostravam afetados mais diretamente (táxons de hábitos natatórios e aqueles que vivem fixados a pedras). Outro estudo realizado em localidade agrícola de Nova Friburgo, de acordo com Alves e Oliveira-Silva (2003), detectou concentrações de agrotóxicos anticolinesterásicos em valores até oito vezes acima do limite permitido pela legislação brasileira (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1986) em dois pontos de um importante curso hídrico regional, pontos estes localizados em áreas onde a atividade agrícola era mais intensiva, com as lavouras chegando até às margens do rio.

Com o  $\text{NO}_3^-$  não é diferente, principalmente nas culturas que exigem altas doses de nitrogênio. Uma vez no solo, o nitrogênio sofre um processo biológico denominado nitrificação e forma nitrato, principalmente em meio ácido ( $\text{pH} < 5$ ).

Em Ribeirão Preto/SP, por exemplo, em áreas de cultivo intensivo de cana-de-açúcar, foram detectadas concentrações de  $\text{NO}_3^-$ , que não atingiram o nível crítico ( $10 \text{ mg L}^{-1}$ ) em amostras analisadas pelo Departamento de Água e Esgoto (DAERP) no período 1999-2001 (EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 2002).

Um estudo mais detalhado em vários poços profundos do estado de São Paulo no período compreendido entre 1992 e 1997 mostrou a situação do nitrato, embora não tenha sido possível avaliar se sua origem está diretamente relacionada às atividades urbanas ou rurais, ou a ambas (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1997).

Quando se trata de aquíferos menos profundos, a exemplo do Bauru que é do tipo livre, onde a recarga é direta, os riscos de contaminação da água subterrânea são elevados. De acordo com Modesto et al. (2010) a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) realiza desde 1990 um monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Bauru no estado de São Paulo. Os pontos de monitoramento incluem 61 poços de abastecimento público, localizados nas Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos - UGRHIs 15 a 22. Esse aquífero, por comportar-se principalmente como um aquífero livre e possuir grande área de afloramento no estado, apresentou em 16,4% dos seus poços, concentrações acima do valor de intervenção ( $10 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ ) e 46% deles ultrapassaram o valor de prevenção ( $5 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ ) em pelo menos uma amostra no período de 2007 a 2009. As concentrações mais elevadas de nitrato ocorrem nas UGRHIs 19 e 20. As UGRHIs 15, 16, 18 e 20 mostram tendência de aumento ao longo dos 12 anos de monitoramento. Diante do exposto, faz-se necessário, nas áreas urbanizadas e de expansão urbana, a melhoria das redes públicas de coleta e tratamento de esgotos. Já nas áreas rurais, é necessária a definição de critérios de aplicação de insumos agrícolas nitrogenados, sejam estes de origem sintética ou de derivados de resíduos e efluentes industriais ou domésticos.

Para Casagrande (2009), concentrações de  $\text{NO}_3^-$  em águas subterrâneas, a partir de análises químicas realizadas em poços localizados em áreas rurais da bacia do Tietê-Jacaré, encontram-se abaixo do limite do padrão de potabilidade para este parâmetro. Assim, de acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, conclui-se que, de modo geral, as águas subterrâneas da bacia do Tietê-Jacaré apresentam boa qualidade para consumo humano e devem ser protegidas para essa



finalidade. Entretanto, para alguns poços, os valores de concentrações ultrapassam um valor de alerta ( $5 \text{ mg L}^{-1}$ ), indicando alteração do equilíbrio natural, principalmente por influência antrópica. Apesar da boa qualidade da água subterrânea no monitoramento regional quanto ao parâmetro  $\text{NO}_3^-$ , deve-se ressaltar que a CETESB constatou a existência de uma nítida tendência de aumento das concentrações de  $\text{NO}_3^-$  nas águas subterrâneas ao longo do tempo no estado de São Paulo, indicando a necessidade de ações de prevenção à poluição por  $\text{NO}_3^-$ .

Deve-se ressaltar que os tipos de atividades agrícolas que geram contaminação difusa mais preocupante para as águas subterrâneas são aquelas relacionadas a extensas áreas de monocultura. Além do mapeamento das áreas com maior vulnerabilidade à contaminação por  $\text{NO}_3^-$ , torna-se necessário, também, o desenvolvimento de um inventário de aplicação de fertilizantes e resíduos agroindustriais no solo, para uma estimativa mais precisa do potencial gerador de carga contaminante da atividade agrícola no subsolo.

