

Estudo da Vulnerabilidade de Contaminação de Aquífero por Agrotóxicos, na Região de Descalvado e Analândia (SP)

Débora Riva Tavanti, Sarita de Moura, Fabiana Zanquetta de Azevedo, Tatiana Gakiya Medvedchikoff
Leonardo Rodrigues de Deus, Marco Antônio Albano Moreira, Reinaldo Lorand
Cláudio Jorge Caçado, Maria Márcia Rozales Martins

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
Grupo de Geologia de Planejamento do Meio Físico - UFSCAR
lorandi@ufscar.br

Recebido: 25/07/07 – revisado: 17/09/08 – aceito: 09/03/09

RESUMO

De modo geral, a aplicação de produtos químicos aos solos resultam em graus de impactos toxicológico e ambiental diferentes para cada cultura, sendo que sua utilização pode causar um acúmulo de elementos e/ou compostos tóxicos em níveis indesejáveis. Quanto à contaminação das águas subterrâneas, esta ocorre quando os agrotóxicos são percolados verticalmente pelo solo. Como a maior ou menor mobilidade desses agrotóxicos depende de diversos fatores, tais como, tipo de solo, clima, geologia, geomorfologia e formas de aplicação do mesmo. No presente trabalho avaliou-se além desses itens, o impacto causado pela percolação dos agrotóxicos até os aquíferos, traçando-se uma carta de zoneamento de vulnerabilidade de risco na escala 1:50.000 na região de Descalvado e Analândia (SP), através de técnicas de geoprocessamento.

Palavras-chave: águas subterrâneas; vulnerabilidade de risco, produto agroindustrial.

INTRODUÇÃO

O uso de agrotóxicos tem se mostrado eficiente no combate às pragas. No entanto, traz como conseqüências impactos negativos, tanto no meio ambiente quanto para as pessoas que estão em contato direto com o produto, pois a composição química destes agentes são consideradas tóxicas. Algumas influências negativas se dão de forma gradativa, seja pelo uso da água considerada potável ou, como afirma Rissato (2004), pelo efeito cumulativo e prejudicial que ocorre pela transferência de pequenas quantidades ao longo de cadeias alimentares. Caldas & Souza (2000), alerta para que esses compostos são potencialmente tóxicos ao homem, podendo causar efeitos adversos ao sistema nervoso central e periférico, ter ação imunodepressora ou ser cancerígeno, entre outros.

O presente artigo tem como objetivo fazer uma avaliação sobre o uso de agrotóxicos na região de Descalvado e Analândia através do impacto causado pela contaminação das águas subterrâneas, traçando uma carta de zoneamento de vulnerabilidade de risco.

AGROTÓXICOS: ASPECTOS LEGAIS

A legislação estabelece normas e critérios para a realização de testes preliminares para a avaliação ecotoxicológica de agrotóxicos, que permite a classificação toxicológica do produto e a sua classificação ambiental. Porém, a legislação brasileira não define limites máximos e parâmetros de resíduos para qualquer pesticida em solos.

A comercialização dos agrotóxicos e afins, somente é realizada após seu registro junto aos órgãos de controle, onde faz-se necessário a elaboração de estudos que demonstrem seu impacto ao ambiente, aos recursos naturais e à saúde.

A Portaria Normativa IBAMA nº 84/96 (Brasil, 1996) estabelece procedimentos a serem adotados junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), para efeito de registro e avaliação do potencial de periculosidade ambiental (PPA) de agrotóxicos, seus componentes e afins, que compreende diversos subsistemas entre eles. Esta classificação, estabelece o potencial de periculosidade ambiental, baseada em parâmetros de bioacumulação, persistência, transporte, toxicidade a diversos organismos, potencial mutagênico, teratogênico, carcinogênico.

Para garantir a segurança no uso dos agrotóxicos, existem leis pertinentes estabelecidas tanto na instância federal, como nas estaduais.

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUA RELAÇÃO COM AS ATIVIDADES AGRÍCOLAS

Os problemas relacionados com a água superficial, em especial as questões relacionadas com seu uso indiscriminado e poluição, indicaram a necessidade de novas fontes para abastecimento público.

A reserva hídrica subterrânea brasileira é expressiva. Para tanto, a proteção das águas subterrâneas depende, em essência, das práticas e atividades adotadas na superfície. Conforme indicado no ciclo hidrológico, existe uma comunicação entre as águas superficiais e as subterrâneas.

Dentro deste contexto, vale citar o sistema de recarga de aquíferos e lençóis freáticos onde ocorre uma movimentação rápida e considerável na Zona Saturada do sistema.

