

ORDENAMENTO AGROAMBIENTAL DAS ÁREAS DE RECARGA DO AQUÍFERO GUARANI – ESTUDOS DE CASO EM TERRITÓRIO BRASILEIRO

MARCO ANTONIO FERREIRA GOMES

EMÍLIA HAMADA

HELOISA FERREIRA FILIZOLA

SONIA CLAUDIA DO NASCIMENTO DE QUEIROZ

VERA LÚCIA FERRACINI

MARIA CONCEIÇÃO PERES YOUNG PESSOA

ALDEMIR CHAIM

EMBRAPA MEIO AMBIENTE

Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil

{gomes, emilia, filizola, sonia, veraf, young, aldemir@cnpma.embrapa.br}

Resumo. As áreas de recarga direta ou de afloramento do Aquífero Guarani são consideradas muito frágeis e, por isso mesmo, bastante expostas ao risco de degradação, seja por contaminação de agrotóxicos seja por processos erosivos, principalmente em função da alta vulnerabilidade natural e do avanço das atividades agrícolas sobre as mesmas, sem um manejo adequado de seus solos. O método de trabalho proposto, envolve a integração de Planos de Informação (PI's) referentes à geologia, solos, profundidade do lençol freático, relevo, precipitação e uso agrícola atual das áreas de recarga, já utilizados na caracterização dos Domínios Pedomorfoagroclimáticos. A integração desses planos permitirá, também, a obtenção de informações, em escala de maior detalhe, como *vulnerabilidade natural, estimativas de risco de contaminação do lençol freático, avaliação da capacidade de uso do solo e determinação de áreas de conflito*, além do *perfil sócio-econômico dos agricultores ou proprietários rurais*, fundamentais na proposição do ordenamento agroambiental das áreas de recarga do Aquífero Guarani.

Palavras-chave: domínio pedomorfoagroclimático, vulnerabilidade natural, erosão, assoreamento, lixiviação, herbicidas, riscos de contaminação, lençol freático, uso agrícola, manejo adequado, gestão ambiental, boas práticas agrícolas.

1. Introdução

O Aquífero Guarani é considerado um dos mais importantes e estratégicos reservatórios de água subterrânea do planeta, com uma extensão intercontinental de cerca de 1.150.000 km², abrangendo o Brasil, a Argentina, o Uruguai e o Paraguai, evidenciando uma característica de

grande relevância no contexto do Mercosul. Sua importância é estratégica, uma vez que o volume aproveitável de água é de 40 km³/ano, superando em 30 vezes a demanda de cerca de 15 milhões de pessoas que vivem em sua área de ocorrência. Na prática, isso significa que o Aquífero Guarani possui uma reserva potencial para abastecer toda a população brasileira por cerca de 2.500 anos. Esse Aquífero possui, em toda a sua extensão, porções confinadas e de afloramento (recarga direta), sendo estas em torno de 150.000 km², das quais cerca de 100.000 km² encontram-se em território brasileiro.

As áreas de recarga direta exibem, naturalmente, alta vulnerabilidade, condição que as coloca em situação de grande fragilidade frente às diversas fontes potencialmente poluidoras. A existência de um cenário complexo nessas áreas, com uso agrícola bastante diversificado, exige a adoção de procedimentos que controlem ou que protejam o aquífero. Dessa forma, o presente trabalho tem como premissa a proposição de um planejamento efetivo de uso da terra nas áreas de recarga do Aquífero Guarani, fundamentada no princípio das chamadas *boas práticas agrícolas*, dentro de um contexto de ordenamento agroambiental, fundamental no processo de gestão sustentável dessas áreas.

2. Trabalhos anteriores

A Embrapa Meio Ambiente vem atuando nas áreas de recarga do Aquífero Guarani desde 1994. No período compreendido entre 1994 e 1999 foi realizado um estudo semi-detalhado, em escala de 1:25.000, na microbacia do Córrego Espreado, município de Ribeirão Preto, cujo uso agrícola tem se caracterizado pela cultura de cana-de-açúcar, com uso intensivo de agrotóxicos, há mais de duas décadas. Os conhecimentos adquiridos nesse período, permitiram melhor entendimento da dinâmica ambiental (Gomes et al., 1996; Gomes et al., 2002a) e maior conhecimento sobre o comportamento de alguns herbicidas nos solos, principalmente aqueles com maior potencial de lixiviação (Pessoa et al., 1998; Pessoa et al., 1999; Embrapa, 1999; Gomes et al., 2001).

Com o surgimento de uma demanda sobre o uso sustentável das áreas de recarga do Aquífero Guarani, a partir de uma proposta de agenda básica apresentada em Curitiba em 1996 (Rocha, 1996), a Embrapa Meio Ambiente propôs, em 1999, um trabalho com abrangência para todas as áreas de recarga em território brasileiro. Esse trabalho, com duração de três anos, possibilitou o levantamento de informações sobre geologia, solos, relevo, vegetação e uso agrícola. A

integração dessas informações, permitiu então a definição das áreas de recarga em *Domínios Pedomorfoagroclimáticos* (Gomes et al., 2002 b).

No Estado de São Paulo, as áreas de recarga do Aquífero Guarani possuem cerca de 16.000 km², ocupando uma faixa de norte a sul do Estado, localizadas na porção centro - oeste, entre as coordenadas 21° e 23° 00' S e 47° e 50° 00' O.

Devido a algumas diferenças significativas, quanto a clima e tipo de cultura, foi feita uma subdivisão em três regiões ou faixas de recarga, mas que não caracteriza uma subdivisão em domínios, conforme se segue:

2.1. Domínio da faixa de recarga da porção Centro-Norte, com os seguintes municípios: Franca, Batatais, Brodosqui, Altinópolis, Cajuru, Serrana, Ribeirão Preto, Cravinhos, São Simão e Luís Antonio;

2.2. Domínio da faixa de recarga da porção Central, com os seguintes municípios: Araraquara, Corumbataí, São Carlos, Ibaté, Analândia, Itirapina, Brotas, Bocaina, Dois Córregos, Boa Esperança do Sul, Bariri, São Pedro, Águas de São Pedro, Santa Maria da Serra, São Manuel e Botucatu;

2.3. Domínio da faixa de recarga da porção Centro-Sul, com os seguintes municípios: Pardinho, Bofete, Torre de Pedra, Paranapanema, Avaré, Itaí e Tejuapá.

O **Quadro 1**, a seguir, mostra as características de clima e cultivos principais em cada um dos três domínios identificados. O aspecto morfológico não foi ressaltado pela semelhança em toda extensão, estando toda a faixa de recarga inserida no *Planalto Médio Paulista*, nome também dado ao Domínio Pedomorfoagroclimático do Estado de São Paulo. O **Quadro 1** sintetiza as características gerais desse domínio.

No Estado de Minas Gerais as áreas de recarga do Aquífero Guarani ocupam cerca de 1.500 km², a menor entre todos os estados que possuem áreas de recarga, abrangendo os municípios de Monte Santo de Minas, Itamoji, São Sebastião do Paraíso, São Tomás de Aquino, Capetinga, Ibiraci e Claraval. Localizam-se entre as coordenadas 20° 00' e 21° 20' S e 47° e 47° 20' O.

