

VULNERABILIDADE NATURAL DAS GRANDES BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS À TENDÊNCIA DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS POR AGROTÓXICOS EM FUNÇÃO DOS TIPOS DE SOLOS PREDOMINANTES

MARIA CONCEIÇÃO PERES YOUNG PESSOA*
MARCO ANTONIO F. GOMES**
SHIRLEI SCRAMIN***
ADERALDO DE SOUZA SILVA****
KARIM CAZERIS GUSSAKOV*****

Este trabalho apresenta uma análise exploratória preliminar da vulnerabilidade natural das bacias hidrográficas brasileiras à tendência potencial de contaminação de águas por agrotóxicos em função dos seus tipos de solos predominantes. Foram utilizados mapas de solos das bacias hidrográficas, disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica e método que permite generalizar a tendência principal do movimento dos agrotóxicos de acordo com as características predominantes do horizonte B dos solos e outros critérios inerentes às suas propriedades. Mapas das áreas das bacias com maiores tendências à lixiviação foram apresentados e junto aos outros resultados sinalizaram tendências de contaminação em amplas faixas de todas as bacias estudadas, sendo úteis para avaliações futuras de contaminação de águas superficiais e subterrâneas no contexto de planejamento ambiental local. Quando mapas em maiores escalas de refinamento estiverem disponíveis será possível ressaltar diferenças de ordem físico-químicas na mesma classe de solo.

PALAVRAS-CHAVE: AGROTÓXICOS; LIXIVIAÇÃO; SOLOS; IMPACTO AMBIENTAL; RECURSOS HÍDRICOS.

- * Matemática de Sistemas e Computacional, Doutora em Engenharia Elétrica (Automação), Pesquisadora, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP (email: Young@cnpma.embrapa.br - mypeessoa@terra.com.br).
- ** Geólogo, Doctor Scientiae em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador, Embrapa Meio Ambiente.
- *** Farmacêutica Bioquímica, Doutora em Química de Produtos Naturais, Pesquisadora, Embrapa Meio Ambiente.
- **** Engenheiro Agrônomo, Doutor em Impacto Ambiental, Pesquisador, Embrapa Meio Ambiente.
- ***** Graduanda em Tecnologia Sanitária, Universidade Estadual de Campinas (estagiária Embrapa Convênio Embrapa/UNICAMP).

1 INTRODUÇÃO

A conservação da qualidade da água para consumo humano é foco mundial de observação, dado que esse recurso natural tem se tornado cada vez mais escasso e exposto a diversas fontes de contaminação de origem antrópica.

As atividades agropecuárias realizadas no Brasil são dependentes de agroquímicos, e demandam estudos do impacto desses produtos no ambiente. O uso de agrotóxicos no controle de pragas e doenças de diversos cultivos existentes nos estados brasileiros vêm colocando o país entre os maiores usuários desses compostos, conforme informações do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos da ANVISA. Relatório desse programa, publicado em 2005, ressalta que o Brasil consumiu cerca de US\$ 4,2 bilhões de agrotóxicos no ano anterior, e que quando avaliado o consumo nos dez países, que representam cerca de 70% do mercado mundial, o Brasil aparece na 4ª. posição no ranking (UNICAMP, 2006).

O impacto ambiental negativo de práticas inadequadas de uso de agrotóxicos tem sido evidenciado em trabalhos sobre as perdas de produtos aplicados para os diferentes compartimentos do ambiente (FERRACINI et al., 2001; FILIZOLA et al., 2002; CERDEIRA et al., 2002) e suas implicações para a saúde humana, além de avaliações da eficiência da aplicação dos produtos e de equipamentos (CHAIM et al., 2002; CHAIM et al., 2004). Tais perdas podem provocar contaminações em áreas não-alvo, resistência aos produtos aplicados, bem como problemas nas águas superficiais e subterrâneas, entre outros relatados na literatura. Alguns trabalhos apontam que a presença de herbicidas no ambiente aquático pode interferir também na qualidade da água para diferentes usos. Sendo fonte de alimento de organismos e de vegetação, a bioacumulação desses produtos pode reduzir populações e interferir na cadeia alimentar de outros organismos. Trabalhos da Environmental Protection Agency (EPA-USA) registram que, muitas vezes, mesmo agrotóxicos não-tóxicos podem se tornar letais em combinação com outros presentes no mesmo local (WATERSHED PROTECTION EPA-OFFICE OF WATER, 2004).

Existem fatores que aceleram a movimentação de agrotóxicos na superfície e no perfil do solo, favorecendo a contaminação de águas superficial e/ou subterrânea. O agrotóxico pode ser transportado ao sistema aquático, principalmente, pela aplicação direta nas proximidades dos corpos d'água, deriva, escoamento superficial (ou "run-off") de partículas do solo ou da água de chuva contendo os produtos aplicados e por volatilização, entre outros. Além de aspectos abióticos do ambiente e de manejos de solo, da água e da cultura, também devem ser considerados os fatores associados com a tecnologia de aplicação de agrotóxicos.

Características próprias do local em que os produtos são aplicados possibilitam avaliar a tendência natural de transporte dos agrotóxicos, subsidiando informações imprescindíveis ao planejamento ambiental local. As avaliações dessas tendências devem priorizar aspectos que possibilitem visualizar sua interrelação com outros fatores do ambiente. Entre esses, citam-se os aspectos geológicos e pedológicos como essenciais para caracterizar, avaliar e efetuar prognósticos de áreas agrícolas. Nesse contexto, maior ênfase vem sendo dada ao estudo da cobertura pedológica relativamente profunda nas regiões tropicais por tratar-se do local em que as atividades humanas estão sendo efetivamente desenvolvidas (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 1999).