Para tanto, a identificação dos riscos de contaminação da água subterrânea, considerando os aspectos físicos, geológicos, clima, a atividade agrícola, os agrotóxicos e afins utilizados, compõem um importante instrumento de gestão ambiental que visa a proteção dos mananciais subterrâneos (Lorandi et al, 2008).

CARACTERIZAÇÃO DOS AGROTÓXICOS

Segundo o Decreto 4074/2002 (Brasil, 2002), os agrotóxicos são “produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou plantadas, e de outros ecossistemas e de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como as substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento”.

Em visita à Cooperativa Agropecuária do Vale do Mogi-Guaçu (COOPERVAM), foram identificados os agrotóxicos mais utilizados para as culturas estudadas, tais como cana-de-açúcar e citros, e os procedimentos adotados pelos usuários e as orientações técnicas para manuseio do produto. Estima-se

que cerca de 90% das áreas utilizadas para agricultura são representadas pelo plantio de laranja, cana de açúcar e braquiária (pastagem).

Considerando as informações obtidas junto a COOPERVAM e as características ambientais dos principais produtos utilizados na região, foi possível identificar os agrotóxicos com maior grau de impacto toxicológico e ambiental para cada cultura, destacando-se: Furadan 350 (carbofuran), Regente Wg (Fipronil), Temik (aldicarb) e Actara (thiamethoxam).

PROBLEMÁTICA DA CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS POR AGROTÓXICOS

Entre os agrotóxicos aplicados nas culturas, os inseticidas representam os causadores de maior impacto ambiental, especialmente na cultura da cana-de-açúcar, pois são aplicados diretamente no solo. Desta forma, os demais tipos de agrotóxicos, incluindo-se herbicidas e fungicidas não foram considerados no presente estudo.

Na região, a cultura de braquiárias, apesar de sua representativa extensão ocupacional, mostrou pouca expressividade de impacto relacionado ao uso de inseticidas.

Assim, o estudo considerou apenas os dados de maior relevância, ou seja, os inseticidas e sua aplicação nas culturas de cana-de-açúcar e citros; bem como os fatores geoambientais para elaboração da carta de áreas de influência resultantes da contaminação por agrotóxicos na região de Descalvado e Analândia.

É importante lembrar que diversos fatores podem influenciar no comportamento dos inseticidas no ambiente, tais como, tipo de solo, clima, geologia, geomorfologia, e formas de aplicação do mesmo (Khan,1980).

Considerando a preocupação da contaminação das águas por agrotóxicos, desenvolveu-se um diagnóstico das características físicas da área de estudo e do impacto ambiental provocado pela aplicação de inseticidas no solo.

ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS E FISIAGRÁFICOS DA ÁREA

Localização

A área em análise, delimitada pelas seguintes coordenadas UTM, zona 23: Xmínimo = 226.200; Xmáximo = 244.000; Ymínimo = 7.558.000; Ymáxi-

mo = 7.584.000, situa-se na região centro-leste do Estado de São Paulo, abrangendo porções dos municípios de Analândia e Descalvado e, com menor representatividade, áreas de Pirassununga, Corumbataí, Santa Cruz da Conceição e São Carlos.

Os limites da área de estudo foram definidos através de base cartográfica, em escala de 1:50.000.

Aspectos Sócio-Econômicos

O diagnóstico sócio-econômico foi concentrado nos municípios de Analândia e de Descalvado, devido à representatividade na área de estudo.

O município de Descalvado está inserido em uma região considerada como uma das mais produtivas do Estado de São Paulo. Possui uma população de 28.921 habitantes Brasil-IBGE, (2000) apud Moraes (2003), distribuída em uma área de 755,23 km². Sua principal economia é a agropecuária, com destaque para avicultura, citricultura, cana-de-açúcar e pecuária.

Já o município de Analândia, com uma área de 327,00 km², possui uma população de 3.582 habitantes e as principais atividades econômicas são o turismo, mineração de areia, avicultura, agricultura (laranja e cana-de-açúcar) e a pecuária.

Unidades de Conservação

A área considerada neste estudo tem parte de suas terras inseridas na Área de Proteção Ambiental Estadual de Corumbataí-Botucatu-Tejupá (Perímetro Corumbataí) e na Área de Proteção Ambiental Municipal de Descalvado, além do Parque Municipal de Analândia.