Em função da relativa homogeneidade das características morfoclimáticas, optou-se por apenas um domínio pedomorfoagroclimático, denominado *Borda Ocidental da Mantiqueira*. O **Quadro 2** sintetiza as informações relativas e a esse domínio.

A área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado de Goiás abrange cerca de 15.000 km², estando grande parte dessa área distribuída ao longo da região que abrange as nascentes do

Rio Araguaia, na divisa dos Estados de Goiás e Mato Grosso entre os paralelos 17°00' e 20°00' S e os meridianos 51°30' e 55°30' O. Devido à grande uniformidade, tanto de uso agrícola quanto dos aspectos climáticos, foi definida a existência de um único Domínio Pedomorfoagroclicmático denominado *Depressão ou Nascentes do rio Araguaia*, conforme descrição contida no **Quadro 3**.

Quadro 1. Características climáticas e tipos de culturas predominantes nas três faixas que compõe o Domínio Pedomorfoagroclicmático das áreas de recarga do Estado de São Paulo.

Domínio pedomorfoagroclicmático	Faixas	Culturas predominantes	Precipitação Média Anual (mm)	Temperatura Média Anual (°C)
Planalto Médio Paulista (Pmp)	Faixa norte	Cana-de-açúcar	1.550	22,4
	Faixa Central	Cana-de-açúcar/ citros, arroz irrigado e pastagem	1.700	21,6
	Faixa Centro-sul	Cana-de-açúcar e pastagem	1.650	20,3

Obs.: Dados médios de precipitação e temperatura obtidos de Estação do IAC- Ribeirão Preto, ESALQ-Piracicaba e UNESP-Botucatu, respectivamente, referentes ao período 1990-1998.

Quadro 2. Características climáticas e tipo de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclicmático das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Estado de Minas Gerais.

Domínio Pedomorfoagroclicmático	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Borda Ocidental da Mantiqueira (BOM)	Pastagem	1.580	20,9

Obs.: Informações obtidas "in loco" junto aos municípios de São Sebastião do Paraíso, Capetinga, Claraval, Monte Santo de Minas, Ibiraci e São Tomás de Aquino.

Quadro 3. Características climáticas e tipos de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclicmático Depressão ou Nascentes do rio Araguaia das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Estado de Goiás.

Domínio Pedomorfoagroclicmático	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Nascentes do rio Araguaia (DA)	Soja e pastagem	1.863	22,6

Obs.: Dados climáticos obtidos do Mosteiro Beneditino (Mineiros-GO) no período entre 1995 e 2000.

Existe, ainda, outro domínio no Estado de Goiás, conhecido por **Planaltos Rebaixados Alcantilados**, cujo uso agrícola se restringe às pastagens, uma vez que o relevo não favorece a mecanização agrícola necessária para atividades com culturas anuais. Possui cerca de 9.000 km² e localiza-se a leste do Domínio das nascentes do Araguaia, mais precisamente entre as coordenadas 18°00' e 21°00' S e 49°00 e 51°30' O. Estão inseridos nesse domínio os municípios de Jataí e Caiapônia. O **Quadro 4**, a seguir, sintetiza as características desse domínio.

No Estado de Mato Grosso, até o momento, foi considerada apenas a região de Alto Garças que mantém uma interligação entre a área de abrangência do Rio Araguaia e a área de afloramento do Aquífero Guarani localizada na divisa dos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. A área de afloramento nessa região é de cerca de 9.000 km², estando situada entre os paralelos 16°40' e 17°00' S e os meridianos 53° 30'e 54°00' O. Os dados contidos no **Quadro 4** expressam suas características que, pela semelhança e proximidade, também se insere no domínio **Depressão ou Nascentes do Araguaia**. O **Quadro 5**, a seguir, mostra as características gerais desse domínio no Estado de Mato Grosso.

Quadro 4. Características climáticas e tipos de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclimático Planaltos Rebaixados Alcantilados das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Estado de Goiás.

Domínio Pedomorfoagroclimático	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Planaltos Rebaixados Alcantilados (Pr)	Pastagem	1.650	22,4

Obs.: Dados climáticos obtidos do Mosteiro Beneditino (Mineiros-GO) no período entre 1995 e 2000 e da EMATER-GO no período de 1994-1995.

Quadro 5. Características climáticas e tipos de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclimático das áreas de recarga do Aquífero Guarani na porção leste do Estado de Mato Grosso.

Domínio Pedomorfoagroclimático	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Nascentes do Araguaia (DA)	Soja/milho	1.830 a 2.130	22,3

Obs.: Dados obtidos da EMATER-GO no período de 1994-1995 e de produtores rurais "in loco" no município de Alto Garças/MT.

A área de afloramento do Aquífero Guarani mais importante no Estado de Mato Grosso do Sul representa cerca de 31.000 km² localizada na região nordeste e parte da região sudoeste, entre as latitudes 17°00' e 20°00' S e as longitudes 53°00' e 55°00' O, abrangendo em quase toda sua extensão a bacia hidrográfica do Alto Taquarí. Esta é composta basicamente pelos rios Taquarí, ao norte, e Coxim na porção sudoeste-oeste da área. Entre os municípios mais importantes estão São Gabriel D'oeste, Coxim, Camapuã, Alcinópolis e Pedro Gomes. Devido à predominância de um único padrão pedomorfoagroclicmático, considerando somente as áreas de *recarga direta ou de afloramento* do Aquífero Guarani, com diferença apenas entre vegetação/pastagem nativa e pastagem cultivada, foi definido apenas um domínio denominado de **Alto Taquarí**, conforme descrição contida no **Quadro 6**.

Quadro 6. Características climáticas e tipos de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclicmático do Alto Taquarí, Estado de Mato Grosso do Sul.

Domínio Pedomorfoagroclicmático	Culturas predominantes	Precipitação média anual* (mm)	Temperatura média anual* (°C)
Médio/Alto Taquarí e Coxim (MATq)	Pastagem nativa	1.460	23,5
	Pastagem cultivada		

*Obs.: Média de 5 anos, considerando medidas realizadas em Coxim- MS (Informações obtidas do COINTA).

A área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado do Paraná abrange cerca de 7.000 km², distribuída ao longo de uma faixa estreita a oeste de Curitiba, com extensão de norte a sul. Os municípios mais importantes localizados nessa área são Jacarezinho, Santo Antônio da Platina, Cândido Abreu, Ortigueira, Ivaiporã, Pitanga, Guarapuava, e União da Vitória na divisa com Santa Catarina.

Em razão da existência de duas condições predominantes de uso agrícola e uma pequena variação climática, principalmente precipitação, foram definidas duas faixas de domínio: *faixa centro-norte* e *faixa centro-sul*, integrantes do **Segundo Planalto Paranaense**, conforme os dados contidos no **Quadro 7**.