Segundo BOTELHO (1999) "entende-se por Bacia Hidrográfica, ou Bacia de Drenagem, a área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, sendo limitada pelos divisores de água". Apesar de poucos estudos detalhados de solos em escalas necessárias ao efetivo planejamento ambiental de bacias hidrográficas, algumas informações foram disponibilizadas pela ANEEL (2000) para as principais bacias hidrográficas brasileiras. Essas informações sinalizam a aplicabilidade de métodos para inferir a movimentação de água no perfil do solo e, conseqüentemente, o potencial de lixiviação dos agrotóxicos nele aplicados ou sua condução por escoamento superficial.

Neste trabalho efetuou-se análise exploratória preliminar da vulnerabilidade natural das bacias hidrográficas brasileiras, relacionada com a tendência potencial à contaminação de águas por agrotóxicos em função dos seus tipos de solos predominantes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Foram utilizadas informações dos mapas de tipos de solos predominantes em cada Bacia Hidrográfica, disponibilizados no CD-ROM do Sistema de Informações Georeferenciais de Energia e Hidrologia (HIDROGEO) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2000). Deve-se salientar que a Resolução n. 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2003) alterou o número de Bacias Hidrográficas brasileiras para 12 (Amazônia, Atlântico Nordeste Ocidental, Tocantins-Araguaia, Paraguai, Parnaíba, São Francisco, Paraná, Uruguai, Atlântico Nordeste Oriental, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste e Atlântico Sul). No entanto, utilizou-se a divisão anterior neste trabalho em razão da ausência de informações georreferenciadas dos solos na nova classificação.

Como a legenda dos mapas contemplava a antiga nomenclatura de classificação dos solos foram apresentadas nas Tabelas 1 a 4 a nova classificação e sua correspondência com a antiga. Também foram utilizados os recursos do ESRI ArcExplorer versão 1.1.488, disponibilizado no HIDROGEO para a elaboração dos mapas de resultados.

2.2 MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL PELO TIPO DE SOLO

O potencial de contaminação de águas foi avaliado segundo método apresentado por SPADOTTO, GOMES e RODRIGUES (1998). Segundo esses autores é possível generalizar a tendência principal de movimento de agrotóxicos de acordo com as características predominantes do horizonte B dos solos, considerando principalmente os Latossolos e os Argissolos que são representativos dos solos agrícolas brasileiros.

O processo de lixiviação de agrotóxicos para águas subterrâneas é favorecido em solos com horizonte B latossólico, geralmente profundos e bem drenados, apresentando boa agregação de partículas e argilas com baixa atividade. Nesses solos, os processos erosivos são menos susceptíveis. A presença dos horizontes diagnósticos sub-superficiais dos tipos B textural e incipiente, típicos dos ARGISSOLOS E CAMBISSOLOS, respectivamente, também representa potencial de transporte para a água superficial, favorecendo a contaminação desses mananciais (OLIVEIRA, JACOMINE e CAMARGO, 1992; EMBRAPA, 1999). Geralmente, os horizontes B textural e incipiente são pouco profundos (com algumas exceções) e relativamente drenados a mal drenados, com argila de alta atividade, contribuindo para a adsorção dos agrotóxicos às camadas mais superficiais do solo. A ocorrência de grande diferença de textura entre os horizontes superficiais e sub-superficiais, aliada quase sempre à baixa espessura do horizonte B e ao manejo incorreto do solo, propicia o desencadeamento de processos erosivos, principalmente em áreas com relevo mais acidentado dos tipos ondulado até forte ondulado (STRECK et al., 2002). Dessa forma, os ARGISSOLOS E CAMBISSOLOS apresentam tendências à contaminação de águas superficiais por meio de agrotóxicos que adsorvidos aos sedimentos são carregados via escoamento superficial.

Nos PLINTOSSOLOS, GLEISSOLOS e NEOSSOLOS (tipos Litólicos, Flúvicos e Regolíticos) não existe horizonte B. Nesse caso, acrescentou-se novo critério ao método apresentado por SPADOTTO, GOMES e RODRIGUES (1998), fundamentado em informações contidas no sistema brasileiro de classificação dos solos (EMBRAPA, 1999) para considerá-los como propícios à contaminação de águas superficiais. Esse critério teve como parâmetros a pequena profundidade, que normalmente apresentam esses solos, e a estrutura dos tipos maciça a prismática que conforme salientado por OLIVEIRA et al. (1992), EMBRAPA (1999) e STRECK et al. (2002) dificultam em parte a infiltração de água. Exceceu-se o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, que é profundo, com excelente potencial de infiltração e que não tem horizonte B, evidenciando condição favorável à lixiviação (EMBRAPA, 1999).