Uso e Ocupação do Solo

O termo uso e ocupação do solo refere-se às diferentes formas em que o meio físico é utilizado e ocupado, compreendendo as situações referentes aos processos naturais (lagos, lagoas, cursos d’água, vegetação, dentre outros), e às inúmeras intervenções antrópicas (cidades, agricultura, mineração, dentre outros), em que o ambiente é apropriado pelo homem para atender as suas demandas em prol de uma boa qualidade de vida e desenvolvimento econômico.

Cabe ressaltar que, para a análise do uso e ocupação do solo da área em questão, fundamentou-se no mapeamento realizado por Torezan (2005), elaborado através da interpretação de imagens de sensoriamento remoto do satélite LAND-

SAT 7, sensor ETM+ de 27 de abril de 2002. Além disso, tendo por base a já referida imagem e fotos aéreas do ano de 1972, observou-se uma redução da área de cerrado a partir do avanço da cultura de cana-de-açúcar, mostrando uma significativa alteração no manejo das culturas da região e conseqüente aumento do uso de agrotóxicos e dos riscos associados a este uso para os aquíferos existentes.

Em campo, comprovaram-se os diversos tipos de uso do solo levantados por Torezan (2005). Verificou-se a predominância de áreas de pastagens, áreas de cultivo de cana-de-açúcar e de citrus. Em menor proporção, observou-se a ocorrência de culturas de milho, soja, mamona, café, algodão e mandioca. Quanto à vegetação natural, destaca-se as seguintes fitofisionomias: Floresta Estacional Semi-decidual, Floresta Estacional Submontana, Floresta Estacional Aluvial (Mata Ciliar), Cerrado e Cerradão e Áreas Urbanas (Figura 01).

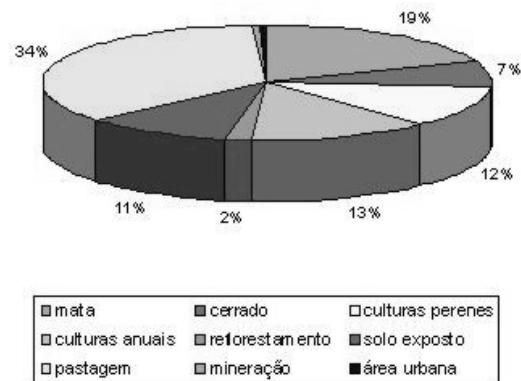


Figura 1 - Distribuição das classes de uso e ocupação do solo. Fonte: Torezan, 2005.

Clima

De acordo com Mendonça & Danni-Oliveira (2007), o clima na região está inserida no macrotipo climático Clima Tropical Úmido-Seco; subtipo Clima Tropical do Brasil central sem seca; caracterizado por apresentar chuva em todos os meses do ano, com maior concentração, com maior concentração na estação de verão e redução na estação de inverno. No verão as temperaturas são elevadas e, no inverno reduzida.

No município de Descalvado, a temperatura média anual é de 21,7°C, com precipitação média anual em torno de 1.348 mm, enquanto que no município de Analândia, a temperatura média anual é de 21,3°C, com precipitação média anual em torno de 1.254 mm.

Hidrografia

A área em estudo faz parte de duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Estado de São Paulo, as sub-bacias do Mogi-Guaçu e do Piracicaba-Capivari-Jundiáí.

Na UGRHI do Mogi-Guaçu ocorrem o rio Bonito, ribeirão do Pântano e ribeirão Descaroador, drenagens estas inseridas na área em estudo. Já na UGRHI do Piracicaba-Capivari-Jundiáí, ocorre o rio Corumbataí.

Hidrogeologia

Para São Paulo-CERH (2005), o Aquífero Guarani apresenta altos índices de vulnerabilidade, por sua constituição arenosa, com baixo teor de argila e caráter homogêneo. Os maiores índices ocorrem nas áreas onde os aquíferos estão a menos de 10 m de profundidade.

Secundariamente, na área de estudo, observa-se a presença do aquífero fissural determinado pela Formação Serra Geral e de aquífero livre pelas Formações Santa Rita do Passa-Quatro, Pirassununga, Corumbataí, Itaqueri, além das coberturas Quaternárias.

Ainda sobre esse assunto, Gomes (2009) explica que possíveis contaminações poderão ocorrer nas áreas com materiais geológico e pedológico de constituição textural arenosa e não, em toda a área de abrangência desse aquífero.