No Estado de Santa Catarina a área de afloramento do Aquífero Guarani é de cerca de 5.000 km², abrangendo os municípios de Porto União, Timbó Grande, Ponte Alta, Lages e Urubici.

A porção de recarga nesse estado apresenta uma faixa bastante delgada, tendo em alguns locais menos de 1 km de largura. Em razão do uso agrícola ser, predominantemente pastagem, como

também de outros aspectos ambientais, tais como solo, relevo e clima, foi definido apenas um domínio para o Estado de Santa Catarina, caracterizado por *Planalto Médio Catarinense*, considerando a mesma nomenclatura usada para as características morfológicas. Todavia, há necessidade de uma avaliação mais detalhada, sobre as áreas ocupadas com o cultivo de maçã. O **Quadro 8**, a seguir, sintetiza as informações gerais desse domínio.

Quadro 7. Características climáticas e tipos de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclimático das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Estado do Paraná.

Domínio Pedomorfoagroclimático	Faixas	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Segundo Planalto Paranaense (II° Pp)	Centro-norte	Pastagem	1.380	19,0
	Centro-sul	Soja/milho e pastagem	1.300	18,5

Fonte: IAPAR (2002).

Quadro 8. Características climáticas e tipos de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclimático das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Estado de Santa Catarina.

Domínio Pedomorfoagroclimático	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Planalto Médio Catarinense (Pmc)	Pastagem	1.250	17,5
	Maçã		

Fonte: EPAGRI (1997); INSTITUTO DE PLANEJAMENTO AGRÍCOLA (1999).

A área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul possui cerca de 13.500 km², distribuída ao longo de uma faixa delgada de leste a oeste do Estado, com inflexão para o sul até a divisa com o Uruguai, adentrando-se nesse país por cerca de dezenas de quilômetros. Essa faixa encontra-se inserida nas coordenadas 29°00' e 30°00' S e 50°30' e 55°40' O, envolvendo três Domínios Pedomorfoagroclimáticos denominados de *Serra Gaúcha/Encosta Inferior Nordeste*; *Borda do Planalto Médio/Missões e Campanha*. O clima predominante é do tipo subtropical úmido, sem estiagem (Cfa). Em geral, a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês menos quente varia de 3 a 18°C.

As principais cidades ao longo das áreas de recarga estão assim distribuídas: **Serra Gaúcha/encosta nordeste** – Portão, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Parobé, Taquara e Santo Antônio da Patrulha; **Borda do Planalto Médio/Missões** - Santa Maria, Santiago, São Pedro do Sul, Jaguarí e São Francisco de Assis ; **Campanha** – Alegrete, Rosário do Sul e Santana do Livramento. O **Quadro 9**, a seguir, sintetiza as informações relativas a esses domínios.

Quadro 9. Características climáticas e tipos de culturas predominantes nos diversos Domínios Pedomorfoagroclimáticos das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul.

Domínio Pedomorfoagroclimático	Culturas dominantes	Precipitação média anual* (mm)	Temperatura média anual* (°C)
Serra Gaúcha/encosta inferior nordeste (SG/EN)	Uva	2.470	< 18
Borda do Planalto Médio/Missões (Pm/M)	Pastagem	2.000	18 a 22
Campanha (Camp)	Arroz irrigado/pastagem	1.190	20 a 24

Fonte: BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1973).

A partir da classificação das áreas de recarga em Domínios Pedomorfoagroclimáticos e com a inclusão de informações de uso de agrotóxicos, considerando o tipo de cultura, pode se estabelecer uma caracterização dessas áreas quanto ao *risco potencial* de contaminação da água subterrânea, por domínio, conforme ilustração da **Figura 1** (Embrapa, 2002). Devido à área restrita e sem maiores riscos causados pela agricultura, o Domínio da *Borda Ocidental da Mantiqueira* não aparece no mapa da **Figura 1**. Essa caracterização fundamentou-se em três níveis – *baixo, médio e alto* conforme o tipo de atividade agrícola predominante em cada um dos domínios. Nesse aspecto, foram considerados os agrotóxicos de maior risco para a água subterrânea, conforme mostra o exemplo contido na **Tabela 1**.