TABELA 1 – TIPOS DE SOLOS PREDOMINANTES NAS BACIAS DO RIO TOCANTINS E DO ATLÂNTICO TRECHO NORTE/NORDESTE

Tipo de solo	Classificação anterior	Bacia do Rio Tocantins	Bacia do Norte/Nordeste	Atlântico	Trecho
ARGISSOLOS	Podzólicos	Grandes áreas concentradas a norte; áreas expressivas a sudeste, sul e central; poucas áreas dispersas a oeste, sudoeste e nordeste	Poucas áreas a sudoeste e área considerável a sudeste	Grandes áreas concentradas a noroeste e oeste, poucas áreas ao sul, sudoeste e áreas significativas dispersas ao norte, nordeste e sudoeste	
CAMBISSOLOS	Cambissolos			Poucas áreas a nordeste	
ESPODOSSOLOS	Podzol	Não identificados em função da escala		Quase imperceptível área ao sudoeste	
GLEISSOLOS	Gley	Poucas áreas ao norte e ao sul; áreas consideráveis a oeste e sudoeste		Pouquíssimas áreas ao norte e noroeste	
LATOSSOLOS	Latossolos	Predomina na bacia; grandes áreas no extremo norte, centro, sul e sudoeste; áreas espaçadas a sudeste e poucas áreas a oeste, noroeste, nordeste e leste		Predomina na bacia; grandes áreas concentradas a noroeste e oeste e dispersas ao centro, sudoeste e sul; poucas áreas a norte e sudoeste	
NEOSSOLOS FLÚVICOS	Aluviais	Não identificados em função da escala		Muito poucas áreas a norte e nordeste	
NEOSSOLOS LITÓLICOS	Litólicos	Pouquíssimas áreas dispersas a noroeste, oeste, norte, nordeste, central, sudoeste e sul		Grande quantidade de áreas dispersas ao centro, nordeste, leste, sudoeste, sul e sudoeste; poucas áreas ao norte e oeste	
NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS	Arenoquartzosos profundos	Grande área a sudoeste e leste; áreas consideráveis a nordeste e centro; poucas áreas no sudoeste		Grande área ao norte e centro; áreas significativas dispersas a sudoeste, centro-sul e extremo nordeste	
NITOSSOLOS	Terra estruturada Roxa	Poucas áreas a nordeste sul; pouco mais concentradas a sudoeste		Praticamente inexistente com ínfimas áreas no nordeste	
PLANOSSOLOS	Planossolos	Não identificados em função da escala		Poucas áreas a nordeste, leste e sudoeste	
PLINTOSSOLOS PÉTRICOS	Concrecionários Lateríticos	Pouca área a sudoeste e leste e área considerável a nordeste		Áreas significativas dispersas a oeste e centradas a norte pouquíssimas áreas dispersas ao centro	
PLINTOSSOLOS ARGILÚVICOS	Lateritas Hidromórficas	Áreas dispersas a sudoeste, grandes áreas a oeste, noroeste e parte do sudoeste, além de poucas áreas na faixa central		Áreas a nordeste e norte	
VERTISSOLOS	Salinos	Não identificados em função da escala		Pouquíssimas áreas dispersas em toda a faixa norte e ínfimas áreas no nordeste	

Fonte: baseado em mapas da ANEEL(2000). Obs.: outros solos não-citados não foram identificados em função da escala.

TABELA 2 – TIPOS DE SOLOS PREDOMINANTES NAS BACIAS DO RIO SÃO FRANCISCO E DO RIO AMAZONAS

Tipo de solo	Classificação anterior	Bacia do Rio São Francisco	Bacia do Rio Amazonas
ARGISSOLOS	Podzólicos	Áreas concentradas na parte central e extremo sul; pequenas áreas esparsas ao norte, nordeste, sudeste, sudoeste e noroeste.	Grandes áreas ao oeste, sudoeste e leste com algumas concentrações no norte e nordeste da bacia, pouquíssimas ao sul e sudeste
CAMBISSOLOS	Cambissolos	Grandes áreas ao sul e nordeste, várias áreas esparsas a sudoeste e poucas áreas a leste	Pouca área concentrada a sudoeste
ESPODOSSOLOS	Podzol	Ínfima área no extremo nordeste	Grande área a noroeste
GLEISSOLOS	Gley	Poucas áreas a noroeste	áreas concentradas a nordeste e na faixa sudeste; dispersas a noroeste, oeste e sudoeste
LATOSSOLOS	Latossolos	Predominante em toda a bacia; em várias áreas com esparsa extensão no nordeste	Predomina na bacia, concentrando-se na faixa central de norte a sul, além de áreas expressivas a nordeste, sudeste e noroeste e de poucas áreas a sudoeste
NEOSSOLOS FLÚVICOS	Aluviais	Estreita faixa central de norte a sul	Pouquíssimas áreas na faixa noroeste, centro-norte, centro-nordeste, sudeste e nordeste
NEOSSOLOS LITÓLICOS	Litólicos	Áreas significativas, mas esparsas, na bacia com exceção da parte central, oeste e extremo sul	Poucas áreas ao extremo norte e concentradas no sudeste, parte do sul e sudoeste
NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS	Arenoquartzosos profundos	Predomina na faixa central-oeste, central-sul, sudoeste e noroeste; áreas significativas encontradas ao nordeste	Poucas áreas dispersas a noroeste, sul e outras ínfimas a nordeste, sudoeste e sudeste.
NITOSSOLOS	Terra Roxa estruturada	Poucas áreas na região central-sudeste e ao extremo sul-sudoeste	Pouquíssimas áreas ao extremo sul e outras praticamente desprezíveis dispersas no centro e nordeste
PLANOSSOLOS	Planossolos	Várias áreas esparsas ao nordeste	Praticamente inexistentes e presentes ao norte
PLINTOSSOLOS PÉTRICOS	Concrecionários Lateríticos	Não identificados em função da escala	Ínfimas áreas a nordeste e ao sul
PLINTOSSOLOS ARGILÚVICOS	Lateritas Hidromórficas	Não identificados em função da escala	Pouquíssimas áreas ao sul, norte e nordeste e uma área maior na faixa oeste, noroeste e sudeste mais próximas ao centro
VERTISSOLOS	Salinos	Não identificados em função da escala	Praticamente inexistentes (última área a nordeste)

Fonte: baseado em mapas da ANEEL(2000). Obs.: outros solos não-citados não foram identificados em função da escala.