Devido às incertezas quanto à origem do nitrato nas águas subterrâneas na bacia do Tietê-Jacaré é necessária a realização de um monitoramento contínuo e estudos futuros mais aprofundados, inclusive sobre a influência do fraturamento dos basaltos na recarga do Aquífero Guarani, de maneira a identificar melhor a sua vulnerabilidade e traçar estratégias para a sua proteção. Verifica-se a necessidade de ampliação do número de pontos de monitoramento, principalmente nos Aquíferos Bauru e Serra Geral, considerando que é grande a carga contaminante potencial (principalmente de origem agrícola) em suas áreas de ocorrência na bacia, onde há poucos ou nenhum ponto de amostragem. Verifica-se também a necessidade de fiscalização e manutenção adequada dos poços tubulares, que, se não forem construídos segundo normas técnicas específicas e em locais apropriados, podem transformar-se em caminho preferencial para poluentes.

Em síntese, existem muitos relatos sobre a presença de nitrato na água subterrânea no estado de São Paulo, porém, quase todos os estudos

e levantamentos realizados pelos diversos órgãos e instituições de pesquisa indicam que o nitrato tem sua origem relacionada aos esgotos urbanos e, em alguns casos, ao material de origem (substrato rochoso).

## 2.2 Região Sul

No estado do Rio Grande do Sul, estudos realizados por Mattos et al. (2002) têm mostrado a presença de glifosato em lavouras de arroz irrigado com água proveniente da Lagoa Mirim em concentrações acima de  $7 \mu\text{g L}^{-1}$ , que é o valor máximo permitido pela Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA). Outras regiões orizícolas da região sul também têm apresentado resíduos de agrotóxicos em seus mananciais.

Mattos et al. (2011) ao realizarem estudos de monitoramento de agrotóxicos em áreas piloto da produção integrada de arroz irrigado na planície costeira externa e fronteira oeste do Rio Grande do Sul, no período 2007/2008, encontraram resíduos de 3 hidroxicarbofurano, clomazona, cialofope butílico, 2,4-D, azoxistrobina, bentazona, difenoconazol, edifenfós, etoxissulfurom, fipronil, glifosato, imazetapir, mancozebe, oxadiazona, oxifluorfen, penoxsulam, propanil, tebuconazol, tetraconazol, tiabendazol, tiobencarbe. Destes, onze pertencem à classe de herbicida, dois à de inseticida e sete à de fungicida. Glifosato e 2,4-D foram detectados em concentrações inferiores aos limites estabelecidos pelo CONAMA. Ainda, de acordo com os mesmos autores, resíduo do herbicida 2,4-D também foi detectado em uma área piloto (AP) da Produção Integrada de Arroz (PIA), localizada na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul na safra agrícola de 2006/2007, na concentração de  $0,001 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo. A adsorção do 2,4-D é mais forte em solos argilosos e ricos em matéria orgânica, característica do solo da AP onde a amostra foi coletada (MATTOS et al., 2007).

Silva et al. (2009) detectaram resíduos de diversos agrotóxicos nos períodos após a drenagem das lavouras, indicando que esta técnica deve ser aperfeiçoada a fim de evitar a contaminação dos corpos d'água que recebem a água da lavoura. Neste mesmo estudo foi observado que as lavouras de Santa Catarina apresentam o mesmo

padrão de contaminação verificado no Rio Grande do Sul. Os estudos disponíveis mostram que resíduos de agrotóxicos provenientes da água de drenagem das lavouras de arroz são encontrados em todas as regiões produtoras do Rio Grande do Sul, incluindo a Depressão Central (MARCHESAN et al., 2010) e a região sul do Estado (GRUTZMACHER et al., 2008). A cultura do arroz irrigado, por sua peculiaridade de inundar as áreas de cultivo, apresenta um risco potencial de contaminação dos mananciais e, por esta razão, os estudos para a adequação destes sistemas de produção devem ser priorizados.

Para Silva et al. (2011), em todas as regiões orizícolas do Sul do Brasil verifica-se a presença de ao menos um agrotóxico ocorrente em águas subterrâneas. Fipronil é o agrotóxico detectado em maior número de amostras, seguido de imazetapir, clomazone, imazapique e quincloraque. Os agrotóxicos penoxsulam, carbofurano, 3-hidroxi-carbofuran e tebuconazole não foram detectados neste estudo. Apenas as concentrações de fipronil ultrapassaram os limites de potabilidade proposto pela Comunidade Europeia, ocorrendo em 27% das amostras de águas subterrâneas. As concentrações dos agrotóxicos detectadas em águas subterrâneas são baixas, sendo necessário realizar trabalhos de análise de risco ambiental desses agrotóxicos nesses níveis de contaminação. Segundo, ainda, os mesmos autores, nas regiões da Planície Costeira Interna à Laguna dos Patos e Santa Catarina pode-se averiguar que a totalidade das amostras monitoradas continha a presença de ao menos um agrotóxico; as regiões da Fronteira Oeste, Depressão Central e Planície Costeira Externa à Laguna dos Patos apresentaram 89% das amostras contaminadas com agrotóxicos, e as regiões da Campanha e Sul do Rio Grande do Sul apresentaram 78 e 63%, respectivamente, das amostras contaminadas com, ao menos, um agrotóxico.