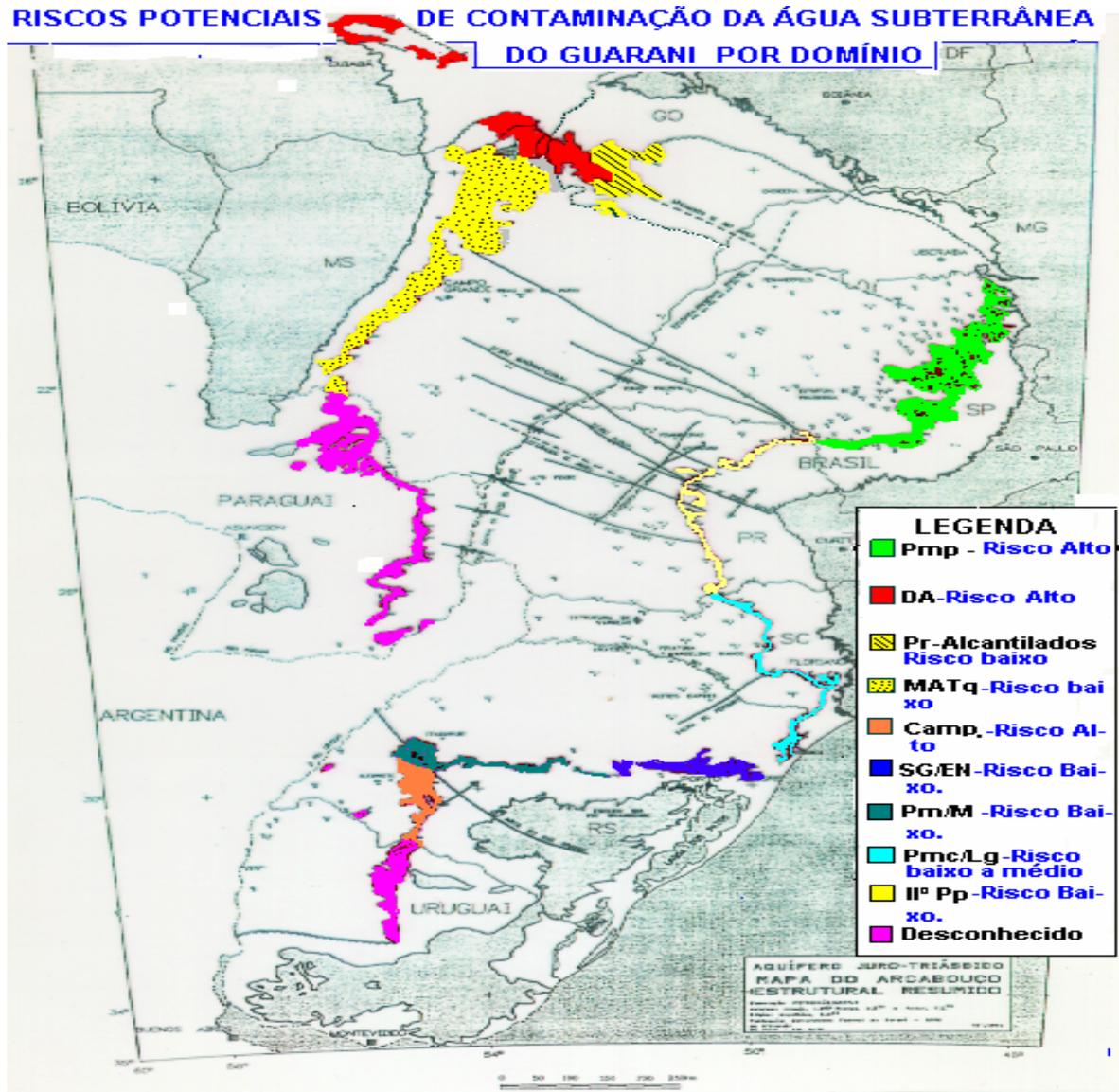


Figura 1. Mapa de risco potencial de contaminação da água subterrânea a partir dos Domínios Pedomorfoagroclimáticos (escala 1:5.000.000)

Pmp – Planalto Médio Paulista; **DA** – Depressão ou Nascentes Araguaia; **Pr Alcantilados** – Planaltos rebaixados Alcantilados; **MATq** – Médio/Alto Taquari; **Camp** – Campanha; **SG/EN** – Serra Gaucha/Encosta Nordeste; **Pm/M** – Planalto Médio/Missões; **Pmc/Lg** – Planalto Médio Catarinense/Litoral gaúcho; **II° Pp** – Segundo Planalto Paranaense.

Obs.: Mapa obtido da base proposta por ARAÚJO, L.M.; FRANÇA, A.B.; POTTER, P.E. Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai (1995).

Tabela 1. Classificação dos riscos potenciais de contaminação da água subterrânea a partir das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Brasil, considerando a presença de cinco herbicidas em quatro Estados.

Produto aplicado	Quantidade (L/ha)	Características do produto	Cultura	Estado	Área (ha)	Precipitação Média*** (mm/ano)	Vulnerabilidade			Risco Potencial ¹ de contaminação da água subterrânea
							Condutividade de hidráulica* (cm/h)	Nível d'água** NA (m)	Índice	
Imazetaphyr	1,0	Koc = 10; (T) ^{1/2} vida = 90 dias.	Soja	Goiás	4.000	1.863	Alta	<10 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Alto Médio/Alto Médio
Atrazina	1,5	Koc = 100; (T) ^{1/2} vida = 60 dias	Milho	Goiás	10.000	1.863	Média/alta	<10 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Médio Médio/baixo Baixo
	1,0		Milho	Mato Grosso	5.800	2.130	Média/alta	<10- 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Médio/Alto Médio Baixo
	2,0		Milho	Mato Grosso do Sul	2.600	1.460	Alta	<10 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Médio Médio/baixo Baixo
Simazina	2,0	Koc= 130 ; (T) ^{1/2} vida curta = 60 dias	Milho	Goiás	10.000	1.863	Alta	<10 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Médio Médio/Baixo Baixo
Tebuthiuron	1,3	Koc= 80 ; (T) ^{1/2} vida = 360 dias	Cana-de-açúcar	São Paulo	980.000	1.600	Alta	<10 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Alto Médio/Alto Médio
Hexazinone	2,3	Koc= 54; (T) ^{1/2} vida = 90 dias	Cana-de-açúcar	São Paulo	980.000	1.600	Alta	<10 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Alto Médio/Alto Médio

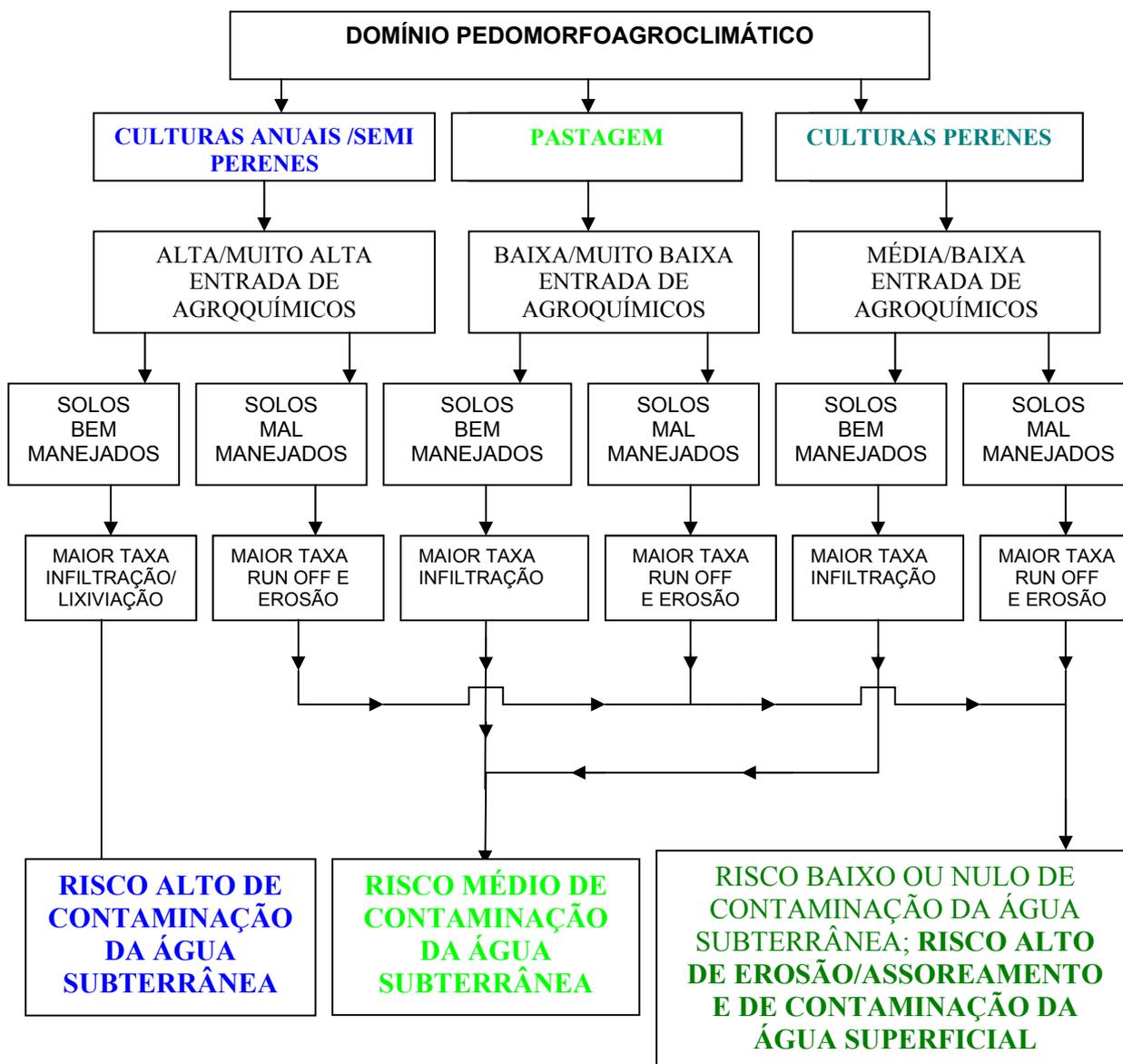
*Classificada em alta (12,5 a 25 cm/h); média (2,5 a 12,5 cm/h) e baixa (< 2,5 cm/h), conforme KRAMER (1969). ** NA<10m (vulnerabilidade do tipo alto-alto); NA 10-20m (alto-baixo); NA>20 (médio -alto) conforme SÃO PAULO (1997).