TABELA 3 – TIPOS DE SOLOS PREDOMINANTES NAS BACIAS DO ATLÂNTICO TRECHO LESTE E DO RIO PARANÁ

Tipo de solo	Classificação anterior	Bacia do Atlântico – Trecho leste	Bacia do Rio Paraná
ARGISSOLOS	Podzólicos	Predominante na faixa central eixo norte-sul, com grande área próxima ao litoral nordeste e leste, áreas esparsas no sudeste, sudoeste, oeste, noroeste e norte	Presente em áreas expressivas mas esparsas a norte, nordeste, central, leste e sudeste; em pequenas áreas ao sudoeste e oeste
CAMBISSOLOS	Cambissolos	Poucas áreas ao sul, faixa longitudinal no extremo sudoeste, pouquíssimas áreas ao sudeste, na faixa central, noroeste, norte e nordeste	Concentra-se em poucas áreas ao sul e sudeste; áreas esparsas ao leste e nordeste
ESPODOSSOLOS	Podzol	Ínfimas áreas na faixa longitudinal litorânea de nordeste ao sudeste	poucas áreas a noroeste
GLEISSOLOS	Gley	Ínfimas áreas a leste, sudeste, sudoeste e sul	poucas áreas representadas por pequena faixa longitudinal no extremo eixo noroeste-sudoeste, no sudoeste
LATOSSOLOS	Latossolos	Predominante; esparsos no norte e nordeste, parte do central-leste e extremo sul, faixa longitudinal a oeste, noroeste e pequena faixa longitudinal a extremo sudeste	predominante; maiores concentrações ao extremo norte, nordeste e sudoeste; várias áreas ao extremo norte, nordeste e sudeste; áreas esparsas ao sul, sudeste e centro-leste
NEOSSOLOS FLÚVICOS	Aluviais	Ínfima área na região sudeste	Área do extremo oeste
NEOSSOLOS LITÓLICOS	Litólicos	Poucas áreas ao norte, nordeste, noroeste, extensa área longitudinal de oeste-sudoeste; áreas ínfimas esparsas ao centro-norte e sul	áreas consideráveis no sul e poucas áreas no oeste; em menor intensidade no noroeste, leste e em pequeníssimas áreas a noroeste
NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS	Arenoquartzosos profundos	Pouca área no extremo norte; ínfima área longitudinal litorânea no nordeste e extremo sul	grande área na faixa central-noroeste; poucas áreas presentes no sudoeste, sudeste e leste
NITOSSOLOS	Terra estruturada	Pequena área a sudeste e ínfima área ao sul	centro-sul e sudoeste; poucas áreas do sul e oeste e em áreas menores a leste
PLANOSSOLOS	Planossolos	Grande área ao norte; poucas áreas a nordeste e ínfimas áreas no extremo sul e noroeste	pequenas áreas esparsas a oeste
PLINTOSSOLOS PÉTRICOS	Concrecionários Lateríticos	Não identificados em função da escala	Única área presente a noroeste
PLINTOSSOLOS ARGILÚVICOS	Lateritas Hidromórficas	Não identificados em função da escala	Áreas predominantes a noroeste e pouca área a oeste
VERTISSOLOS	Salinos	Ínfimas áreas sudeste, nordeste e sul	Não encontrado

Fonte: baseado em mapas da ANEEL(2000). Obs.: outros solos não-citados não foram identificados em função da escala.

TABELA 4 – TIPOS DE SOLOS PREDOMINANTES NAS BACIAS DO RIO URUGUAI E DO ATLÂNTICO TRECHO SUDESTE

Tipo de solo	Classificação anterior	Bacia do Rio Uruguai	Bacia do Atlântico – trecho Sudeste
ARGISSOLOS	Podzólicos	Presente de forma predominante no sudeste e parte do sul da bacia	Áreas expressivas nas regiões norte, nordeste, noroeste e em parte do sul e sudeste
CAMBISSOLOS	Cambissolos	Grande parte do nordeste da bacia	Poucas áreas ao norte, nordeste, oeste e noroeste
ESPODOSSOLOS	Podzol	Não identificados em função da escala	Áreas ínfimas no nordeste da bacia
GLEISSOLOS	Gley	Não identificados em função da escala	Presente em ínfimas áreas a leste e nordeste
LATOSSOLOS	Latossolos	Predominante na bacia; grandes áreas na região nordeste, central, leste, oeste e poucas áreas ao centro-sul, centro-oeste, norte e nordeste	Poucas áreas na faixa central, leste e oeste, ínfimas áreas ao norte e nordeste da bacia
NEOSSOLOS LITÓLICOS	Litolíticos	Predominam na bacia; grandes áreas a oeste, norte, sudoeste, centro-norte e sudeste; poucas áreas no nordeste	Predominantes na faixa centro-oeste e sudoeste da bacia; presentes a noroeste
NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS	Arenoquartzosos profundos	Não identificados em função da escala	Fina e extensa área litorânea do nordeste ao sul
NITOSSOLOS	Terra estruturada Roxa	Grandes áreas a norte, extremo nordeste e oeste; pequenas áreas a nordeste e leste	Área significativa de oeste a leste
PLANOSSOLOS	Planossolos	Não identificados em função da escala	Poucas áreas a sudeste e sul em formato longitudinal, e fina faixa de área de oeste e leste
VERTISSOLOS	Salinos	Não identificados em função da escala	Áreas quase imperceptíveis no nordeste

Fonte: baseado em mapas da ANEEL(2000). Obs.: outros solos não-citados não foram identificados em função da escala.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