É importante salientar que para muitas moléculas detectadas nos estudos mencionados ainda não existem valores de referência na legislação brasileira para níveis aceitáveis, seja para potabilidade, seja para manutenção da qualidade da água de acordo com o

enquadramento dos corpos de água. Desta forma, não é possível estabelecer com clareza um panorama da qualidade dos recursos hídricos, uma vez que os efeitos deletérios causados por pesticidas à saúde humana e ao meio ambiente são dependentes das concentrações observadas em cada um dos compartimentos ambientais. Além disso, estudos de monitoramento conseguem avaliar apenas uma proporção muito pequena da diversidade de cenários gerados a partir da combinação do meio ambiente e agricultura. Neste contexto, a avaliação do risco ambiental, utilizando modelos matemáticos, é de extrema importância, pois permite a avaliação de um conjunto de cenários que não seria possível por meio exclusivamente de monitoramentos. A legislação brasileira, decreto 4.074, de 04 de janeiro de 2002, estabeleceu procedimentos para a implementação da avaliação do risco ambiental, porém, por motivos diversos, ainda não houve a finalização da regulamentação, com a consequente implementação da avaliação do risco ambiental para pesticidas.

Em relação ao nitrato, estudos desenvolvidos por Kaiser (2006), mostraram sua presença em quantidades consideráveis, tanto no solo quanto na água em área cultivada com fumo no distrito de Nova Boêmia, município de Agudo/RS, sob os sistemas de Cultivo Mínimo (CM), Plantio Convencional (PC) e de Plantio Direto (PD). Os níveis mais altos foram obtidos no CM e os menores no PD. Os teores médios de nitrato na zona radicular foram de 75 no PD, 95 no CM e 49 mg L<sup>-1</sup> no PC. Abaixo da zona radicular os teores médios foram de 58 no PD, 108 no CM e 36 mg L<sup>-1</sup> de nitrato no PC. O solo nas transições apresentou baixa densidade, baixa capacidade de armazenamento de água, alta porosidade e alta condutividade hidráulica saturada. O nitrato atingiu profundidades abaixo da zona de exploração radicular (0,5m). Os teores de nitrato foram superiores nas lavouras em relação ao campo e à mata nativa, atingindo 80 mg L<sup>-1</sup> nas áreas com fumo. A fonte (poço) que se encontrava abaixo das lavouras de fumo teve maiores concentrações de nitrato, superando o limite crítico de 10 mg L<sup>-1</sup> em alguns períodos.

Estudos realizados por Dorigon et al. (2008) sobre a avaliação da

qualidade da água do rio Ditinho, localizado em Xanxerê/SC, e que serve de manancial de abastecimento para a população deste município, indicaram teores médios de nitrato da ordem de  $4,3 \text{ mg L}^{-1}$ , nitrogênio amoniacal da ordem de  $6,6 \text{ mg L}^{-1}$ , estando assim em desconformidade para os rios de classe 2, de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005). De forma conclusiva, o autor considera que tais concentrações citadas acima, em especial na área de nascente, estão associadas ao manejo inadequado de dejetos animais e à intensa ocupação e uso do solo para a agricultura na microbacia estudada.

## 2.3 Região Norte/Nordeste

Na região amazônica, o comprometimento da qualidade da água, de uma forma global, está diretamente relacionado à possibilidade do avanço da agricultura com uso mais intensivo de agroquímicos, principalmente na cultura da soja. Ainda não existem estudos ou qualquer tipo de monitoramento que evidenciem uma situação preocupante na região. Todavia, a pesquisa agropecuária necessita atuar de forma mais pragmática no sentido de se posicionar frente aos avanços da fronteira agrícola na região, apresentando propostas de uso mais racional, com equilíbrios ambiental, econômico e social.

Na região norte, por exemplo, os riscos de contaminação da água subterrânea concentram-se, principalmente, na porção nordeste do Pará, onde a monocultura de soja avança sobre todos os tipos de solos, principalmente na região de Paragominas. Este cenário coloca o Aquífero Itapecuru (livre), representativo da região, em situação de alerta, uma vez que as condições atuais de ocupação e manejo do solo indicam possíveis interferências, com alterações nesse manancial subterrâneo, tanto sob o aspecto qualitativo como também quantitativo. Ainda no estado do Pará, existe um cenário preocupante na região de Igarapé-Açu, especificamente na Bacia Hidrográfica do Igarapé Cumaru, onde se utiliza uma carga expressiva de agrotóxicos sem controle, vários deles com alto potencial de lixiviação e de transformação em compostos mais tóxicos do que as moléculas originais. Trabalhos realizados por Lima (2003), na região de Igarapé-Açu, por exemplo, indicaram que o inseticida/acaricida

dimetoato pode chegar ao lençol freático e comprometer a qualidade de água do aquífero freático do Grupo Barreiras. Na região do médio rio Guamá, envolvendo a bacia do rio Capitão Pocinho, Araújo et al. (2011) observaram que os pesticidas como a Atrazina, Glifosato, Diuron, Hexazinona, 2,4-D, Etiona, Fenpropatrina, Difenoconazole, Triclofon, Clorpinifos, Bifentrina, Diazinona, Metidationa, dentre outros classificados como altamente tóxicos, são aplicados em valores variáveis. Nesta área, a citricultura está sendo desenvolvida há cerca de uma década e meia.