*** Média dos últimos 5 anos.

1. Define-se aqui risco potencial como sendo o **risco estimado** em função da integração das informações relativas aos produtos aplicados com suas respectivas quantidades (carga contaminante estimada) com aquelas relacionadas à vulnerabilidade natural.

A caracterização dos riscos potenciais, por Domínio Pedomorfoagroclicmático, permitiu a identificação e seleção de *áreas críticas* em função do tipo de atividade agrícola, com ênfase para o uso intensivo de agrotóxicos e de processos erosivos, de acordo com o esquema da **Figura 2**.

Figura 2. Esquema adotado para identificação e seleção das áreas críticas por Domínio Pedomorfoagroclicmático, considerando cenários de riscos de contaminação e de processos erosivos.



A partir desse estudo foram selecionadas, inicialmente, cinco áreas críticas (*worst case*) distribuídas em cinco Estados, conforme a seguinte descrição: **a) Microbacia do Córrego Espreado, município de Ribeirão Preto/SP** – Domínio do Planalto Médio Paulista; **b) Microbacia dos Córregos Cabeceira Alta e Buracão, município de Mineiros/GO** – Domínio da Depressão ou Nascentes do rio Araguaia; **c) Afluentes da margem direita do rio Taquarí, município de Alcínópolis/MS** – Domínio do Médio/Alto Taquarí e Coxim; **d) Nascentes do rio Ivaí, município de Cândido de Abreu/PR** – Domínio do Segundo Planalto Paranaense; e **e) Arroio Jacaguá, margem esquerda do rio Ibicuí, município de Alegrete/RS** – Domínio da Campanha. Posteriormente, foi identificada mais uma área na região de Lages/Ponte Alta – SC, envolvendo as **nascentes dos rios Caveiras e dos Cachorros**, dentro do Domínio definido como Planalto Médio Catarinense, que assim servirão de estudos de caso e de suporte a uma proposta de gestão, fundamentada nos princípios de sustentabilidade.

3. Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho é o de desenvolver uma proposta de ordenamento agroambiental específico para as áreas de recarga do Aquífero Guarani em território brasileiro, como subsídio a uma proposta de gestão ambiental, apoiada nas técnicas *de Boas Práticas Agrícolas*, tendo como áreas piloto duas porções consideradas críticas, selecionadas a partir de cinco já levantadas, conforme descrição no item anterior.

Entre os objetivos específicos estão: determinar a vulnerabilidade natural das áreas piloto com ênfase para as águas subterrâneas, caracterizar os riscos de contaminação da água subterrânea por agrotóxicos, determinar os processos erosivos lineares, determinar a capacidade de uso das terras e o conflito de uso, adaptar métodos analíticos para determinação dos agrotóxicos com maior potencial de contaminação da água subterrânea, quantificar e qualificar a deposição de agrotóxicos em solo dos sistemas produtivos predominantes nas áreas piloto, determinar a tendência de contaminação de água subterrânea por simulação e determinar o risco efetivo de contaminação da água subterrânea nas áreas piloto.

4. Metodologia

4.1. Levantamento de informações

A seleção das duas microbacias, as quais servirão como áreas pilotos para estudo de caso e de suporte à elaboração do ordenamento agroambiental das áreas de recarga, será realizada com base em dois critérios: *estar localizada em área de recarga do Aquífero Guarani e possuir predominância da atividade agrícola, preferencialmente intensiva*. São muito freqüentes a cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e o arroz no Rio Grande do Sul, culturas que possuem como característica, em comum, o uso intensivo de agrotóxicos.

O levantamento das características fisiográficas das microbacias selecionadas será feito por meio do material cartográfico e bibliográfico já existente, enquanto que os dados climáticos, pluviosidade e temperatura, serão obtidos a partir de dados já compilados pelo Instituto Agrônomo de Campinas - IAC para o Estado de São Paulo e junto ao Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado para o Rio Grande do Sul.

O levantamento do uso agrícola atual das áreas piloto será feito a partir de imagens de satélite Landsat TM, utilizando técnicas de processamento digital de imagem (correções radiométrica e geométrica) e identificação e classificação dos diferentes alvos agrícolas, com confirmação em campo.

Este trabalho terá como suporte básico à utilização das técnicas de geoprocessamento para o armazenamento, manipulação e integração de dados ambientais referenciados espacialmente. A elaboração dos Planos de Informação (PIs) será feita a partir das informações citadas acima, utilizando técnicas de captura digital e de geoprocessamento para montagem do banco de dados. Neste estudo, a entrada dos dados será realizada através de mesa digitalizadora, utilizando o software de digitalização AutoCAD, da Autodesk Inc. Como controle da qualidade da digitalização será adotado o Quadrado Médio do Resíduo (QMR), que é uma medida da precisão, visando garantir a qualidade dos dados no SIG. Os mapas serão digitalizados na projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM).

Para o levantamento dos agrotóxicos mais utilizados será aplicado um questionário aos proprietários, técnicos e revendedores, buscando informações quanto aos produtos aplicados (dose, número médio de aplicações e histórico das aplicações). Serão também levantadas informações desses agrotóxicos, a partir de dados da literatura, referentes ao princípio ativo e às

características físico-químicas. Estas informações serão utilizadas posteriormente no cálculo do índice de GUS (Gustafson, 1989).

4.2. Avaliação da vulnerabilidade natural

O levantamento da profundidade do lençol freático nas áreas piloto será realizada por meio de sondagem elétrica, com o uso do método da eletrorresistividade (Fernandes, 1984), tendo como referências de pontos de amostragem, cotas altimétricas que representem mudanças de expressão no relevo da área.

O método de avaliação da vulnerabilidade natural das áreas a serem estudadas se fundamentará nas proposições de Foster & Hirata (1993) e se baseia na exposição do lençol freático a uma carga contaminante, que passa a ser função da: a) *profundidade do solo*, que influencia na acessibilidade da carga contaminante à zona saturada e b) *capacidade de atenuação da carga contaminante*, controlada principalmente pelos parâmetros geológicos e de cobertura de solos, ajustadas para este trabalho com inclusão de dados de condutividade hidráulica e declividade do solo, como também da taxa média de precipitação anual que dá indicativos do potencial do veículo condutor (água) de movimentar a suposta carga contaminante (Gomes et al., 2002).