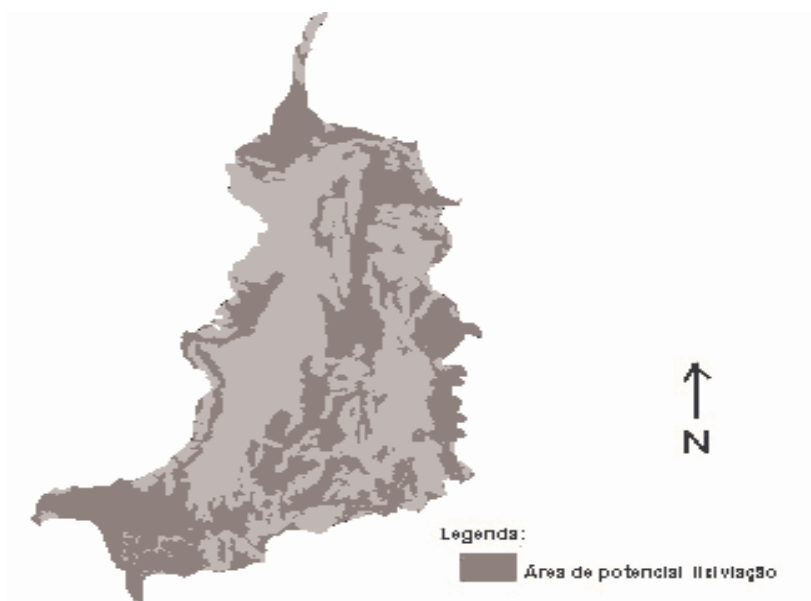
Mediante análise exploratória preliminar generalizou-se a tendência natural à contaminação de águas superficiais e subterrâneas por agrotóxicos em função da vulnerabilidade natural dos solos no que se refere à movimentação por transporte (principalmente lixiviação), estabelecidas de acordo com as características predominantes dos solos das principais bacias hidrográficas brasileiras.

Os solos predominantes na **Bacia do Rio Amazonas** apresentam perfil profundo (LATOSSOLOS, NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS profundos e NITOSSOLOS), que favorecem a lixiviação de agrotóxicos e oferecem riscos para a água subterrânea (Figura 1a). A faixa central de norte a sul da Bacia apresenta tendência potencial à contaminação por agrotóxicos dada a presença predominante de LATOSSOLOS. Os demais solos apresentam perfil raso e baixa permeabilidade, possibilitando o escoamento superficial e, portanto, conferindo tendência potencial à contaminação de águas superficiais.

FIGURA 1 - MAPAS DAS ÁREAS DE MAIOR TENDÊNCIA POTENCIAL À LIXIVIAÇÃO



a) Bacia do rio Amazonas



b) Bacia do rio Tocantins

Dada a presença predominante de LATOSSOLOS e de NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS profundos, a **Bacia do rio Tocantins** apresenta alta tendência potencial à contaminação de água subterrânea, principalmente a nordeste, extremo norte, leste, sudoeste, sul e centro-sul devido a lixiviação (Figura 1b). A presença de áreas expressivas de PLINTOSSOLOS e ARGISSOLOS, além de GLEISSOLOS e NEOSSOLOS, todos com perfil raso e baixa permeabilidade propicia o escoamento superficial e, portanto revela tendência natural à potencial contaminação superficial nas áreas em que ocorrem.

Na **Bacia do Atlântico – Trecho Norte/Nordeste** verificou-se predominância de LATOSSOLOS associados aos NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS profundos que favorecem a ocorrência de lixiviação, principalmente nas partes noroeste, oeste, central, sul e sudoeste da Bacia do Atlântico (trecho Norte/Nordeste). Portanto, essas áreas evidenciam tendência potencial de contaminação das águas subterrâneas por lixiviação (Figura 2a). A presença significativa de PLINTOSSOLOS e ARGISSOLOS revela tendência potencial de contaminação da água superficial por escoamento superficial no nordeste, sudeste e sul, e em parte do noroeste, norte e sudoeste.

A presença fortemente predominante de solos dos tipos LATOSSOLOS e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS profundos na **Bacia do Rio São Francisco** (perfil profundo) favorece a ocorrência de lixiviação e intensifica as tendências potenciais de contaminação de águas subterrâneas (Figura 2b). Na parte da faixa nordeste dessa bacia encontram-se, predominantemente, solos dos tipos PLANOSSOLOS, NEOSSOLOS, ARGISSOLOS e ESPODOSSOLOS que favorecem o transporte por escoamento superficial e, conseqüentemente, potencializam a tendência para contaminação de águas superficiais dessas áreas. A mesma tendência de contaminação pode ser verificada em parte da região sul da bacia, na qual predominam solos dos tipos ARGISSOLOS, NEOSSOLOS e CAMBISSOLOS.

A presença predominante de LATOSSOLOS na faixa central, sul, sudoeste, oeste, leste, e noroeste da **Bacia do Atlântico – Trecho Leste** favorece a tendência potencial à contaminação da água subterrânea (Figura 3a). As demais áreas apresentam tendência potencial de contaminação decorrente de escoamento artificial.

Na **Bacia do Rio Paraná** ocorrem grandes áreas com predominância de solos dos tipos LATOSSOLOS, NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS e NITOSSOLOS que favorecem tendências potenciais à contaminação de água subterrânea por lixiviação de agrotóxicos nas regiões centro-norte, norte, nordeste, sudoeste, sul e áreas do leste e sudoeste da bacia (Figura 3b). As demais áreas, dada a ocorrência de solos com perfil de rasa e baixas permeabilidades, estão vulneráveis à potencial contaminação de águas superficiais por escoamento superficial.