Na região nordeste o cenário torna-se ainda mais crítico, principalmente devido ao uso intensivo, envolvendo sistemas de produção de frutas para exportação. Toda a região do Vale do Submédio Rio São Francisco está sob esse sistema, com a utilização de pivôs de irrigação. Um sistema como esse, com atuação por tempo prolongado, sem maiores controles da qualidade e quantidade de água usada, pode favorecer o aparecimento de dois problemas básicos: a) diminuição da disponibilidade de água do rio para outros fins mais nobres, e, b) salinização/contaminação do solo, afetando sensivelmente a produtividade e a água do lençol freático, que é muito raso em toda região.

Outra região que merece atenção particular é a de ocorrência dos aquíferos Serra Grande (predominantemente confinado) e Poti-Piauí (livre). O primeiro apresenta um cenário de alerta quanto ao aspecto quantitativo, uma vez que se tem observado desperdício de água em toda a região sul do Piauí. Do ponto de vista qualitativo, a salinidade, por enquanto, é o maior problema, principalmente na região de ocorrência de suas áreas de recarga, situadas a leste/sudeste do Estado, especialmente na região de Picos (EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 2003). No caso do segundo aquífero, tipicamente freático ou livre, o cenário envolve aspectos qualitativos e quantitativos. Sob o aspecto qualitativo, existe uma situação de risco, dada a presença de intensa atividade de fruticultura, principalmente manga e limão que requerem quantidade considerável de insumos. Sob o aspecto quantitativo, a

irrigação dessas mesmas frutas passa a ser o cenário mais crítico, principalmente pela exploração descontrolada da água subterrânea.

Conforme Araújo et al. (2000), estudos realizados em Pernambuco para a cultura de tomate, comprovaram a ocorrência do emprego preventivo dos agrotóxicos gerando outros problemas, dentre eles a necessidade de uso crescente de novos produtos e misturas; além disto, constataram que há carência de ações que visem à proteção da saúde dos trabalhadores rurais que lidam com agrotóxicos bem como de medidas contra os danos ambientais.

Na Bahia, o cenário mais crítico está relacionado ao Aquífero Urucuia, região oeste do Estado. Com a expansão das atividades agrícolas, principalmente soja e algodão, vários municípios tiveram um crescimento acima da média do Estado e, com isso, o crescimento do consumo de água, não só para abastecimento urbano, mas também para as lavouras irrigadas; estas, muitas vezes com utilização de água subterrânea. Estudos realizados por Pimentel et al. (2000), mostraram que a recarga líquida do Aquífero Urucuia pelas águas das chuvas na região é de apenas 20%, cerca de 258,5 mm/ano. O estudo teve por base a obtenção de histogramas no período de 1984 a 1995.

Com o desmatamento e plantio de grãos, a recarga do Aquífero Urucuia tende a diminuir, afetando não só a sua reserva, mas também o volume da água de diversos cursos d'água, já que muitos deles dependem do próprio aquífero em questão. Praticamente, todos os afluentes da margem esquerda do Rio São Francisco, tendo o Rio Grande como principal tributário, dependem do armazenamento de água nos arenitos da Formação Urucuia (Aquífero Urucuia) associados às rochas pelíticas fraturadas do Grupo Bambuí.

Do ponto de vista qualitativo, existe uma situação de risco de contaminação, uma vez que o cultivo intensivo de grãos, o qual exige alta entrada de insumos, ocorre em área de recarga do Aquífero Urucuia.

Em relação ao nitrato de origem agrícola, existe um cenário preocupante, principalmente no nordeste do Pará, região do médio rio Guamá. De acordo com Araújo et al. (2011), em todos os poços rasos analisados existem evidências do processo de nitrificação em 60% deles. Em 30% da área pesquisada, os teores de nitrato são superiores a  $2 \text{ mg L}^{-1}$ . A atividade agrícola intensiva, principalmente o cultivo da laranja na bacia do rio Capitão Pocinho, afluente do rio Guamá, tem sido a principal responsável pelo cenário de aumento progressivo do teor de  $\text{NO}_3^-$ , tanto nas águas superficiais quanto subterrâneas.

## 2.4. Região Centro-Oeste

Com relação às águas subterrâneas na região Centro-Oeste foram consideradas três áreas que, a princípio, apresentaram cenários mais críticos em relação a uma possível situação de risco de contaminação do lençol freático.