Geologia

Segundo São Paulo-IG (1984, 1984b), Ferreira (2005) e Massoli & Caetano-Chang (2007), a área estudada situa-se na Bacia Sedimentar do Paraná e apresenta as seguintes formações geológicas:

Formação Corumbataí (Permiano): essa formação é constituída, na sua seção inferior, de um pacote de argilitos, folhelhos e siltitos e na seção superior da formação, ocorre uma seqüência de argilitos e arenitos finos e argilosos.

Formação Pirambóia (Triássico): constitui-se de arenitos médios a muito finos, ocasionalmente grosseiros e intercalações de siltitos e argilitos. Na seção inferior os arenitos tornam-se finos, predominando fácies bastante argilosa.

Formação Botucatu (Jura-Cretáceo): é constituída por arenitos finos a médios; e também muito finos, apresentando na base corpos de arenitos conglomeráticos e conglomerados.

Formação Serra Geral (Jura-Cretáceo): essa formação compreende o conjunto de derrames de lavas basálticas, toleíticas, de textura afanítica e de cor cinza escura a preta e intrusivas associadas (diques e soleiras) bastante comuns na área, contendo intercalações de lentes e camadas arenosas, de textura fina a média. Formação Itaqueri (Cretáceo/Terciário): essa formação, é litologicamente constituída por membros alternados de arenitos com cimento argiloso, folhelhos e conglomerados ferríferos ou não.

Formação Santa Rita do Passa-Quatro (Terciário): areias e cascalhos. Depósitos arenosos de idade terci-quaternária, com origens extremamente diversas (marinhos, fluviais ou elúvio-coluvionares).

Formação Pirassununga (Terciário): constituída por sedimentos arenosos inconsolidados, não estratificados e sem estrutura, verticalmente homogêneos.

Depósitos recentes (Quaternário): composta de planícies aluvionares bem desenvolvidas e que ocorrem ao longo dos rios Mogi-Guaçu, Bonito e Claro e em parte dos cursos d'água de menor expressão da Quadrícula de Descalvado (SP). Esses depósitos, de várzeas e terraços, são constituídos de areias, argilas e cascalhos.

Geomorfologia

A área de estudo está inserida na Unidade Morfoestrutural Bacia Sedimentar do Paraná, na Unidade Morfoescultural do Planalto Ocidental Paulista.

Segundo Ross & Moroz (1997), o Planalto Ocidental Paulista está distribuído em duas unidades: Planalto Residual de São Carlos e Patamares Estruturais de Ribeirão Preto. No Planalto Residual de São Carlos predominam as formas de relevo com colinas de topos convexos e tabulares, onde o nível de fragilidade potencial é de baixo a médio. Já a unidade dos Patamares Estruturais de Ribeirão Preto é composta por colinas amplas e baixas com topos tabulares, onde a fragilidade potencial é muito baixa.

Solos

Segundo Torezan (2005), a caracterização dos solos da área de estudo foi realizada através da compilação do mapeamento pedológico das quadriculas de Descalvado e São Carlos. A partir dos resultados obtidos, verificou-se a predominância de LATOSSOLOS, SEGUIDOS DOS NEOSSOLOS, ARGISSOLOS E GLEISSOLOS.

METODOLOGIA

Diante das informações técnicas dos agrotóxicos mais utilizados para o presente trabalho (inseticidas), e das características do meio físico (Torezan, 2005) e do clima da região, utilizaram-se ferramentas cartográficas para indicação de áreas de restrição de uso dos agrotóxicos.

Foi possível o ordenamento das áreas, categorizando sua potencialidade como pertencente às classes Baixo (B5), Intermediário (subclasses I4 e I3), Alto (A2 e A1) e Proibitivo, para a utilização dos agrotóxicos; gerando informações sobre quais as áreas entre os dois municípios apresentam maior risco de sofrerem contaminação das águas subterrâneas.

A metodologia utilizada para a elaboração da Carta de Contaminação dos Aquíferos por agrotóxicos (adaptada de Zuquette & Gandolfi, 2004) considerou em primeira instância levantamento bibliográfico, com base em obras já publicadas e em seguida a análise destes condicionantes com a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) Idrisi 3.2®, na elaboração dos mapas e cruzamento dos dados. A utilização das ferramentas de geoprocessamento possibilitam uma avaliação dos dados precisa e ágil, além da qualidade dos dados.

Assim foram avaliados os critérios mais relevantes da área de estudo, através do uso de análise multicritério, adequabilidade e fatores de restrição, utilizando para tal o uso da ferramenta Idrisi 3.2 Também foi realizado trabalho de campo para averiguação dos resultados.