A tendência potencial de contaminação de água subterrânea por lixiviação de agrotóxico na **Bacia do Rio Uruguai** é favorecida ao norte, área central, leste e grande área do nordeste pela presença de LATOSSOLOS e NITOSSOLOS (Figura 4a). Os solos presentes nas demais áreas favorecem o escoamento superficial, tornando-se vulneráveis à potencial contaminação das águas superficiais por agrotóxicos.

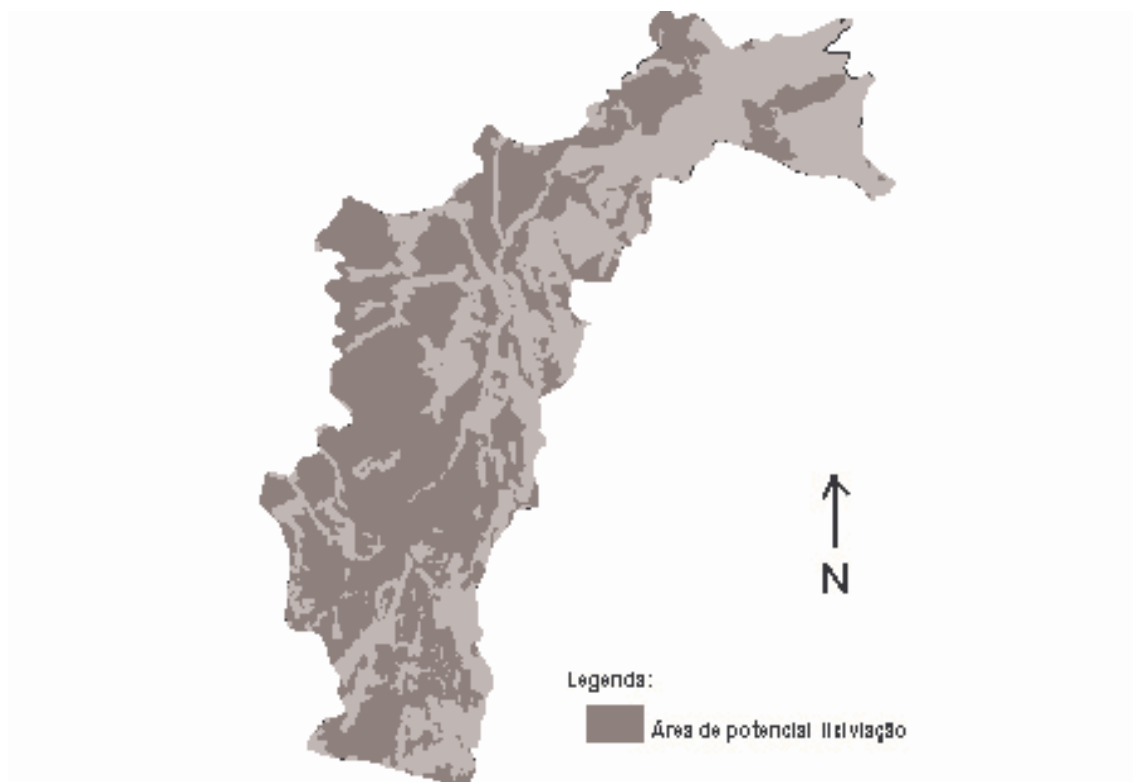
A presença de NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS em toda a faixa de área litorânea (nordeste a sul) da **Bacia do Atlântico - Trecho Sudeste** favorece a tendência potencial à lixiviação e, portanto, a decorrente contaminação da água subterrânea por agrotóxicos, assim como na faixa central-oeste-leste pela presença de LATOSSOLOS e NITOSSOLOS (Figura 4b). As demais áreas apresentam-se vulneráveis ao transporte por escoamento superficial e, como conseqüência, expostas ao potencial de contaminação da água superficial por esses produtos.

A presente avaliação constitui generalização da tendência principal do solo em função da escala pouco detalhada dos mapas disponíveis, que variam de 1:2.000.000 a 1:5.000.000. Sugere-se maior refinamento em novas propostas de pesquisa, utilizando mapas preferencialmente na escala de 1:5.000 (ou em escalas de 1:10.000, 1:25.000 ou 1:50.000) para ressaltar diferenças de ordem físico-químicas na mesma classe de solo.