A primeira delas refere-se às porções de recarga do Aquífero Guarani no chamado *Domínio Pedomorfoagroclimático das Nascentes do Araguaia*, conforme Gomes et al. (2002), Gomes et al. (2006) e Gomes et al. (2008). Estudos realizados na região no período 1999-2001 mostraram que existe uma forte pressão de ocupação agrícola das áreas de recarga, principalmente pelas culturas de soja e milho, cujos solos são bastante arenosos.

A segunda região, localizada no estado do Mato Grosso, apresentou uma redução entre 40 e 50% dos teores de matéria orgânica dos solos cultivados em relação aos solos virgens, devido ao uso e manejo do solo ao longo de 12 anos nas nascentes do rio Paraguai (Alto Pantanal). Ao mesmo tempo, tais áreas foram submetidas a cultivos intensivos com exigências, tanto de adubos e fertilizantes quanto de agrotóxicos. Este cenário mostra uma situação de risco para o lençol freático, uma vez que a matéria orgânica atua como “tampão” ou mecanismo de retenção de compostos químicos (RIEDER et al., 2000). Além do risco de contaminação das águas subterrâneas, esta região também apresenta risco à contaminação das águas superficiais. Diferentes ingredientes ativos têm sido detectados nas amostras de



água da região nordeste da bacia do Pantanal (LAABS et al., 2002). A maioria das amostras apresentou concentrações de agrotóxicos abaixo dos limites estabelecidos pela Comunidade Europeia e Estados Unidos (USEPA); porém, deve-se destacar que os mananciais das áreas agrícolas desta região são drenados para a região do Pantanal, onde também já foram detectados resíduos de agrotóxicos em suas águas. As concentrações observadas são consideradas baixas, mas como o bioma é extremamente frágil, estudos adicionais devem ser conduzidos para assegurar a integridade biótica da região.

A terceira região localiza-se na porção leste do estado de Mato Grosso, onde Dores et al. (2001) verificaram o potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas numa área agrícola em Primavera do Leste, a partir do levantamento e análise de parâmetros físicos e químicos do solo e de 29 agrotóxicos, demonstrando o risco potencial que cada composto estudado apresentava naquele ambiente. No grupo avaliado, os agrotóxicos metomil, triadimefon atrazina, metribuzin, simazina, clorimuron-etílico, imazetapir, flumetsulam, fomezafen, glifosato e metolacloclor apresentaram maior mobilidade pelo índice de GUS – índice de lixiviação de pesticidas proposto por Gustafson (1989). Esta informação reforça a necessidade da implantação de programas de monitoramento de agrotóxicos em solo e água, uma vez que constantemente são identificados cenários com risco de contaminação destes compartimentos.

Ainda na região de Primavera do Leste, estudos desenvolvidos por Dores et al. (2002) e Dores et al. (2006) em áreas sob cultivo intensivo de algodão, milho e soja indicaram a presença de alguns herbicidas na água subterrânea da região, normalmente usada para consumo humano. Alguns resultados indicaram que o mais alto nível de contaminação em uma amostra de água foi  $1,732 \mu\text{g L}^{-1}$  para o metolaclocloro, enquanto o metribuzim foi o herbicida mais frequentemente detectado com concentração máxima de  $0,351 \mu\text{g L}^{-1}$ . Todavia, as concentrações encontradas merecem análise mais apurada no sentido de definir os riscos efetivos para a saúde humana, considerando os padrões vigentes

de potabilidade de água.

Em relação ao nitrato de origem agrícola, um levantamento realizado junto às universidades e instituições de pesquisa do Centro-Oeste, mostrou que todos os trabalhos encontrados fazem referência ao nitrato de origem urbana, destacando sua ocorrência em diversos cursos d'água que passam pela sede de vários municípios. Também existem relatos a partir de levantamento da ocorrência de nitrato nas águas já tratadas pelos sistemas de saneamento dos estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Esse cenário mostra a necessidade de estudos específicos, direcionados para a avaliação do nitrato de origem agrícola, não só nas águas fluviais no meio rural, como também no solo, principalmente em áreas de atividade agrícola intensiva que estão em franca expansão na região Centro-Oeste.

### **3. Considerações finais**

Pelo exposto neste trabalho, verifica-se que resíduos de agrotóxicos e de nitratos são frequentemente detectados nos escassos monitoramentos realizados nas diferentes regiões do Brasil. Na grande maioria dos casos, as concentrações encontradas, seja no solo, água ou em organismos, normalmente estiveram abaixo dos valores críticos estabelecidos por agências ambientais da Europa e Estados Unidos. Entretanto, os resultados aqui apresentados devem ser analisados com cautela, pois como já enfatizado, as informações disponíveis não permitem estabelecer um panorama assertivo a respeito da contaminação do solo e da água por agroquímicos.