A profundidade do solo será inicialmente avaliada por meio de tradagens profundas. Quando forem atingidas as áreas de ocorrência dos saprolitos, serão feitas estimativas da espessura desse material e da profundidade da zona saturada, utilizando-se métodos geofísicos como a eletroresistividade, por exemplo. Análises de condutividade hidráulica serão conduzidas em laboratório, adotando-se o método da coluna de solo (20 cm) saturada em água e com lâmina constante (carga hidráulica) de 2 cm.(Embrapa, 1997). Informações pré-existent das áreas a serem estudadas como mapas geológicos, geofísicos e geomorfológicos darão subsídios a esses estudos.

A avaliação dos processos erosivos lineares (voçorocas e ravinas) nas áreas selecionadas será feita por meio de fotointerpretação e de análise de imagens de satélite, conforme procedimentos propostos pelo DAEE& IPT (1989).

4.3. Capacidade de suporte das terras

Serão adotados os métodos de capacidade de suporte das terras pelo Sistema de Classificação da Capacidade de Uso da Terra (Lespach et al., 1991) e o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (Ramalho Filho et al., 1978), empregando um SIG, de forma a utilizar suas operações espaciais. Nesses métodos são utilizadas as informações de solo, de classes de declive e de clima. A declividade será obtida do mapa de curvas de nível, utilizando-se de modelo de interpolação presente no SIG e, posteriormente, serão separadas em classes. A determinação do balanço hídrico para as culturas predominantes nas áreas estudadas será feita com base no modelo proposto por Franquin & Forest (1984). Os resultados obtidos pelos dois métodos serão comparados, utilizando-se as técnicas de geoprocessamento.

Utilizando-se o plano de informação de ocupação e uso atual, obtido de imagens recentes do satélite Landsat TM da áreas piloto e confrontando-o com os mapas de capacidade de suporte, será obtido o mapa de áreas de conflito de uso.

Serão utilizados os seguintes softwares de SIG: o Idrisi for Windows, da Universidade de Clark (EUA) e o Spring, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, este último de domínio público. Os dois softwares trabalham basicamente em formato raster e serão utilizados de forma complementar, por possuírem algumas características específicas de interesse deste trabalho.

4.4. Estudo dos agrotóxicos

A avaliação do potencial de contaminação de água subterrânea pelos agrotóxicos será realizada utilizando-se o método proposto por GUS (Gustafson, 1989). Esse método calcula o índice de GUS para cada princípio ativo, mediante o fornecimento de valores de coeficiente de adsorção ao carbono orgânico (K_{oc}) e de meia-vida ($t_{1/2}$) do produto no solo, os quais são posteriormente aplicados à fórmula do Índice de GUS e classificados, em função do resultado, em relação ao potencial de lixiviação em: a) não sofre lixiviação ($GUS \leq 1,8$), b) faixa de transição ($1,8 < GUS < 2,8$); e c) provável lixiviação ($GUS \geq 2,8$). O valor de GUS serve como uma ferramenta auxiliar para a identificação de agrotóxicos a serem priorizados nas atividades de monitoramento ambiental *in loco*. Este método é amplamente utilizado pela *Environmental Protection Agency* – *EPA*, dos EUA e outros organismos de proteção ambiental internacionais.

Serão desenvolvidos métodos para a determinação dos agrotóxicos selecionados nas matrizes de água e solo. Antes da análise instrumental será necessária a execução das seguintes etapas: extração, remoção de interferentes (*cleanup*) e pré-concentração dos agrotóxicos da matriz a fim de ajustar as concentrações dos compostos de interesse à sensibilidade do detector, bem como remover a maior parte dos interferentes. Assim, serão testados diversos métodos de extração e pré-concentração para escolher o que fornece melhor recuperação e seletividade (cromatogramas relativamente livres de interferentes nos tempos de retenção dos compostos a serem analisados). Os extratos serão analisados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) para compostos polares e instáveis termicamente ou cromatografia gasosa (CG) para compostos voláteis. Inicialmente serão desenvolvidos ou adaptados métodos da literatura para determinação de resíduos dos agrotóxicos nas matrizes de solo a fim de serem utilizados nas determinações dos seguintes parâmetros: coeficiente de adsorção do agrotóxico no solo; determinação da meia-vida e estudos de lixiviação. Serão também desenvolvidos métodos para a determinação multiresíduos dos agrotóxicos em água subterrânea coletada nas áreas de estudo. A análise multiresíduos permite que em uma mesma corrida cromatográfica sejam determinados simultaneamente vários compostos. Isso diminui o número total de análises, o tempo e o custo. Após a otimização das condições de análise os métodos serão validados e os seguintes parâmetros serão avaliados: limite de detecção, limite de quantificação, linearidade, seletividade, precisão (repetibilidade e precisão intermediária) e recuperação.

Os agrotóxicos são adsorvidos, principalmente, à matéria orgânica, aos minerais de argila, e óxidos/hidróxidos metálicos do solo. As propriedades de ligação destes componentes do solo diferem significativamente e são influenciadas por condições do ambiente, tais como o pH e a força iônica da solução. A lixiviação acarreta a movimentação dos agrotóxicos ao longo do perfil do solo, juntamente com a percolação da solução do solo, em direção ao lençol freático. Os testes de lixiviação serão executados em laboratório usando colunas de PVC, utilizando uma coluna para cada tipo de solo. Os solos serão acondicionados nas colunas na mesma sequência de camadas encontradas no campo. As colunas serão previamente saturadas com carga hidráulica e fluxo ascendente. Após a saturação mede-se a condutividade do solo saturado pelo método de Klute (1965). A seguir o excesso de água será drenado por ação gravitacional por três dias. Serão adicionados ao topo uma solução contendo o agrotóxico e a cada 10 cm de profundidade da

coluna serão coletadas soluções do solo. Estas soluções serão analisadas por cromatografia. O resultado deste estudo indica qual é a profundidade que o agrotóxico atinge no solo.

Neste trabalho, será realizado um estudo de adsorção de agrotóxicos com maior potencial de contaminação nos solos das regiões. Os testes de adsorção/dessorção baseiam-se na determinação das isotermas de sorção de Freundlich do agrotóxico estudado (Basiley & White, 1970). O estudo de adsorção será realizado nos diferentes tipos de solos das áreas de estudo. Para determinar as isotermas de adsorção, as amostras dos solos, em triplicatas, serão colocadas em tubos de polipropileno, contendo solução de cloreto de cálcio, e submetidas a agitação horizontal com cinco concentrações diferentes do agrotóxico. Após agitação as amostras serão centrifugadas e o sobrenadante analisado por cromatografia. A quantidade do agrotóxico adsorvida pelo solo é obtida pela diferença entre a concentração inicial das soluções e a concentração final ou concentração de equilíbrio (Lanças et al., 1994).

A meia vida dos agrotóxicos varia muito dependendo do pH do solo e da temperatura. Assim, a meia-vida será determinada através da curva de decaimento do agrotóxico incubando os solos com concentração conhecida e analisando sua concentração periodicamente. O tempo de meia vida corresponderá ao tempo necessário para que a sua concentração decresça 50%.