FIGURA 2 - MAPAS DAS ÁREAS DE MAIOR TENDÊNCIA POTENCIAL À LIXIVIAÇÃO



a) Bacia do Atlântico—trecho Norte/Nordeste



b) Bacia do rio São Francisco

FIGURA 3 - MAPAS DAS ÁREAS DE MAIOR TENDÊNCIA POTENCIAL À LIXIVIAÇÃO

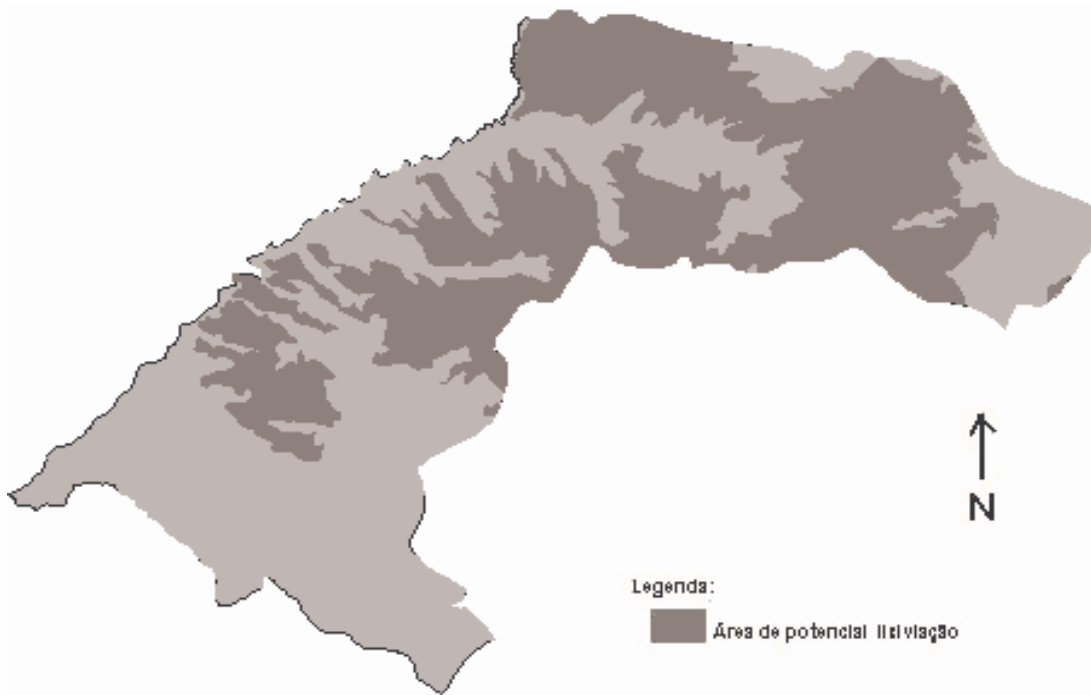


a) Bacia do Atlântico – trecho Leste

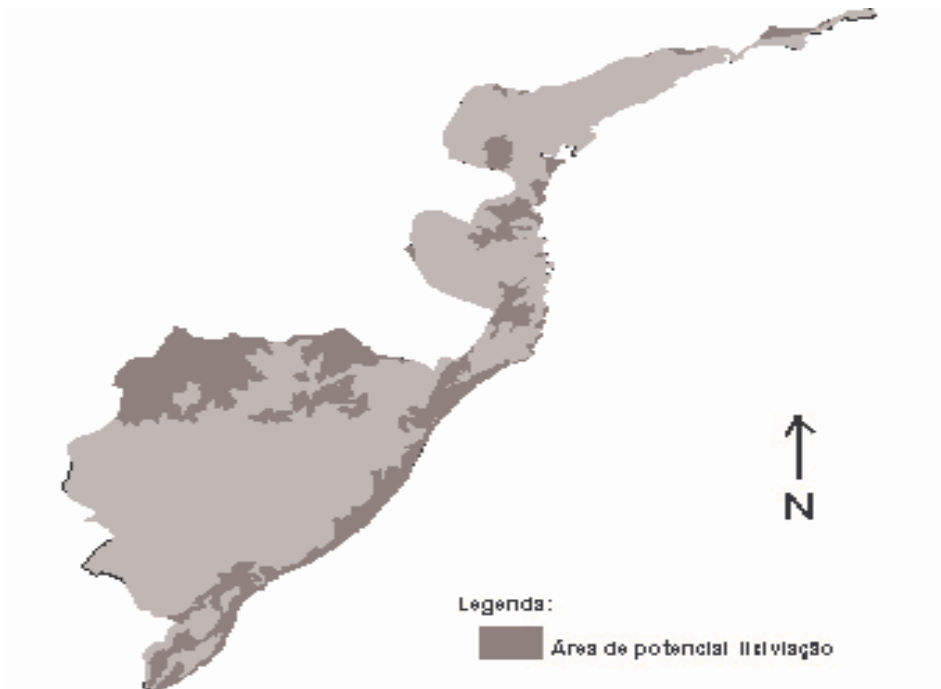


b) Bacia do rio Paraná

FIGURA 4 - MAPAS DAS ÁREAS DE MAIOR TENDÊNCIA POTENCIAL À LIXIVIAÇÃO



a) Bacia do rio Uruguai



b) Bacia do Atlântico –trecho Sudeste

Salienta-se também que na nova classificação, todos os solos lateríticos enquadram-se na classe dos **Plintossolos** e os solos aluviais e litólicos na classe dos **Neossolos**. Existem algumas exceções, mas que só devem ser abordadas quando se tratar de estudos pontuais realizados com escalas apresentando maior detalhamento. Esse tipo de estudo poderia ser substancialmente refinado com a disponibilidade de informações de agrotóxicos aplicados nas áreas identificadas, associadas ao uso de modelos matemáticos do tipo *screening* que facilitariam a priorização de produtos a serem monitorados nesses locais.