Ao se tratar de resíduos químicos no ambiente deve-se pensar na saúde dos diversos organismos, entre eles o homem. Nesse aspecto, há de se questionar, ainda, a necessidade de estabelecer padrões aceitáveis (concentração) no ambiente para várias moléculas de compostos

químicos, além de reavaliar os padrões vigentes para muitos deles.

A avaliação de risco ambiental é uma ferramenta muito útil para identificar cenários onde é necessário efetuar a mitigação dos efeitos tóxicos dos agrotóxicos sobre o meio ambiente. Uma vez que os procedimentos para a avaliação de risco estejam implementados, dentro de uma estratégia de gerenciamento de risco, será possível delimitar cenários críticos em que o risco é elevado e estabelecer medidas que reduzam o nível de exposição aos agrotóxicos nos diversos compartimentos do meio ambiente. No que diz respeito ao solo e aos recursos hídricos, medidas como a restrição geográfica de uso, restrição do número de aplicações anuais e estabelecimento de faixas de proteção ("buffer zones") próximas de cursos d'água, apresentam elevada eficácia para reduzir as concentrações de agrotóxicos nestes compartimentos do meio ambiente.

O Brasil possui uma legislação moderna que trata do uso de agrotóxicos, o que possibilita a implementação de diversas iniciativas que poderiam tornar a utilização destas substâncias muito mais seguras para a saúde humana e o meio ambiente, incluindo o solo e a água. Contudo, nota-se que muitas destas iniciativas ainda não foram devidamente implementadas, como é o caso da avaliação de risco. Assim, entende-se que o processo de avaliação de risco ambiental pode trazer à luz do conhecimento, informações complementares e enriquecedoras sobre o real comportamento do produto em campo, agregando informação aos diversos estudos relatados no presente trabalho.

De forma conclusiva, o Brasil necessita dar um passo à frente no que se refere ao controle do uso de agroquímicos na agricultura. A implementação de novas medidas regulatórias para o uso de agroquímicos e o incentivo a pesquisa para geração de informações complementares são fundamentais neste contexto. Este talvez seja o procedimento mais importante, no momento, para a busca da sustentabilidade no meio rural.

## Referências bibliográficas

ALTENBURGUER, R. Pesticides in EC drinking water: limit value may be raised. **Pestizid Brief**, Hamburg, p. 10, Oct. 1993.

ALVES S. R.; OLIVEIRA-SILVA, J. J. Avaliação de ambientes contaminados por agrotóxicos. In: PERES, F.; MOREIRA, J. C. (Org.). **É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente**. Rio de Janeiro: Editora. Fiocruz; 2003. p. 137-156.

ARAÚJO, P. P.; OLIVEIRA, F.de A.; CAVALCANTE, I. N.; QUEIROZ, J. C. B.; CARNEIRO, B. S.; TANCREDI, A. C. F. N. S. Classificação hidroquímica e contaminação por nitrato no aquífero livre Barreiras na bacia do rio Capitão Pocinho região do médio rio Guamá, na Amazônia oriental. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 266-281, 2011.

ARAÚJO, A. C. P.; NOGUEIRA, D. P.; AUGUSTO, L. G. S. Impacto dos praguicidas na saúde: estudo da cultura de tomate. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 309-313. 2000.

BARBASH, J. E.; THELIN, G. P.; KOLPIN, D. W.; GILLIOM R. J. **Distribution of major herbicides in ground water of the United States**. Sacramento: US Geological Survey Water-Resources, 1999. 58 p. (Investigations Report 98-4245). Disponível em: <<http://water.usgs.gov/nawqa/pnsp/pubs/wrir984245/wrir984245.pdf>>. Acesso em 05 fev. 2014.

BRASIL. Lei Federal no 7.802, de 11 de Julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propoganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 jun. 1989. Seção 1, p. 11459. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/17802.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/17802.htm)>. Acesso em: 17 nov. 2013.

BRASIL. Lei federal no 9.974, de 6 de Junho de 2000. Altera a Lei no 7.802, de 11 de Julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 jun. 2000. Seção 1, p. 1. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9974.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9974.htm)> Acesso em: 18 nov. 2013.

CASAGRANDE, L. A. R. **Ocorrência de nitrato nas águas subterrâneas, em áreas rurais da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré**. 2009. 174 f. Dissertação (Mestrado) - UFSCar, São Carlos.

CHAGAS, C. M; QUEIROZ, M. E. L. R; NEVES, A. A; QUEIROZ, J. H; OLIVEIRA, T. T.; NAGEM, T. J. Determinação de resíduos de organoclorados em águas fluviais do município de Viçosa-MG. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 506-508, 1999.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de avaliação sobre a identificação dos focos secundários causados por pesticidas organoclorados em Cidade dos Meninos, município de Duque de Caxias, RJ**. São Paulo, 2002.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. CETESB. São Paulo, 1997. 106 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n.º 20, de 18 de junho de 1986. Estabelece a seguinte classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 jul. 1986. Seção 1, p. 11356.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n.º 420. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença desubstâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 dez. 2009. Seção 1, p. 81.