Análise Multicritério

Para estabelecer os critérios que podem contribuir com uma possível contaminação do solo por agrotóxicos, foram analisados através da análise multicritério, variáveis que permitem trabalhar com grandes extensões territoriais, classificando unidades adequadas e inadequadas.

A avaliação através da análise multicritério (MCE – Multi Criteria Evaluation) é utilizado para avaliar e agregar dados, através de uma padronização de valores entre os dados, num intervalo numérico comum, ou seja, possibilita a sistematização de todos os critérios envolvidos no processo de tomada de decisão.

Análise Booleana

A análise booleana considera cada variável um nível de evidencia, onde a combinação desses níveis elaboram uma hipótese, sendo que cada componente de um nível é classificado como satisfazendo (0) ou não satisfazendo (1) a hipótese elaborada. Assim, tem-se que as principais operações booleanas consistem em AND e OR. Na operação AND a combinação dos variados níveis da hipótese geram uma imagem binária, onde o valor 1 (um) indica que a área satisfaz as condições e que o valor 0 (zero) não satisfaz às condições. Por outro lado, o resultado da operação OR, a partir de diferentes combinações dos níveis da hipótese, geram dois resultados também, porém o 1 (um) indica que aquela área satisfaz apenas uma das condições, e o valor 0 (zero) indica que não houve nenhuma das condições satisfatória para tal hipótese.

Assim, de acordo com o objetivo do trabalho, o método booleano considera que áreas de recarga de aquíferos tendem a ser facilmente contaminadas por agrotóxicos, como a Formação Botucatu, Formação Pirambóia e Quaternário.

Análise por Lógica Fuzzy

A técnica chamada de “lógica fuzzy”, é utilizada para padronização dos dados de acordo com alguma função para um intervalo particular comum. Assim essa análise é utilizada para representar uma variável de acordo com seu grau de adequabilidade, sendo que esta medida é representada em uma escala contínua que representa todo o espaço avaliado.

Análise de Adequabilidade

Nesta análise as informações são consideradas como fatores, sendo estes que definem a adequabilidade da área para o determinado fim. Assim temos que a lógica fuzzy é utilizada para representar a variável de acordo com o grau de adequabilidade, auxiliando assim no processo de decisão.

Padronização dos Critérios

De acordo com Calijuri e Lorentz (2003a), normalmente, os valores de diferentes critérios não são comparáveis entre si, inviabilizando a sua agregação. Na padronização dos critérios utilizados durante o processo de avaliação do trabalho foram utilizados dois módulos do Idrisi 3.2: módulo Re-class e módulo Fuzzy.

A padronização é um processo de conversão dos valores dos dados originais em níveis de adequabilidade compatíveis, num domínio contínuo, com grau de pertinência, variando de 0 a 1 ou 0 a 255 após a normalização.

Após a padronização das variáveis dos mapas escolhidos como indicadores de possíveis áreas de contaminação dos aquíferos, utilizou-se o módulo Re-class, produzindo uma nova imagem do mapa pela reclassificação dos valores (entre 0 e 1).

Estabelecimento dos critérios para identificação das áreas de Contaminação por Agrotóxicos

A seleção das áreas susceptíveis à contaminação dos aquíferos por uso de agrotóxicos levou em consideração a combinação de diversos variáveis, sendo estas de restrição ou adequabilidade. Para tal, foram utilizados dados com parâmetros geotécnicos, geológicos e legislativos diretamente intervenientes na seleção das áreas mais susceptíveis.

Ressaltamos que a Área de Proteção Ambiental (APA) foi considerada apenas para visualização, ou seja, não foi estabelecido nenhum critério restritivo ou escalonado. A seguir temos os critérios considerados:

Critérios Restritivos:

- **Formações Geológicas:** considerando-se que o reconhecimento detalhado da litologia e das estruturas geológicas é de fundamental importância, pois estes fatores representam a importância da caracterização de aquíferos e suas condições de vulnerabilidade, a contribuição direta deste mapa está no auxílio à determinação de áreas de recargas de aquíferos as quais devem ser evitadas por uso de agrotóxicos. Para a área de estudo foram consideradas as formações geológicas já descritas anteriormente.

- **Área de Preservação Permanente (APPs):** de acordo com o Código Florestal temos que as matas-ciliares, próximas ao curso dos rios, devem ser protegidas de qualquer tipo de degradação, assim como do uso de agrotóxicos. Portanto foi criada uma zona de exclusão (200m), obedecendo-se essa distância. Para tal foi utilizado o módulo Buffer onde as áreas dentro da zona assumem valor 0 (não aptas) e fora assume valor 1 (aptas).