4 CONCLUSÃO

A predominância de solos com horizonte diagnóstico sub-superficial do tipo B Latossólico, típico dos LATOSSOLOS VERMELHOS, VERMELHO-AMARELOS e AMARELOS indicou **tendência potencial natural à contaminação de águas subterrâneas** na faixa central de norte a sul da Bacia Amazônica; nordeste, extremo norte, leste, sudoeste, sul e centro-sul da Bacia do Tocantins; parte noroeste, oeste, central, sul e sudoeste da Bacia do Atlântico – Trecho norte/nordeste; toda a Bacia do Rio São Francisco exceto parte da faixa nordeste; faixa central, sul, sudeste, oeste, leste, e noroeste da Bacia do Atlântico – Trecho leste; regiões centro-norte, norte, nordeste, sudoeste, sul e áreas do leste e sudeste da Bacia do Rio Paraná; norte, área central, leste e grande área do nordeste da Bacia do Rio Uruguai; toda a faixa de área litorânea (nordeste a sul) e faixa central-oeste-leste da Bacia do Atlântico-Trecho Sudeste. A presença dos horizontes diagnósticos sub-superficiais dos tipos B textural e incipiente, típicos dos ARGISSOLOS E CAMBISSOLOS respectivamente, evidenciou a **tendência potencial natural à contaminação de águas superficiais** das demais áreas da Bacia Amazônica. A presença de áreas expressivas de PLINTOSSOLOS e ARGISSOLOS, além de CAMBISSOLOS, GLEISSOLOS e NEOSSOLOS (exceção para o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO que é profundo e não tem horizonte B), favorecem escoamento superficial nas áreas em que ocorrem na Bacia do Tocantins; a nordeste, sudeste e sul, e em parte do noroeste, norte e sudeste da Bacia do Atlântico – Trecho norte/nordeste; faixa nordeste da Bacia do Rio São Francisco; demais áreas da Bacia do Atlântico – Trecho leste; demais áreas da Bacia do Rio Paraná; demais áreas da Bacia do rio Uruguai; demais áreas da Bacia do Atlântico - trecho sudeste.

A avaliação apresentada constitui generalização da tendência principal do solo em função da escala pouco detalhada dos mapas de solos disponíveis. Maior refinamento poderá ser obtido quando forem viabilizados mapas em escalas de 1:5.000, 1:10.000, 1:25.000 ou 1:50.000 de modo que o método ressalte as diferenças de ordem físico-químicas na mesma classe de solo.

ABSTRACT

NATURAL VULNERABILITY OF THE GREAT BRAZILIAN HYDROGRAPHIC BASINS TO TRENDS OF PESTICIDE WATER CONTAMINATION ACCORDING TO THE MAIN TYPE OF SOILS

The present work shows an exploratory analysis of the Brazilian Basin natural vulnerability to the water contamination potential trends by pesticide according to their main soil types. Soil maps of the Hydrographic Basins, given by the National Agency of Electric Energy, were used, as well as, a method that allows to generalize the main trend of the pesticide movement based on the main characteristics of the B horizon of each soil, including other necessary criterions about their properties. Basin maps, whose areas presented high potential trends for pesticide leaching, were also presented and along with other results potential demonstrated tendencies for contamination in large areas in all hydrographic basins, being useful for future evaluation of groundwater and superficial water contamination, as well as, for local environmental planning when more detailed scales of maps would be available, in order to show the differences in physico-chemical classes inside the same soil categories.

KEY-WORDS: PESTICIDES; LEACHING; SOILS; ENVIRONMENTAL IMPACT; HYDRIC RESOURCES.

REFERÊNCIAS

- 1 ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas (SGAN). **Sistema de Informações Georreferenciadas de Energia e Hidrologia (HIDROGEO)**. Brasília/DF, 2000. CD-ROM. (Edição Comemorativa do Dia Mundial da Água).
- 2 BOTELHO, R. G.M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J.T.; SILVA, A.S.da; BOTELHO, R.G.M. (Orgs.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 269 – 300.
- 3 BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Secretaria Recursos Hídricos. **RESOLUÇÃO Nº 32, de 15 de outubro de 2003**. Disponível em <http://www.cnrh-srh.gov.br/>. Acesso em: 02 set. de 2006.
- 4 CERDEIRA, A.L.; PESSOA, M.C.P.Y.; BONATO, P.S.; QUEIROZ, R.H.C.; LANCHOTE, V.L. Resíduos e lixiviação do herbicida picloram em água em área de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 3, n. 1, p. 75-81, 2002.
- 5 CHAIM, A.; PESSOA, M.C.P.Y.; NETO, J.C.; HERMES, L.C. Comparison of microscopic method and computational program for pesticide deposition evaluation of spraying. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 493-496, abr. 2002.
- 6 CHAIM, A.; PESSOA, M.C.P.Y.; FERRACINI, V.L. Eficiência de deposição de pulverização em videira, comparando bicos e pulverizadores. **Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, v. 14, p. 39-46, jan./dez. 2004.
- 7 EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- 8 FERRACINI, V.L.; PESSOA, M.C.Y.P.; SILVA, A.S.; SPADOTTO, C.A. Análise de risco de contaminações das águas subterrâneas e superficiais da Região de Petrolina/PE e Juazeiro/BA. **Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, v. 11, p. 1-16, jan./dez. 2001.
- 9 FILIZOLA, H.; PESSOA, M.C.P.Y.; GOMES, M.A.F.; SOUZA, M.D. de. Contaminação dos solos em áreas agrícolas. In: MANZATO, C.V.; FREITAS JR, E. de; PERES, J.R.R. (Eds). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 79- 85 (Cap. 7).
- 10 GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.da; BOTELHO, R.G.M. (Orgs). **Erosão e conservação dos solos - conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340 p.
- 11 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.
- 12 OLIVEIRA, J.B. de.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu conhecimento**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.
- 13 SPADOTTO, C.A.; GOMES, M.A; RODRIGUES, G.S. Uso de agrotóxicos nas diferentes regiões brasileiras: subsídios para a geomedicina. **Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, Curitiba, v.8, p.111-126, jan./dez. 1998.
- 14 TRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. do; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002.
- 15 UNICAMP. Universidade Estadual de Campinas. **CPQBA aumenta poder de controle sobre alimentos agrícolas contaminados**. Disponível em: http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/setembro2006/ju337pag04.html. Acesso em: 02 set. de 2006.
- 16 WATERSHED PROTECTION EPA-OFFICE OF WATER. Disponível em: <http://www.epa.gov/OWOW/NPS/MMGI/Chapter2/ch2-1.html>. Acesso em: 10 maio de 2004.