Serão realizadas pulverizações simuladas em campo, substituindo-se o agrotóxico pelo traçador fluorescente Rodamina B. A pulverização de calda contendo água e Rodamina B em concentração de 0,5 mg/L será realizada com pulverizador de barra, equipado com bicos tradicionalmente utilizados por produtores das áreas de estudo. A amostragem da deposição do traçador será realizada com alvos constituídos de cartões de 50 cm² papel de filtro com gramatura de 250 g/m². A extração do traçador das amostras será realizada com 50 mL de solução de água e Tween 80 em concentração de 0,1%. A quantificação do traçador será feita com fluorímetro Turner 450, utilizando filtro NB540 para excitação e SC585 para emissão. A qualificação da deposição da pulverização será efetuada com a utilização de papel sensível a água, sendo os parâmetros de tamanho e densidade de gotas analisados pelo programa de computador “Gotas”, desenvolvido em parceria pela Embrapa Meio Ambiente e Embrapa Informática Agropecuária.

4.5. Risco de contaminação

O simulador CMLS-94, “*Chemical Movement in Layered Soils*” (Nofziger & Hornsby, 1994), será utilizado em função: a) da quantidade de dados de entrada necessários para sua

utilização ser bem inferior ao demandado pelos outros simuladores elaborados para o mesmo fim; b) pela facilidade de obtenção do software (disponível na internet), sendo de fácil acesso a outros usuários; c) pelas informações que disponibiliza como resultados (profundidade e quantidade de produto) serem próprias ao estudo de previsão de contaminação de águas subterrâneas. Para efeito de simulações serão realizados cenários que permitam estimar a quantidade relativa de agrotóxicos presente no solo em qualquer instante de tempo, dentro do período estipulado para a simulação (3 anos).

Os dados necessários para a utilização do simulador são: a) temperaturas máxima e mínima diárias; b) pluviosidade diária; c) coeficientes de distribuição (K_{OC}) e meia-vida ($t_{1/2}$) dos agrotóxicos; d) percentagens de carbono orgânico, densidade aparente ($Mg\ m^{-3}$), capacidade de campo, ponto de murcha e saturação, para cada solo a ser estudado, nas profundidades determinadas pelo usuário; e) dados dos coeficientes culturais (K_c); f) Recomendações de doses (kg/ha) do agrotóxico utilizado, assim como a época (mês) e profundidade (cm) de lançamento do produto.

Os solos a serem simulados para efeito da verificação do comportamento dos agrotóxicos serão aqueles priorizados pelo levantamento dos solos predominantes da área. As características do agrotóxico (K_{oc} e $t_{1/2}$) utilizadas serão determinadas em estudos desse projeto, para os solos priorizados. Os agrotóxicos selecionados nas áreas de estudo serão simulados separadamente em cada solo analisado, utilizando-se o mesmo cenário base de cultivo e clima, para o período de três anos. Ao término desse período, serão comparadas as profundidades alcançadas, em metros, com as profundidades do lençol subterrâneo.

Os resultados obtidos indicarão para cada período simulado se os agrotóxicos irão ou não atingir profundidades comprometedoras ao lençol subterrâneo.

Os resultados obtidos (profundidades para os três anos) em simulações dos agrotóxicos nos solos predominantes das áreas piloto das regiões em estudo serão inseridos como mais um Plano de Informação no SIG. Essa informação mais os Planos de Informação de Profundidades dos lençóis e de Uso das terras serão cruzados (operações de análise geográfica), de forma a se obter um mapa de alto risco de contaminação. Posteriormente a área de alto risco será calculada.

A partir da informação da localização das áreas pilotos, viabilizada pelo projeto, representativas dos sistemas produtivos, serão identificados os pontos de coleta das amostras. Serão coletadas dez amostras a cada 4 meses por um período de um ano e meio. As amostras

serão analisadas de acordo com o método multiresíduos desenvolvido neste trabalho. Esta avaliação permitirá verificar as implicações causadas pelo uso intensivo de agrotóxicos nestas áreas.

4.6. Ordenamento agroambiental

A concepção do ordenamento agroambiental engloba a proposta de Figueiredo et al., (2000) para o zoneamento agrícola/florestal com aquelas do zoneamento ambiental proposta por Ribeiro (1994) e Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 1997). Essa integração requer uma base de informações fundamentada em: a) levantamento das características fisiográficas e de uso agrícola das áreas a serem estudadas; b) avaliação da vulnerabilidade natural; c) classificação da capacidade de uso das terras e determinação de áreas de conflito; c) qualificação e quantificação dos agrotóxicos de maior risco para a água subterrânea; d) realização de estudos de risco de contaminação da água subterrânea; e) identificação do perfil sócio-econômico e cultural dos produtores localizados nas áreas de estudo.

A **Figura 3**, a seguir, exibe o diagrama com a proposição do ordenamento agroambiental, considerando uma área em São Paulo e outra no Rio Grande do Sul.

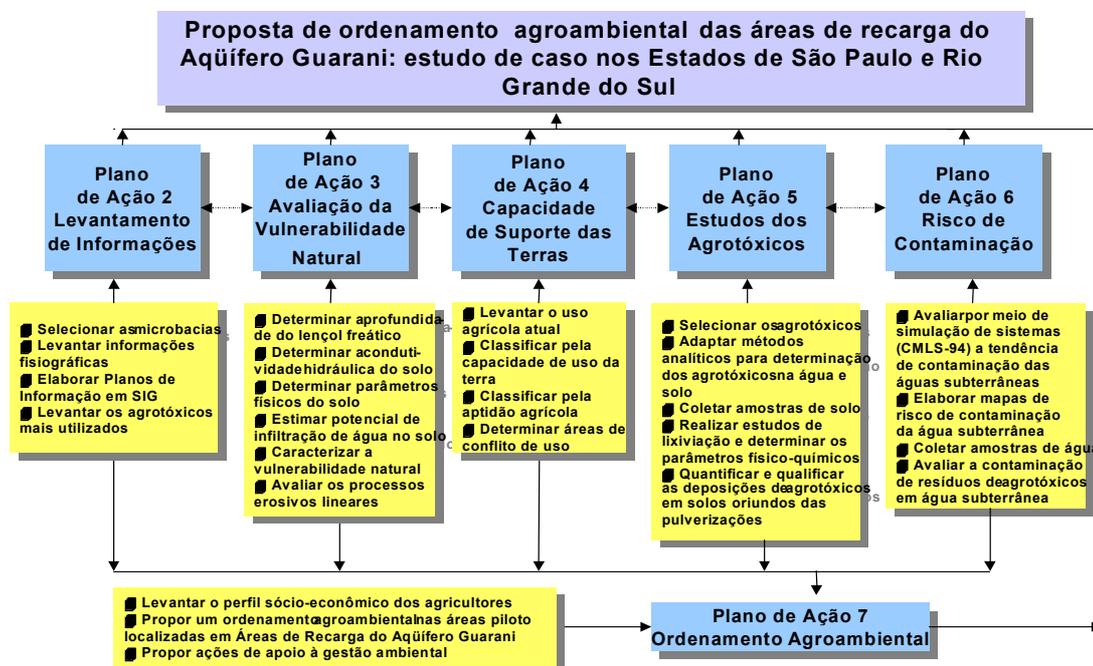


Figura 3. Diagrama dos planos de execução para obtenção do Ordenamento Agroambiental.