Critérios Escalonados:

- **Declividades:** considera-se que o uso de agrotóxicos será utilizado apenas em áreas onde houver cultivo de cana e/ou laranja. Para o cultivo, a declividade do terreno deve ser $\leq 15\%$, permitindo assim que terrenos com estas inclinações sejam mais vulneráveis à contaminação por agrotóxicos do que terrenos com inclinação $> 15\%$.
- **Espessura do Material Inconsolidado:** este critério deve considerar que os tipos de solo podem atuar como um filtro de retenção do agrotóxico ou um facilitador da infiltração do mesmo, estando, portanto, associado à espessura mínima do material inconsolidado.
- **Profundidade do Nível d'Água (NA):** evidencia o risco de contaminação das águas subterrâneas quando o nível está próximo da superfície natural do terreno. As áreas adequadas devem apresentar o nível do lençol freático em profundidades entre 10 e 15 metros contados do nível natural do terreno.
- **Uso do Solo:** como o objetivo era destacar possíveis áreas de contaminação por agrotóxicos, temos que este critério só será possível em áreas locais que contenham o cultivo de cana de açúcar e laranja.

Padronização das variáveis para gerar mapas temáticos

A padronização é realizada objetivando uniformizar as unidades de todos os mapas, atribuindo para tal uma escala comum de valores de aptidão, num processo de conversão de valores dos dados ori-

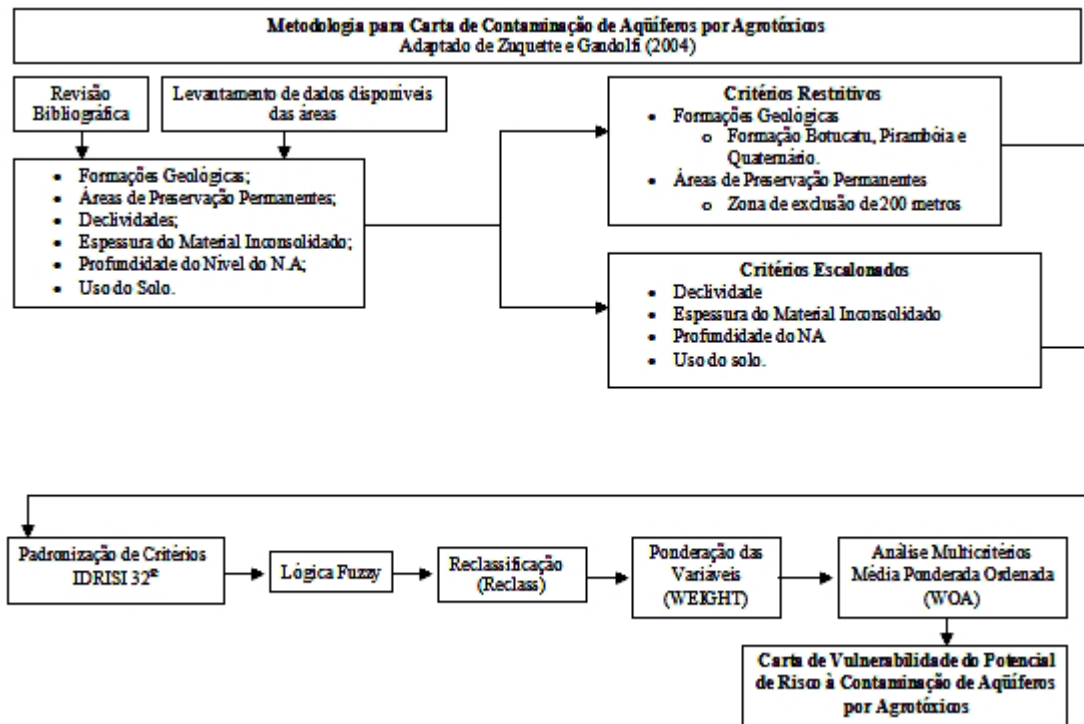


Figura 2 - Fluxograma metodológico do processo de elaboração da Carta de Vulnerabilidade do Potencial de Risco à Contaminação de Aquíferos por Agrotóxicos.

ginais. Assim foi utilizado o módulo Fuzzy, utilizando intervalos de 0 a 255 níveis. Com isso foi possível atribuir uma escala comum de valores de para todos os mapas relacionados na elaboração das áreas susceptíveis à contaminação por agrotóxicos.