CORBI, J. J.; STRIXINO, S. T.; SANTOS, A.; DEL GRANDE, M. Diagnóstico ambiental de metais e organoclorados em córregos adjacentes a áreas de cultivo de cana-de-açúcar (estado de São Paulo, Brasil). **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 61-65, 2006.

DORES, E. F. G. C.; NAVICKIENE, S.; CUNHA, M. L. F.; CARBO, L.; RIBEIRO, M. L.; FREIRE, E. M. L. Multiresidue determination of herbicides in environmental waters from Primavera do Leste region (Middle West of Brazil) by SPE-GC-NPD. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 17, n. 5, p. 866–873, 2006.

DORES, E. F. G. C.; DE LAMÔNICA-FREIRE, E. M.; RIBEIRO, M. L. Herbicidas em águas subterrâneas usadas para consumo humano em Primavera do Leste, Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA, 7., 2002, Vitória, ES. **Anais...** Vitória, ES: Ecotox, 2002.

DORES, E. F. G. C.; DE LAMÔNICA-FREIRE, E. M. Contaminação do ambiente aquático por pesticidas. Estudo de Caso: águas usadas para consumo humano em Primavera do Leste, Mato Grosso – Análise Preliminar. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 27-36, 2001.

DORIGON, E. B.; STOLBERG, J.; PERDOMO, C. C. Qualidade da água em uma microbacia de uso agrícola e urbano em Xanxerê-SC. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 2, n.2, p. 105-120, 2008.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE. **Projeto uso atual, aspectos qualitativos e quantitativos e proposta de gestão dos recursos hídricos do Aquífero Serra Grande na Região de Picos, PI: relatório final.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. 24 p.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE. **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani e implicações na qualidade da água subterrânea: relatório técnico.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2002. 38 p.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE. **Projeto uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani e implicações na qualidade da água subterrânea: relatório final.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 36 p.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE. **Projeto impacto ambiental e implicações sócio-econômicas da agricultura intensiva em água subterrânea: relatório final.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1998. 26 p

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Present concentration of nitrate in ground water bodies in European countries, 2003.** Copenhagen, 2007. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/present-concentration-of-nitrate-in-groundwater-bodies-in-european-countries-2003>>. Acesso em: 14 ago. 2012.

FILIZOLA, H. F.; FERRACINI, V. L.; SANS, L. M. A.; GOMES, M. A. F.; FERREIRA, C. J. A. Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guaira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 5, p. 659-667, 2002.

FLORES, A.V. **Determinação de resíduos de organoclorados em águas e sedimentos.** 2000. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FLORES, A. V.; QUEIROZ, M. E. L. R. de; NEVES, A. A.; GOULART, S. M. Extração e análise de organoclorados em sedimentos do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG. **Revista Analytica**, São Paulo, v. 3, n. 13, p. 42-47, 2004.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; PESSOA, M. C. P. Y. Vulnerabilidade natural do solo em áreas agrícolas: subsídio à avaliação do risco de contaminação do lençol freático por agroquímicos. In: GOMES, M. A. F. **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2008. p. 87-98.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A.; PEREIRA, A. S. **Caracterização das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: base para uma proposta de gestão sustentável**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 20 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 52).

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A. Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani e implicações na qualidade da água subterrânea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Perspectivas do agronegócio da soja: anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 36-42.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; LANCHOTTE, V. L. Ocorrência do herbicida tebutiuron na água subterrânea da microbacia do Córrego Espreado, Ribeirão Preto-SP. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 11, p. 65-76. 2001.

GRUTZMACHER, D. D.; GRUTZMACHER, A. D.; AGOSTINETTO, D.; LOECK A. E.; ROMAN R.; PEIXOTO, S. C.; ZANELLA R. Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 632-637, 2008.

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

KAISER, D. R. **Nitrato na solução do solo e na água de fontes para consumo humano numa microbacia hidrográfica produtora de fumo**. 2006. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.



LAABS, V.; AMELUNG, A.; PINTO, A. A.; WANTZEN, M.; SILVA, C. J.; ZECH, W. Pesticides in surface water, sediment, and rainfall of the northeastern Pantanal basin, Brasil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, n. 5, p. 1636-1648, 2002.

LICHI, O. A. B. **A geoquímica multielementar na gestão ambiental: identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no Estado do Paraná, Brasil.** 2001. 209 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LIMA, L. M. **Avaliação experimental da mobilidade do dimetoato na zona saturada em áreas de agricultura intensiva na bacia hidrográfica do Igarapé Cumaru, município de Igarapé-Açu (PA).** 2003. 81 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Pará, Belém.

MARCHESAN, E.; SARTORI, G. M. S.; AVILA, L. A.; MACHADO, S. L. O. M.; ZANELLA, R.; PRIMEL, E. G.; MACEDO, V. R. M.; MARCHEZAN, M. G. Resíduos de agrotóxicos na água de rios da depressão central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 123-127, 2010.