5. Considerações Finais

A proposta de Ordenamento Agroambiental para as áreas de recarga do Aquífero Guarani em território brasileiro, dará subsídios a diversas ações voltadas para a sustentabilidade de áreas frágeis ou de alta vulnerabilidade natural. Nesse sentido, a contribuição será na forma de um documento orientador para formulação de políticas públicas para essas áreas, bem como de uma cartilha de *Boas Práticas Agrícolas*, ajustadas para cada domínio pedomorfoagrocimático.

Nesse contexto, haverá também uma contribuição para o programa de Zoneamento Ecológico-Econômico do Ministério do Meio Ambiente, dentro do escopo de racionalização da ocupação do espaço territorial e do redirecionamento das atividades, convergindo assim para o Ordenamento Agroambiental ora proposto.

Em síntese, a expectativa é a de que o presente trabalho possa, efetivamente, contribuir com o processo de gestão sustentável do Aquífero Guarani, considerando as atividades em suas áreas de recarga no Brasil.

Referências

ARAÚJO, L.M.; FRANÇA, A.B.; POTTER, P.E. **Aquífero gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai**: mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Curitiba: UFPR/Petrobrás, 1995. 16 p. (9 mapas).

BASILEY, G. W.; WHITE, J. L. Factors influencing the adsorption, desorption and movement of pesticides in soil. **Residue Reviews**, v. 32, p. 29-91, 1970.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Brasília, 1997. 43 p.

DAEE/IPT. **Controle de erosão**: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas. São Paulo: Secretaria de Energia e Saneamento, Depto. de Águas e Energia Elétrica, 1989. 92 p.

EMATER. **Programa de assistência técnica e extensão rural – Proater**. Mineiros: EMATER-Escritório Local Mineiros, 1995. 27 p.

EMBRAPA Meio Ambiente. **Impacto ambiental e implicações sócio-econômicas da agricultura intensiva em água subterrânea**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 43 p. (Relatório de projeto).

- EMBRAPA Meio Ambiente. **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani e implicações na qualidade da água subterrânea**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2002. 32 p. (Relatório de projeto).
- EPAGRI. **Zoneamento agroambiental**. Florianópolis: EPAGRI, 1997. CD-ROM.
- FERNANDES, C.E.M. **Fundamentos de prospecção geofísica**. Rio de Janeiro: Interciência, 1984. 190p.
- FIGUEIREDO, E. O.; ASSIS, L.D.; COSTA, J.; RECCO, R.D. **Proposta metodológica para o zoneamento florestal pós-estratificado**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 17 p. (Embrapa Acre. Documentos, 54).
- FOSTER, S.; HIRATA, R. **Determinação de risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. 92 p. (Instituto Geológico. Boletim, 10).
- FRANQUIN, P.; FOREST, F. Des programmes d'évaluation et analyse fréquentielles des termes du balance hydrique. **L'agronomie Tropicale**, v. 32, n. 1, p. 1-22, 1984.
- GOMES, M. A .F.; NEVES, M.C.; SPADOTTO, C. A ; LUIZ, A .J.B. Mapeamento expedito dos potenciais de infiltração e de escoamento superficial da água para os solos da microbacia do Córrego do Espraiado em Ribeirão Preto-SP. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Piracicaba: SBCS/ESALQ, 1996. 4 p. CD-ROM.
- GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C.; LANCHOTTE, V. L. Ocorrência do herbicida tebuthiuron na água subterrânea da microbacia do Córrego Espraiado, Ribeirão Preto-SP. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 11, p. 65-76, 2001.
- GOMES, M. A.F.; SPADOTTO, C. A.; PESSOA, M.C.P.Y. Avaliação da vulnerabilidade natural do solo em áreas agrícolas: subsídio à avaliação do risco de contaminação do lençol freático por agroquímicos. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 12, p. 169-179, 2002 a.
- GOMES, M.A.F.; FILIZOLA, H.F.; SPADOTTO, C.A. Uso agrícola das áreas de recarga do Aquífero Guarani e implicações na qualidade da água subterrânea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA E MERCOSOJA, 2., 2002, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2002 b. p. 36-42.
- GUSTAFSON, D.I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.8, p. 339-357, 1989.
- IAPAR. **Caracterização da estrutura de produção agropecuária do Estado do Paraná**. Londrina, 2002. 1p. (Informe Técnico, 01/2002).
- INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E ECONOMIA AGRÍCOLA. **Síntese anual de agricultura de Santa Catarina – 1998 – 1999**. Florianópolis, 1999. 159 p.
- KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 210-221.

LANÇAS, F.M.; VILEGAS, J.H.Y.; GALHIANE, M. S. Uso de técnicas cromatográficas para a avaliação de propriedades físico-químicas de pesticidas em solos. I. Determinação de adsorção/dessorção. **Pesticidas: Revista Técnico Científica**, v. 4., p. 39-48, 1994.

LESPCH, I.F.; BELLINAZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D.; ESPINDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**: 4ª aproximação,, 2ª imp. revisada. Campinas: SBCS, 1991. 175 p.

NOFZIGER, D.L.; HORNSBY, A. G. **CMLS-94 – Chemical Movement in Layered Soils**. Oklahoma: University of Florida, Department of Agronomy, 1994. 76 p.

PESSOA, M.C.P.Y.; GOMES, M. A. F.; DORNELAS DE SOUSA, M.; NICOLELLA, G.; CERDEIRA, A. L.; MONTICELLI, A. Simulação do movimento de herbicidas utilizados no monocultivo de cana-de-açúcar em Areia Quartzosa da área de recarga do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto,SP. **Revista Científica Rural**, v. 3, n. 2, p. 11-19, 1998.

PESSOA, M.C.P.Y.; GOMES, M. A. F.; DORNELAS DE SOUSA, M.; NICOLELLA, G.; CERDEIRA, A. L.; MONTICELLI, A. Simulação do movimento de herbicidas utilizados no monocultivo de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho-Escuro da área de recarga do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto, SP. **Revista Científica Rural**, v. 4, n. 1, p. 15-24, 1999.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E. G.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Brasília: SUPLAN/Embrapa/SNLCS, 1978. 70p.

RIBEIRO, M. A. **Zoneamento ambiental**. Belo Horizonte: IGA/CETEC-MG, 1994. 21 p.

ROCHA, G.A. **Mega reservatório de água subterrânea do Cone Sul**: bases para uma política de desenvolvimento e gestão. Curitiba: UFPR/IDRC, 1996. 25 p.