Ponderação das variáveis

As variáveis que interferem na escolha das áreas susceptíveis à contaminação por agrotóxicos tiveram cada uma pesos diferenciados no processo final de decisão, tornando-se assim necessário utilizar o comando WEIGHT do IDRISI para estabelecer a ponderação das variáveis de acordo com a sua importância na decisão sobre a aptidão de uma área.

O peso final de cada variável é estimado com a utilização do método AHP (Analitical Hierarchy Process) aplicado a matriz de comparação pareada da Tabela 1.

Tabela 1 - Matriz de comparação pareada

	I	II	III	IV	V
I	1	-----	-----	-----	-----
II	1/3	1	-----	-----	-----
III	1/5	1/3	1	-----	-----
IV	1/7	1/5	1/3	1	-----
V	1/9	1/7	1/5	1/3	1

I: Nível d'Água; II: Espessura do Material Inconsolidado; III: Declividade; IV: Profundidade do Substrato Rochoso; V: Geológica.

A Tabela 2 mostra os pesos encontrados para as variáveis utilizadas na presente análise de comparação pareada.

A produção da carta temática específica neste estudo foi implementada através da avaliação por

critérios múltiplos (MCE), aplicando-se o método da Média Ponderada Ordenada (WOA), que permite a compensação entre os fatores através da aplicação de pesos ponderados e também controla o nível do risco assumido na análise e o grau de compensação entre eles através da aplicação de um segundo conjunto de pesos chamados de pesos ordenados. O nível de risco depende da posição dos pesos ordenados no ranking e da magnitude de seus valores. Valores maiores nas primeiras posições representam menor risco e valores maiores nas últimas posições representam maior risco. Esta metodologia sugere a utilização de uma escala logarítmica de pesos entre as variáveis, o que foi utilizado neste trabalho (Figura 02).

Tabela 2 - Pesos finais das variáveis obtidos através da comparação pareada

Variável	Peso
Profundidade do lençol freático	0.5128
Textura do Material Inconsolidado	0.2815
Declividades	0.1290
Profundidade dos Solos Rochosos	0.0634
Formação Geológica de Superfície	0.0333

RESULTADOS

Como resultado do diagnóstico realizado, obteve-se o documento cartográfico temático, mostrado na Figura 03, englobando áreas dos municípios de Descalvado (SP) e Analândia (SP).

A elaboração dessa carta permitiu a análise do grau de impacto ambiental do meio físico (declividade, formação geológica, área de preservação permanente, espessura do material inconsolidado, profundidade do N.A. e uso do solo) da região, identificando e estabelecendo as áreas sujeitas a impactos ambientais menos significativos (como áreas com ocorrência de basaltos, material inconsolidado de textura argilosa, profundidade do lençol freático superior a 20m, etc.) até as áreas que devem ser destinadas prioritariamente à conservação, no caso, classificadas como "uso proibitivo", envolvendo

as áreas de mananciais, nascentes, vegetação natural e as APAs estabelecidas.

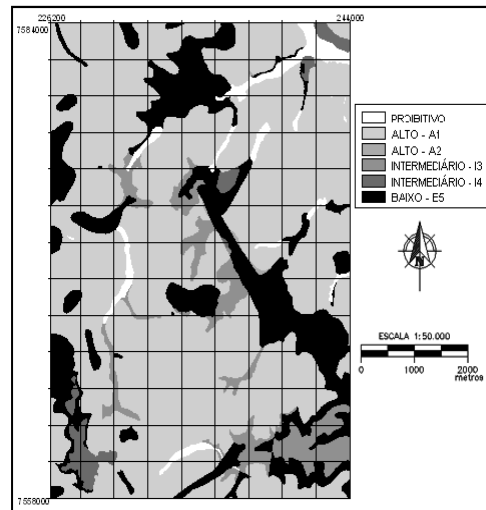


Figura 3 - Carta de Vulnerabilidade do Potencial de Risco à Contaminação de Aquíferos por Agrotóxicos.

CONCLUSÃO

Por isso, da necessidade de estabelecimento dessas áreas como áreas de Conservação Ambiental, servindo não somente como instrumento de conservação dos recursos hídricos, como também, instrumentos de planejamento municipal.

Conclui-se então que, a utilização dos agrotóxicos deve obedecer medidas que visam impedir a contaminação e a degradação do meio ambiente, em especial dos recursos hídricos. Dentre tais medidas destacam-se as práticas agrícolas adequadas, a capacitação dos profissionais envolvidos na aplicação do produto, a avaliação dos riscos e a análise ambiental da área, a análise e controle dos resíduos de agrotóxicos no meio ambiente, a utilização restrita de agrotóxicos, principalmente inseticidas, altamente tóxicos e resistentes, a aplicação da legislação vigente, a elaboração de legislação e critérios para aplicação visando à proteção do meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao geólogo Otávio Tobias Soares Mandrá, pela revisão do texto relacionado com a Hidrogeologia da área.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Portaria Normativa IBAMA nº 84 de 15 de outubro de 1996. Estabelece procedimentos a serem adotados junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. 1996.
- BRASIL. Decreto Lei nº 4.074 de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. 2002.
- CALDAS, E.D.; SOUZA, L.C.K. Avaliação de risco crônico da ingestão de resíduos de pesticidas na dieta brasileira. *Rev. Saúde Pública*, Out 2000, vol.34, no.5, p.529-537.
- CALIJURI, M.L. & LORENTZ, J.F. Análise multicritério. Viçosa: UFV-Laboratório de Sistema de Informação Geográfica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 57p. 2003a.
- FERREIRA, S.R. Análise pedostratigráfica das formações Rio Claro e Piraçununga no Centro-Leste do Estado de São Paulo. Rio Claro: UNESP- Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2005. 157p. (Tese de Doutorado).
- GOMES, M. A. F. Aquífero Guarani – Risco de contaminação por agrotóxicos: verdade ou mentira?. Texto extraído de http://www.cnpma.embrapa.br/down_hp/355.pdf. Consultado em 14/02/2009.
- KHAN, S. U. Pesticides in the soil environment. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1980. 240 p.
- LORANDI, R. & Junqueira, C.A.R. Estudo do potencial de risco à contaminação das águas subterrâneas por fertilizantes no município de Cordeirópolis (SP, Brasil). 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia. Maputo (Moçambique). 2008. 12p. (CD-ROM).
- MASSOLI, M. & CAETANO-CHANG, M.R. O contato entre as formações Pirambóia e Botucatu na área de Ribeirão Preto (SP). São Paulo, UNESP, Geociências, v.26, n.3, p.263-270, 2007.
- MENDONÇA, F. & DANNI-OLIVEIRA. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos. 206p. 2007.
- MORAES, M.E.B. Zoneamento ambiental de bacias hidrográficas: uma abordagem metodológica aplicada na bacia do Rio Bonito (SP). São Carlos: UFSCar – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. 130p. 2003.
- RISSATO, S.R.et. al. Determinação de pesticidas organoclorados em água de manancial, água potável e solo na região de Bauru(SP). *Quím. Nova*, Out 2004, vol.27, n.5, p.739-743.
- ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Laboratório Geomorfologia-Depto. Geografia FFLCH-USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica-Geologia Aplicada-IPT/FAPESP-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. 2v, 64p., 2 mapas color.. Escala 1:500.000.
- SÃO PAULO. Instituto Geológico. Formações Geológicas de Superfície - Folha Geológica de Descalvado, Folha SF.23-Y-A-1-2. Escala 1:50.000. 1984.
- SÃO PAULO. Instituto Geológico. Formações Geológicas de Superfície - Folha Geológica de Corumbataí, Folha SF.23-Y-A-1-2. Escala 1:50.000. 1984b.
- SÃO PAULO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000:nota explicativa. São Paulo:DAEE:IG:IPT:CPRM, 2005.
- TOREZAN, F.E. Proposta Metodológica para Subsidiar a determinação do grau de impacto ambiental em Empreendimentos Minerários na região de Descalvado e Analândia. Tese de doutorado na Engenharia Urbana. São Carlos: UFSCAR, 2005.
- ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N. Cartografia Geotécnica. São Paulo: Oficina de Textos. 190p. ilus. 2004.

Study of the Vulnerability of an Aquifer to Pesticide Contamination in the Region of Descalvado and Analândia (SP, Brazil)

ABSTRACT

The use of pesticides in agriculture usually causes varying degrees of toxicological and environmental impacts on the soil, which may accumulate harmful levels of toxic elements and/or compounds. Underground water contamination occurs when pesticides percolate vertically through the ground. The degree of mobility of these pesticides depends on various factors, such as the type of soil, climate, geology, geomorphology, and the way in which the pesticides are applied. The study reported here involved an evaluation of these factors and the impact caused by the percolation of pesticides into aquifers. Geoprocessing techniques were then employed to draw up a risk vulnerability zoning map, on a 1:50.000 scale, of the region of Descalvado and Analândia in the state of São Paulo, Brazil.

Keywords: groundwater; risk vulnerability; agroindustrial products.