MATALLO, M. B.; LUCHINI, L. C.; SPADOTTO, C. A.; CERDEIRA, A. L.; MARIN, G. C. Lixiviação dos herbicidas tebutiuron e diuron em colunas de solo. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 13, p. 83-90, 2003.

MATTOS, M. L. T.; MARTINS, J. F. S.; NUNES, C. D. M.; MOURA NETO, F. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.; PETRINI, J. A.; SANTOS, I. B. **Monitoramento de agrotóxicos em áreas piloto da produção integrada de arroz irrigado na planície costeira externa e fronteira oeste do Rio Grande do Sul.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. 4 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 197).

MATTOS, M. L. T. MARTINS, J. F. da S.; NUNES, C. D. M.; SCIVITTARO, W. B.; MOURA, F. Monitoramento de agroquímicos em áreas de produção integrada de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO INTEGRADA, 1., 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2007. 1 CD-ROM.

MATTOS, M. L. T.; PERALBA, M. C. R.; DIAS, S. L. P.; PRATA, F.; CAMARGO, L. Monitoramento ambiental do glifosato e do seu metabólito (ácido aminometilfosfônico) na água de lavoura de arroz irrigado. **Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 12, p. 143-154, 2002.

MODESTO, R. P.; BARBOUR, E. D. A.; LEMOS, M. M. G.; TOFFOLI, F. F.; COSTA DO VALE, F. R.; RUBY, E. C.; OHBA, M. S.; CAMARGO, G. G.; MORENO, F. N.; RODRIGUES, P. F. Concentrações de nitrato nas águas do Aquífero Bauru – Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16.; ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 17., 2010. São Luís, MA. **Anais...** São Luís: ABAS, 2010. 12 p.

MOREIRA, J. C.; JACOB, S. C.; PERES, F.; LIMA, J. S.; MEYER, A.; OLIVEIRA-SILVA, J. J. Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em uma comunidade agrícola de Nova Friburgo/RJ. **Ciência e Saúde Coletiva**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 299-311, 2002.

OLIVEIRA, S. S. **O papel da avaliação de riscos no gerenciamento de produtos agrotóxicos: diretrizes para a formulação de políticas públicas.** 2005. 236 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-28062005-101218/pt-br.php>>. Acesso em: 16 ago. 2012.

PERES, F.; MOREIRA, J. C. Saúde e ambiente em sua relação com o consumo de agrotóxicos em um polo agrícola do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, supl. 4, p. S612-S621, 2007.

PESSOA, M. C. P. Y.; GOMES, M. A. F.; NEVES, M. C.; CERDEIRA, A. L.; SOUZA, M. D. Identificação de áreas de exposição ao risco de contaminação de águas subterrâneas pelos herbicidas atrazina, diuron e tebutiuron. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.13, p.111-122, 2003.

PIMENTEL, A. L.; AQUINO, R. F.; SILVA, R. C. A.; VIEIRA, C. M. B. Estimativa da recarga do Aquífero Urucuia na sub-bacia do rio das Fêmeas – oeste da Bahia, utilizando separação de histogramas. In: CONGRESSO SOBRE APROVEITAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM PAÍSES DE IDIOMA PORTUGUÊS, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SRH: COGESP: GERIN, 2000. 11 p.

RIEDER, A.; DORES, E. F. G. C.; HIGA, N.; MORAES, M. P. L. Alterações no teor de matéria orgânica de solos e provável efeito no poder de proteção ambiental nas bordas do Pantanal diante da poluição por pesticidas. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 10. p. 87-112, 2000.

SILVA, D. R. O.; AVILA, L. A.; AGOSTINETTO, D.; BUNDT, A. D. C.; PRIMEL, E. G.; CALDAS, S. S. Ocorrência de agrotóxicos em águas subterrâneas de áreas adjacentes a lavouras de arroz irrigado. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 5, p. 748-752, 2011.

SILVA, D. R. O.; AVILA, L. A.; AGOSTINETTO, D.; MAGRO, T. D.; OLIVEIRA, E.; ZANELLA, R.; NOLDIN J. A. Monitoramento de agrotóxicos em águas superficiais de regiões orizícolas no sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2283-2389, 2009.

TOMITA, R. Y.; BEYRUTH, Z. Toxicologia de agrotóxicos em ambiente aquático. **O Biológico**, São Paulo, v. 64, n. 2, p. 135-142, 2002.

VEIGA, M. M.; SILVA, D. M.; VEIGA, L. B. E. Análise do risco de contaminação ambiental por agrotóxicos nos sistemas hídricos do município de Paty do Alferes, RJ. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., Porto Alegre. **Anais...** Rio de Janeiro: ENEGEP: ABEPRO, 2005. p. 4259-4264.

**Embrapa**

---

*Meio Ambiente*

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA