

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil

**Implicações para a água
subterrânea e propostas de gestão
com enfoque agroambiental**

Marco Antonio Ferreira Gomes
Editor Técnico

Embrapa Informação Tecnológica
Brasília, DF
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Informação Tecnológica

Parque Estação Biológica (PqEB)
Av. W3 Norte (final)
70770-901 Brasília, DF
Fone: (61) 3340-9999
Fax: (61) 3340-2753
vendas@sct.embrapa.br
www.sct.embrapa.br/liv

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP 340 - Km 127,5
13820-000 Jaguariúna, SP
Caixa Postal 69
Fone: (19) 3867-8700
Fax: (19) 3867-8740
sac@cnpma.embrapa.br
www.cnpma.embrapa.br

Embrapa Informação Tecnológica

Coordenação editorial:

Fernando do Amaral Pereira
Mayara Rosa Carneiro
Lucilene M. de Andrade

Revisão de texto: *Maria Cristina Ramos Jubé*

Normalização bibliográfica: *Fernando César Lima*

Projeto gráfico e editoração eletrônica: *José Batista Dantas*

Capa: *Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Fotos da capa: *Marco Antonio Ferreira Gomes*

4ª foto (pequena) de cima para baixo: *René Georges Boulet*

1ª edição

1ª impressão (2008): 2.000 exemplares

Todos os direitos reservados

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Informação Tecnológica

Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil : implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental / editor técnico, Marco Antonio Ferreira Gomes. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2008.
417 p. : il.

ISBN 978-85-7383-422-2

1. Água do solo. 2. Águas subterrâneas. 3. Manejo do solo. 4. Poluição da água. 5. Qualidade da água. 6. Recurso hídrico. I. Gomes, Marco Antonio Ferreira. II. Embrapa Meio Ambiente.

CDD 551.49

© Embrapa 2008

Agradecimentos

Os autores do capítulo II, parte 2, agradecem às pessoas relacionadas, a seguir, pela grande contribuição nos trabalhos de campo: Dásio da Cunha Menezes (Agenciarrural – Mineiros, GO), João de Jesus Barcelos (Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior – Fimes – Mineiros, GO), Bruno César Carrijo Vilela (Fimes – Mineiros, GO), Fernanda Lacerda Buquigoré (Fimes – Mineiros, GO), Fred Willian Alves Resende (Fimes – Mineiros, GO), Jonas Henrique Steimmetz (Fimes – Mineiros, GO), Ricardo Gonçalves Ferreira (Fimes – Mineiros, GO), Cristina Resende Santana (Fimes – Mineiros, GO), Jonathan Goularte Silva (Fimes – Mineiros, GO), Lívia Carneiro Barbosa (Fimes – Mineiros, GO), Neivaldo Silva Barcelos (Fimes – Mineiros, GO), Sânia Ferreira Brandão (Fimes – Mineiros, GO), Vergínio Piacentini Neto (Fimes – Mineiros, GO), Wglevison Alegre Souza (Fimes – Mineiros, GO), Michael Flávio Gontijo Diogo (Fimes – Mineiros, GO), Renato Alves Moreira (Oréades Núcleo de Geoprocessamento – Mineiros, GO), Anderson Araújo de Aguiar (Oréades Núcleo de Geoprocessamento – Mineiros, GO), Célio Eustáquio dos Anjos (São José dos Campos, SP), Rogério Costa Campos (São José dos Campos, SP).

Os autores dos capítulos IV e VI, parte 2, agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

Os autores do capítulo VIII, parte 2, agradecem, em particular, ao editor e co-autor deste capítulo; às professoras Ariana Bertola Carnevale e Márcia Maria de Paula da Fimes, Mineiros, GO, pelo auxílio ao levantamento e seleção dos herbicidas usados nas culturas de soja e de milho na área do objeto de estudo. Um agradecimento especial ao Sr. Dásio da Cunha Menezes, assistente de campo da Agenciarrural, Mineiros, GO, pela contribuição no levantamento e seleção dos pontos de amostragem de água e, ainda, ao acadêmico e extensionista da Agenciarrural, Mineiros, GO, Alcebíades Diogo, pelo georreferenciamento desses pontos.

Os autores do capítulo IX, parte 2, agradecem ao Prodetab (Banco Mundial), por meio do projeto Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Impactos Ambientais de Atividades Agropecuárias na Bacia do Alto Taquari: Instrumento de Gestão Ambiental para os Municípios

do Alto Taquari pelo apoio financeiro; à Dra. Margareth S. P. Meirelles e à Dra. Dea S. Assis pela organização e disponibilização do banco de dados espaciais da BAT e do município estudado, respectivamente; à Prefeitura Municipal de São Gabriel do Oeste; à CI Brasil e à Oréades Núcleo de Geoprocessamento (Mineiros, GO) pelo apoio logístico nas viagens de campo e coleta de amostras; ao Cointa pelo suporte e informações sobre tendências de uso da terra na BAT; e ao Dr. Manoel Dornelas de Souza pelo apoio nas análises laboratoriais.

Apresentação

O uso agrícola de áreas de alta vulnerabilidade natural tem se intensificado em todo o país, cedendo, muitas vezes, à pressão de expansão das terras para fins agropecuários. Entre essas áreas estão aquelas de afloramento do Aquífero Guarani, cuja extensão representa algo em torno de 104 mil km² no Brasil.

Trata-se de um cenário que exige medidas imediatas de intervenção, a fim de evitar que, a partir dessas áreas, ocorra algum comprometimento da água subterrânea, particularmente quanto à sua qualidade, podendo ser as atividades agrícolas como as principais responsáveis por esse processo.

É fato que os recursos hídricos, principalmente superficiais, têm sofrido um processo acelerado de degradação em todo o planeta, motivo pelo qual a pesquisa necessita atuar no sentido de propor medidas de preservação e proteção para os mesmos. Isso é especialmente necessário para os recursos hídricos subterrâneos que, ainda, encontram-se relativamente preservados, principalmente no Brasil.

Diante desse cenário, apresentamos a obra intitulada *Uso Agrícola das Áreas de Afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: Implicações para a Água Subterrânea e Propostas de Gestão com Enfoque Agroambiental*, editado pelo pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Marco Antonio Ferreira Gomes, que aborda bem a questão de uso de áreas frágeis, como são as áreas de afloramento do Aquífero Guarani, enfatizando as possíveis implicações ambientais, além da proposição de medidas preventivas e corretivas aos possíveis impactos negativos gerados.

A obra está sintetizada em 20 capítulos, dos quais 18 referem-se a resultados de pesquisa obtidos ao longo de mais de 12 anos de trabalho por meio de equipe multi-institucional, envolvendo a Embrapa Meio Ambiente, Embrapa Solos, Instituto Biológico (Campinas e São Paulo), USP/Ribeirão Preto, Instituto Agrônomo de Campinas, Unicamp/Departamento de Química Analítica, Agenciarrural (Mineiros, GO), Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior de Mineiros, GO, além de outros colaboradores como Unaerp/Ribeirão Preto, Daerp/Ribeirão Preto, Oréades – Núcleo de Geoprocessamento (Mineiros, GO) e Cooperativa dos Produtores Rurais do Vale do Araguaia (Comiva) de Mineiros, GO.

Na parte 1, toda de autoria de Marco Antonio Ferreira Gomes, são mostrados ao leitor as características e o potencial desse aquífero quanto à sua capacidade de abastecimento e alguns mecanismos que interferem na qualidade da água, tendo como referência algumas considerações de profissionais da área de hidrogeologia.

Já na parte 2, com capítulos de autoria de diversos pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente em parceria com outras instituições de ensino e de pesquisa, são relatadas as experiências e os resultados obtidos ao longo de vários anos, enfocando o uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani e seus impactos na qualidade da água subterrânea.

A parte 3, por sua vez, pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente, com alguns co-autores de instituições parceiras, relatam propostas de gestão com enfoque agroambiental para as áreas de afloramento, como medidas alternativas de uso e de manejo agrícola; nessa abordagem, foram consideradas duas regiões, localizadas em três estados: Microbacia do Córrego do Espraiado, Ribeirão Preto, SP; Nascentes do Rio Araguaia, Mineiros, GO e Alto Taquari, MT.

Com uma linguagem técnica e abordagem prática, esta obra é direcionada para técnicos do setor agropecuário, pesquisadores, professores e estudantes de ensino superior que atuam na área ambiental e na interface nas relações entre agricultura e meio ambiente.

A presente obra sintetiza os resultados de esforços conjugados de uma equipe multi-institucional e interdisciplinar que, de forma pioneira, desenvolveu um projeto temático de meio ambiente e agricultura, tendo como referência as áreas de afloramento do Aquífero Guarani em território brasileiro.

Cláudio Aparecido Spadotto
Chefe-Geral
Embrapa Meio Ambiente

Sumário

Prefácio	17
-----------------------	----

Parte 1

Água Subterrânea no Brasil – O Aquífero Guarani

Capítulo 1 – Importância, ocorrência, volume, distribuição e uso das águas subterrâneas no Brasil	23
--	----

Capítulo 2 – O Aquífero Guarani	35
--	----

Parte 2

Uso Agrícola das Áreas de Afloramento do Aquífero Guarani no Brasil e Impactos na Qualidade da Água Subterrânea

Capítulo 1 – Caracterização pedomorfoagroclicmática das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil – base para uma proposta de gestão sustentável	47
--	----

Capítulo 2 – Levantamento pedológico das áreas de afloramento do Aquífero Guarani na região das nascentes do Rio Araguaia, GO/MT – subsídio aos estudos regionais de ordenamento agroambiental	65
---	----

Capítulo 3 – Vulnerabilidade natural do solo em áreas agrícolas – subsídio à avaliação do risco de contaminação do lençol freático por agroquímicos	87
--	----

Capítulo 4 – Movimento do herbicida tebutiuron em dois solos representativos das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil	99
--	----

Capítulo 5 – Monitoramento de herbicidas em água subterrânea da Microbacia do Córrego do Espriado, Ribeirão Preto, SP	113
--	-----

Capítulo 6 – Aspectos do comportamento dos herbicidas diuron e tebutiuron em solos das áreas de recarga do Aqüífero Guarani no Estado de São Paulo	131
Capítulo 7 – Adsorção e dessorção dos herbicidas diuron e tebutiuron em solos das áreas de afloramento do Aqüífero Guarani na região de Ribeirão Preto, SP	149
Capítulo 8 – Procedimentos analíticos e avaliação da presença de herbicidas em áreas de recarga do Aqüífero Guarani na região das nascentes do Rio Araguaia, MT/GO	175
Capítulo 9 – Análise espacial do potencial de lixiviação de herbicidas em áreas de afloramento do Aqüífero Guarani na Alta Bacia do Rio Taquari, MS	193
Capítulo 10 – Estimativa da contaminação do Aqüífero Guarani por agrotóxicos e avaliação dos riscos à saúde humana	215
Capítulo 11 – Modelos <i>screening</i> e simulação de sistemas aplicados à avaliação de risco de contaminação da água por herbicidas em área de cultivo de cana-de-açúcar – estudo de caso na Microbacia do Córrego do Espriado	235
Capítulo 12 – Modelos <i>screening</i> e simulação de sistemas aplicados à avaliação de risco de contaminação da água por agrotóxicos em áreas de cultivo de soja, milho e arroz – estudo de caso nas nascentes do Rio Araguaia, região de Mineiros, GO, e na Microbacia do Arroio Jacaguá, região de Alegrete, RS	263
Capítulo 13 – Processos erosivos em áreas de afloramento do sistema Aqüífero Guarani no Brasil	283
Capítulo 14 – Controle dos processos erosivos em áreas de afloramento do Aqüífero Guarani no Brasil	301
Capítulo 15 – Realidade socioeconômica das propriedades rurais na região das nascentes do Rio Araguaia, GO/MT	317

Parte 3
Ações de Gestão Agroambiental para as
Áreas de Afloramento do Aquífero Guarani no Brasil

Capítulo 1 – Ordenamento agroambiental das áreas de afloramento do Aquífero Guarani – conceitos e aplicações	343
Capítulo 2 – Geoprocessamento como ferramenta integradora para o planejamento do uso agrícola das terras e a manutenção da qualidade das águas subterrâneas nas áreas de afloramento do Aquífero Guarani	363
Capítulo 3 – Proposta de Boas Práticas Agrícolas para as áreas de afloramento do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto, SP	377
Resumo	415
Abstract	417

Prefácio

Os recursos hídricos, principalmente superficiais, têm sofrido um processo acelerado de degradação em todo o planeta. Como existe uma conexão direta entre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, é de se esperar que num determinado momento esses sofram também alterações decorrentes das atividades antrópicas, a exemplo do que vem ocorrendo com os primeiros.

No Brasil, essa preocupação tornou-se mais evidente somente há pouco mais de uma década, até porque o pensamento dominante era de que havia água superficial em abundância. Hoje, porém, já é do conhecimento de parte da população brasileira que as águas subterrâneas do país estão também expostas a uma condição de risco de degradação, tanto do ponto de vista quantitativo como qualitativo.

Tendo por base essa expectativa da população em relação à água subterrânea, a Embrapa Meio Ambiente iniciou em 1994 seus trabalhos nas áreas de afloramento ou recarga direta do maior e mais importante aquífero das Américas e um dos maiores do mundo – o Aquífero Guarani.

O Aquífero Guarani constitui-se em um manancial de águas subterrâneas, que abrange partes do Brasil, Argentina, Paraguai e do Uruguai, cujo volume e qualidade colocam-no como estratégico para as futuras gerações do Cone Sul.

Do ponto de vista da exposição, esse aquífero divide-se em confinado e aflorante. No primeiro caso, devido a uma grande cobertura de rochas, ele está praticamente protegido das possíveis atividades poluidoras antrópicas; no segundo caso, não existe qualquer cobertura rochosa que possa protegê-lo, colocando-o diretamente exposto a uma situação de risco de contaminação. Essa parte do aquífero dita aflorante/afloramento ou de recarga direta, composta exclusivamente por solos arenosos, principalmente Neossolos Quartzarênicos e Latossolos de textura média, necessita então de atenção especial, particularmente quanto ao seu uso, para evitar possíveis impactos negativos que possam comprometer a qualidade de sua água.

Diante desse cenário de alta vulnerabilidade natural e de risco, aliado a um amplo diagnóstico de uso agrícola das áreas de recarga do Aquífero

Guarani em território brasileiro, realizado por pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente, foram desenvolvidos diversos trabalhos, considerando algumas áreas potencialmente críticas, a partir das quais foram obtidas informações, apresentadas neste livro nas partes II e III.

Antes, porém, na parte I, são apresentadas ao leitor as características e o potencial desse aquífero quanto à sua capacidade de abastecimento e alguns mecanismos que interferem na qualidade da água, tendo como referência algumas considerações de profissionais da área de hidrogeologia.

Em razão das características expostas do Aquífero Guarani e da grande diversidade de uso agrícola em suas áreas de afloramento no Brasil, o presente trabalho apresenta alguns cenários atuais, com a proposição de medidas alternativas de uso e de manejo agrícola para algumas delas, tendo como estudo de caso três regiões, localizadas em quatro estados: Microbacia do Córrego do Espriado, Ribeirão Preto, SP; Nascentes do Rio Araguaia, Mineiros, GO e Alto Taquari, MT e Microbacia do Arroio Jacaguá, região de Alegrete, RS.

Para as duas primeiras áreas foram propostas também ações de gestão agroambiental, constantes da parte III do livro, como procedimentos de apoio à sustentabilidade das mesmas e, conseqüentemente, do Aquífero Guarani.

Para a realização desses trabalhos, ao longo de vários anos, a Embrapa Meio Ambiente contou, inicialmente, com a colaboração de professores/pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) Ribeirão Preto (Escola de Ciências Farmacêuticas), de técnicos da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Ribeirão Preto, professores da Universidade de Ribeirão Preto (Unaerp), SP, além de técnicos do Departamento de Águas e Esgotos de Ribeirão Preto (Daerp); posteriormente, foram incluídos parceiros da região das nascentes do Rio Araguaia, como a Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior (Fimes) e Agenciarrural de Mineiros, GO, além de colaboradores como Oréades – Núcleo de Geoprocessamento (Mineiros, GO); Prefeitura Municipal de Mineiros, GO, e Cooperativa Mista dos Produtores Rurais do Vale do Araguaia (Comiva), Mineiros, GO. A partir de 2000, passaram a colaborar, neste trabalho, pesquisadores do então Instituto Biológico de São Paulo (regionais Campinas e São Paulo), atual Apta; mais

recentemente, em 2002, foi realizada parceria com o Departamento de Química Analítica da Universidade de Campinas (Unicamp).

Esses parceiros e colaboradores foram fundamentais para que os resultados obtidos pudessem ser disponibilizados nesta publicação.

Assim, espera-se que o presente livro atenda às expectativas do leitor e que, sobretudo, sirva de orientação aos profissionais e técnicos do setor agrícola e de outras áreas correlatas quanto à importância do manejo e uso, com visão sustentável, de áreas de afloramento de aquíferos sedimentares, a exemplo do Guarani, que representa um manancial de água fundamental para a sobrevivência das futuras gerações do Cone Sul.

Marco Antonio Ferreira Gomes
Editor Técnico

Parte 1

Água Subterrânea no Brasil

O Aquífero Guarani

Capítulo 1

Importância, ocorrência, volume, distribuição e uso das águas subterrâneas no Brasil

Marco Antonio Ferreira Gomes

Importância

O Brasil detém não só a maior rede hidrográfica do planeta, com 55.457 km² de rios, cujo potencial hídrico representa 12 % de toda água doce do mundo, mas também um dos maiores potenciais hídricos subterrâneos, com cerca de 112.311 km³ de água, que corresponde a 1,1 % de todo o volume dos aquíferos existentes no planeta (REBOUÇAS, 1996; BRASIL, 2003; BORGHETTI et al., 2004).

Um conjunto de fatores físicos e biológicos possibilita a grande riqueza hídrica nacional. As precipitações são abundantes e 90 % de seus valores situam-se entre 1.000 e 3.000 mm/ano. A precipitação média no território brasileiro é da ordem de 1.783 mm/ano. Essas chuvas, associadas à considerável geodiversidade do território nacional, são fatores determinantes da existência do imenso volume hídrico utilizável (FAO, 2002; FUNDAJ, 2003; BORGHETTI et al., 2004).

Toda essa riqueza em água assume importância estratégica para as futuras gerações não só do Brasil, mas de todo o Cone Sul, uma vez que os recursos hídricos, sejam superficiais sejam subterrâneos, deverão ser tratados como commodities, ou seja, como bens de valor econômico, o que certamente implicará em ônus elevado para aqueles países que não possuem grandes reservas de água ou que possuem desequilíbrios entre produção/captação *versus* consumo.

Diante desse fato, torna-se imperativa a adoção de sistemas sustentáveis de gestão dos recursos hídricos, cujos princípios básicos devem passar, necessariamente, pela educação da população, pela cobrança justa e também pelo controle e eficiência dos sistemas de distribuição que hoje no Brasil contribuem, em média, para perdas no volume de água de até 50 %, ocorridas no percurso entre a captação, os reservatórios e o consumidor.

O Brasil, embora tenha a quinta maior população do mundo, consome menos água que o Paquistão, Japão, Tailândia, Bangladesh, Vietnã, Irã, Egito, Rússia e México, nos quais a população é menor; ele aparece em décimo quarto lugar, com 59,2 km³/ano, o que equivale a 1,6 % do total de água consumida no mundo (FAO, 2002 citado por BORGHETTI et al., 2004). Esse cenário indica que os países detentores de grandes reservas hídricas, a exemplo do Brasil, podem ser alvos de grande pressão mundial para consumo de água,