

INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE INSERÇÃO DE CARGAS CONTAMINANTES EM AQUIFERO FREÁTICO PELA ATIVIDADE AGRÍCOLA NO ALTO TRECHO DA BACIA DO PARAGUAÇU – BAHIA

Ana Isabel Leite Oliveira*

Resumo: A água subterrânea é um recurso de importância estratégica. As técnicas de geoprocessamento combinadas aos princípios do método POSH (Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically) foram utilizadas com a finalidade de investigar o potencial de inserção de cargas contaminantes, pela atividade agrícola, em aquífero livre no Alto Trecho da Bacia do Paraguaçu, estado da Bahia. Como resultado obteve-se as seguintes classes: (a) áreas com alto potencial de contaminação, destinadas a cultura comercial intensiva; (b) áreas com reduzido potencial de contaminação, voltadas para cultura tradicional; e (c) áreas com insignificante potencial de contaminação para a atividade agrícola, por corresponderem a outros usos e coberturas.

Palavras-chave: água subterrânea, gestão de recursos hídricos, geoprocessamento, POSH, Alto Paraguaçu.

INVESTIGATION OF THE CONTAMINATING CHARGES INSERTION POTENTIAL IN PHREATIC AQUIFER THROUGH AGRICULTURAL ACTIVITY IN THE HIGH SECTION OF THE PARAGUAÇU BASIN – BAHIA

Abstract: Groundwater is a resource of strategic importance. The GIS techniques combined with the principles of the method POSH (Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically), were used in order to investigate the potential inclusion of contaminant loads, for agriculture, in unconfined aquifer in the high stretch of basin Paraguaçu, state of Bahia. As a result we obtained the following classes: (a) areas with high potential for contamination, to intensive commercial culture, (b) areas with low potential for contamination, focused on traditional culture, and (c) areas with negligible potential for contamination for agriculture, because they correspond to other uses and coverages.

Keywords: groundwater, water resources management, GIS, POSH, High Paraguaçu.

Introdução

A degradação das águas subterrâneas, ocasionada pela perda de sua qualidade, isto é, quando esta apresenta níveis de concentração de substâncias nocivas superiores aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), caracteriza a contaminação de aquíferos, como compreendido por Hirata e Fernandes (2008).

Esse processo pode ser considerado um desequilíbrio silencioso. A inserção de substâncias além do permitido nos padrões de qualidade da água, em muitos casos,

acontece em longo prazo, passando despercebido, até mesmo ignorado, por ocorrer em subsuperfície e não causar danos imediatamente visíveis, exceto quando resultam em grandes desastres ambientais.

É preciso ter clareza de que a recuperação dos aquíferos contaminados ainda é um processo de difícil solução e o recurso hídrico é um bem de necessidade primária para a manutenção da vida. Embora a própria natureza possua mecanismos de depuração, estes são limitados frente aos excessos humanos.

* Mestre em Ciências Ambientais, especialista em Metodologia do Ensino de Geografia, licenciada e bacharela em Geografia. Analista em Geoprocessamento e professora na rede privada de ensino médio. E-mail: isanaleite@hotmail.com.

Quanto aos problemas mais comuns que ameaçam a água subterrânea no Brasil, Oliveira e Souza (2008) destacam a superexploração, impermeabilização do solo e contaminação, os quais tendem a se agravar com o aumento da população e o crescimento da demanda por água.

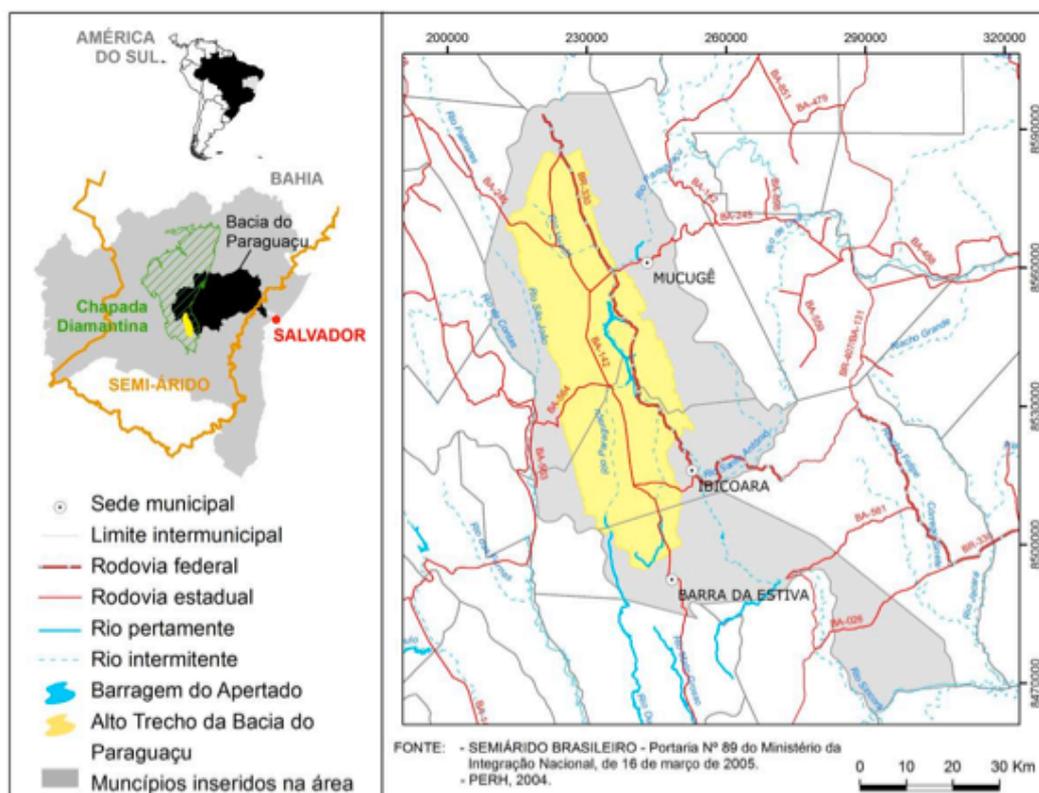
No alto trecho da bacia do Paraguaçu é intensa a exploração do solo pelo uso agrícola, tornando urgente o desenvolvimento de estudos e ações que evitem e/ou minimizem seus impactos negativos sobre o ambiente, incluindo o recurso hídrico subterrâneo.

Nesse contexto, o trabalho tem por objetivo modelar o potencial de inserção de cargas contaminantes pela atividade agrícola nesta região, sob a perspectiva da relação estabelecida entre o uso e ocupação do solo e

a dinâmica hidrogeológica. Para isso, se fez necessária a compressão das particularidades locais, a escolha de método e de técnicas que, diante da pouca disponibilidade de dados em detalhes apropriados, possibilitasse a obtenção de resultados confiáveis.

A área de estudo, possui extensão de aproximadamente 1.765 km², inserindo-se correspondendo ao alto trecho da bacia do Paraguaçu, terceira maior bacia hidrográfica do estado baiano, com área total de aproximadamente 54.530,58 km², importante fonte de abastecimento hídrico de sua capital. Situada entre as coordenadas 13°1'58"; 13°35'25" de latitude Sul e 41°35'5"; 41°14'38" de longitude Oeste, na ecorregião da Chapada Diamantina, encontra-se no interior do polígono que delimita o semiárido brasileiro, como apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Localização da área de estudo, na bacia do Paraguaçu, estado da Bahia – Brasil



Segundo a caracterização dos aspectos físicos contida no Plano Diretor de Recursos Hídricos (SRH, 1993), os índices pluviométricos, em razão da barreira orográfica da Serra do Sincorá que margeia longitudinalmente a leste da região em estudo, apresentam médias anuais de 800 mm. As máximas ocorrem na primavera/verão, sendo janeiro o mês mais chuvoso e julho o mais seco. A distribuição das chuvas é irregular, variando muito entre um ano e outro, podendo haver anos mais chuvosos e outros extremamente secos.

No extremo sul, dominam os argissolos vermelho-amarelo distróficos, de forma geral associados aos metasiltitos-arenitos do Grupo Paraguaçu, abrigando floresta estacional, cerrado, caatinga, campo rupestre, campo limpo e atividade agrícola.

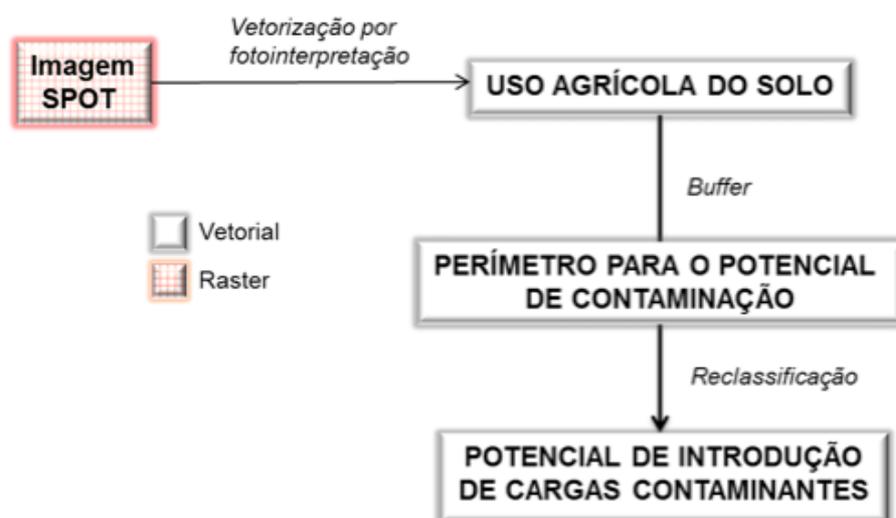
Os neossolos litólicos estão dispostos principalmente ao longo da borda da Serra do Sincorá, sobrepostos aos depósitos metareníticos-conglomeráticos do Grupo Chapada Diamantina, a nordeste da área, onde predominam terrenos elevados, mantendo uma vegetação mais rarefeita, composta basicamente de campos rupestres e campos limpos.

Em sua maior extensão, cerca de 73% da área, ocorrem as coberturas de cascalho e areia das formações quaternárias sobre as quais se desenvolve mais intensamente a atividade agrícola. O alto grau de permeabilidade alinhado à ocorrência da água subterrânea não confinada conferem ao aquífero alta vulnerabilidade à contaminação.

Metodologia

A investigação do potencial de introdução de cargas contaminantes baseou-se na proposta do sistema POSH (acrônimo em inglês de Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically), realizada por meio de técnicas de Geoprocessamento. A interpretação visual da imagem obtida pelo sensor HRV-IR do satélite SPOT 4, de 13 de junho de 2008, com 5 metros de resolução espacial, orientou a discretização de três diferentes níveis do uso agrícola do solo, em Sistema de Informação Geográfica (SIG), com posterior criação de zonas de proximidade, cujo procedimento é apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Modelagem cartográfica para obtenção do potencial de introdução de cargas contaminantes



O método POSH

Não é simples estabelecer o perigo de contaminação. Há vários fatores envolvidos: o tipo de cultivo, as propriedades do solo, o regime pluvial, técnicas de irrigação e manejo do solo, uso de agrotóxicos. Além da necessidade de mapas de uso do solo atualizados constantemente, visto a dinamicidade desta atividade (Foster et al., 2002).

Para qualificar o potencial da atividade instalada em gerar carga contaminante no subsolo, Foster e Hirata (1988) consideram a elaboração de um inventário das cargas contaminantes superficiais segundo um sistema de classificação e para a indicação do perigo de contaminação indicam sua sobreposição com a vulnerabilidade do aquífero.

Como dados referentes a presença de cargas contaminantes geralmente não estão facilmente disponíveis a classificação e mapeamento de fontes de contaminação podem ser simplificados, como utilizado por Foster et al. (2002), de acordo com os princípios do sistema POSH, que considera duas características: origem do poluente e sobrecarga hidráulica.

Sua simplificação associa a probabilidade da presença de substâncias poluentes com o tipo de atividade humana e a estimativa da sobrecarga hidráulica com base no uso da água pela atividade em análise. Para estudos em escala regional, pode-se utilizar uma classificação como a que consta na Figura 3, aqui restrita ao uso agrícola.

Figura 3 – Classificação e mapeamento das fontes de contaminação pela atividade agrícola, segundo o sistema POSH

POTENCIAL DE CARGA CONTAMINANTE DE SUBSOLO	FONTE DE CONTAMINAÇÃO
Elevado	Culturas comerciais intensivas, geralmente monoculturas em solos bem drenados, em climas úmidos ou com baixa eficiência de irrigação, pasto intensivo em campos intensamente fertilizados.
Moderado	Intermediário entre elevado e reduzido.
Reduzido	Rotação das culturas, terra para pasto extensivo, sistemas de cultivo ecológico, plantações com alta eficiência de irrigação em regiões áridas e semi-áridas.

Fonte: Foster et al. (2002).

As técnicas: interpretação visual de imagem de satélite e análise espacial de proximidade

Imagens de satélites são obtidas por sensores remotos orbitais e representam a superfície terrestre em formato matricial, ou

seja, por um conjunto de linhas e colunas cuja menor unidade é a célula, ou pixel.

Geralmente, extraem-se informações desses dados digitais por procedimentos computacionais. Mas os princípios do processo de interpretação visual, também

denominado fotointerpretação, voltados para a análise de fotografias impressas, são aplicados para a identificação e agrupamento de objetos em imagens digitais.

Nesse caso, as imagens são analisadas em tela, reconhecendo-se os diferentes padrões espectrais existentes. As respectivas classes, derivadas do processo de fotointerpretação, são vetorizadas em um Sistema de Informação Geográfica. Moreira (2011) descreve esse procedimento como um método híbrido, em que se articulam as abordagens visual e digital.

É uma interpretação visual feita na tela do computador para a qual se usam fatores que ajudam a definir as feições contidas nas imagens de satélites. Assim, segundo Moreira (2011), as características das imagens a ser observadas nas fotografias impressas são basicamente as mesmas para os dados digitais: tonalidade/cor (relativa ao brilho dos materiais), textura (agregamento de vários alvos, mostra feições lisas ou rugosas) forma/tamanho, padrão (distribuição espacial de feições) e sombra (provocada pela baixa incidência de luz).

O método híbrido foi, portanto, aplicado ao mapeamento do uso agrícola do solo no alto trecho da bacia do Paraguaçu, tendo como material básico a combinação R4G1B2, do satélite SPOT 4. A escolha da interpretação visual da imagem se deveu à:

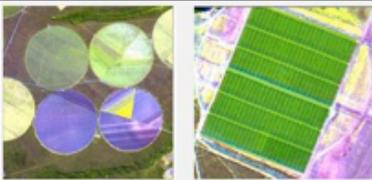
- a) Alta resolução espacial, a qual possibilitou a identificação dos alvos de interesse com grande margem de segurança, em função da alta qualidade das informações contidas na imagem, conseqüentemente, fácil percepção dos critérios estabelecidos para a fotointerpretação;

- b) Classificação não supervisionada e supervisionada, bem como a segmentação de imagem terem sido realizadas, mas os resultados demonstraram grande confusão entre classes, principalmente ao se tratar de solo exposto e de áreas em fase de preparo para o plantio, em função das mesmas propriedades espectrais de tais alvos.

Assim, com base nos elementos de fotointerpretação, como indicados por Moreira (2011), os critérios utilizados para o mapeamento, como demonstrado na Figura 4, foram os seguintes:

- a) Formas poligonais regulares ou semirregulares, indicativas de áreas delimitadas pela ação humana, comumente associadas a áreas de uso agrícolas;
- b) Formas circulares, correspondentes a pivôs de irrigação central;
- c) Diferenças na textura da vegetação, significativas para diferenciação dos tipos de cobertura vegetal;
- d) Bordas retilíneas entre diferentes coberturas vegetais, interpretadas por diferentes texturas e tonalidades, pois são indícios de intervenção antrópica no meio;
- e) Proximidade de construções, visto que áreas agrícolas geralmente estão associadas a uma sede (residencial, empresarial) e/ou galpões para armazenamento da produção;
- f) Proximidade de vias de acesso, as quais facilitam a circulação de mercadorias e pessoas;
- g) Proximidade de cursos d'água, favorável a irrigação da área cultivada.

Figura 4 – Demonstração dos elementos fotointerpretados na imagem para categorização do potencial de contaminação da água subterrânea pela atividade agrícola

CATEGORIA	ELEMENTOS FOTINTERPRETADOS	DESCRIÇÃO
Potencial Elevado		Culturas comerciais intensivas, em solos bem drenados, em clima semi-árido, com alta eficiência de irrigação.
Potencial Reduzido		Sistema tradicional de agricultura, em solos bem drenados, em região semi-árida.
Potencial Inexistente*		Outros usos e coberturas.

*Considerado inexistente para o uso agrícola do solo, podendo haver potencial de contaminação para outro tipo de atividade.

Após a discretização das classes foi criada uma zona de proximidade, possuindo como referência os polígonos do uso agrícola. Como conceituada por Silva (2003), a análise espacial de proximidade consiste no estabelecimento de uma distância ou “faixa”, com dimensão preestabelecida, para a qual a base é o elemento representante do fenômeno geográfico em estudo, podendo também ser denominada operação de *buffer*.

Sua aplicação é muito variada, comumente é utilizada para traçar áreas de influência ou raios de ação em relação a um determinado fenômeno. Como exemplo, pode-se citar o estabelecimento de perímetros de proteção ou restrições para o uso do solo.

Contaminação da água subterrânea pelo uso agrícola do solo

O uso agrícola do solo pode influenciar a quantidade e qualidade da água subterrânea, sendo esta uma fonte difusa de contaminação, o que significa que pode afetar áreas consideráveis. Alterações na recarga decorrentes da irrigação e da superexploração são exemplos de interferências que podem causar variações na quantidade. A introdução de nutrientes, agrotóxicos, fertilizantes, pesticidas são exemplos de práticas que podem comprometer sua qualidade.

Pensando em introdução de contaminantes por este uso, dentre os fertilizantes, destacam-se o nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P) como principais nutrientes utilizados pelas culturas. O que apresenta maior perigo para a água subterrânea, em função de sua alta

mobilidade é o nitrogênio, na forma de nitrato (NO_3^-) (MANOEL FILHO, 2008).

A publicação do Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil (ANA, 2005) informa, por meio de dados do IBGE obtidos em 2004, que em 2002, para 53,5 milhões de hectares plantados, o Brasil utilizou 7,6 milhões de toneladas de fertilizantes.

Quanto aos agrotóxicos, este mesmo estudo declara que um dos maiores consumidores do mundo é o Brasil. Entre os mais utilizados estão os herbicidas (58% do total), associados ao modelo de plantio direto, ou seja, sem revolver a terra. Depois aparecem os inseticidas (13% do consumo) e fungicidas (11% do consumo).

São citados dados do IBGE para indicar que em 2001, em cerca de 50,7 milhões de hectares de área plantada, o Brasil utilizou 158,7 mil toneladas de agrotóxicos, com uma média de 3,13 kg/ha.

Por terem caráter nocivo à saúde humana, padrões de qualidade da água são legalmente estabelecidos. Na esfera internacional, pode ser citada a OMS e, no Brasil, a Portaria n. 1.469, de 2001, que atualizou as normas de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, com base nas determinações da OMS.

A depender do grau de vulnerabilidade do aquífero, atividades potencialmente contaminantes precisam de diferentes medidas de controle. A Tabela 1 demonstra essa relação, enfocando áreas agrícolas.

Tabela 1 – Matriz de aceitabilidade de instalação e atividades perigosas conforme grau de vulnerabilidade do aquífero

ÁREAS AGRÍCOLAS	ACEITABILIDADE POR VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO		
	alta	média	baixa
Com agrotóxico	PN	A	A
Com uso não controlado de fertilizantes	PN	A	A
Armazenamento de agrotóxico	PN	PA	A

PN = provavelmente não aceitável, exceto em alguns casos sujeitos a investigação detalhada e projetos específicos

PA = provavelmente aceitável, sujeito a investigação e projetos específicos

A = aceitável, sujeito a projeto segundo normas

Fonte: Foster et al. (1993); Hirata (1993 apud Foster et al., 2002).

Assim, atividades agrícolas que façam uso de agrotóxicos e uso não controlado de fertilizantes são aceitáveis em aquíferos com baixa a média vulnerabilidade, estando sujeitas a projetos de acordo com as normas vigentes. Quando o aquífero apresentar alta vulnerabilidade estas atividades, provavelmente, não serão aceitáveis.

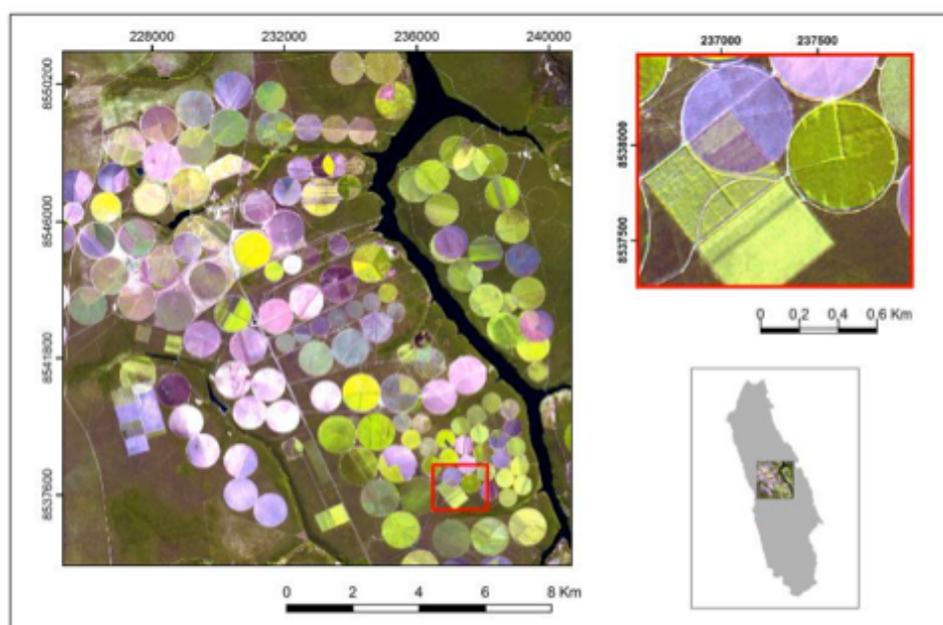
Atividades de armazenamento de agrotóxicos são aceitáveis em áreas de ocorrência de aquíferos de baixa vulnerabilidade, provavelmente aceitáveis em áreas de aquíferos moderadamente vulneráveis e não aceitáveis quando o aquífero possuir alta vulnerabilidade.

A agropecuária no alto trecho da Bacia do Paraguaçu

No alto trecho da bacia do Paraguaçu, a policultura de subsistência convive com a modernização desse ramo de atividade, cuja produção utiliza intensivamente a irrigação. Essa é uma técnica de grande relevância para o desenvolvimento econômico, a qual exige grande suprimento de água para manter estável a produção (SEIXAS, 2004).

Pela fotointerpretação da Figura 5, com base nos elementos forma, cor e padrão, percebe-se um denso arranjo espacial, característico da agricultura irrigada por pivô central, além de se destacar na paisagem, em tom escuro, a barragem do Apertado, construída com o objetivo principal, conforme Plano Diretor de Recursos Hídricos (SRH, 1993), de fornecer água para a irrigação.

Figura 5 – Recorte de imagem SPOT 4 (2005) destacando a agricultura irrigada por pivô central no alto trecho da Bacia do Paraguaçu, entorno da Barragem do Apertado



Pode-se fazer uma aproximação da produção agropecuária desenvolvida no alto trecho da bacia do Paraguaçu com base nos dados da produção municipal (IBGE, 2006), a qual engloba parcialmente o território de três municípios: Barra da Estiva, Ibicoara e Mucugê.

Para tanto, a Tabela 2 traz a proporção dos territórios de cada um dos três municípios inseridos na área de estudo, e a Tabela 3 caracteriza a atividade agropecuária por estabelecimento e temporalidade da lavoura.

Tabela 2 – Proporção territorial dos municípios do alto trecho da Bacia do Paraguaçu

MUNICÍPIO	ÁREA (ha)	ÁREA INSERIDA NA SUB-BACIA (ha)	PROPORÇÃO (%)
Barra da Estiva	138.434	13.002	9,39
Ibicoara	103.900	54.530	52,48
Mucugê	255.660	109.024	42,64
TOTAL	497.994	163.554	

Fonte: Extraído do limite municipal em meio digital (SRH, 2004).

Tabela 3 – Caracterização da atividade agropecuária por estabelecimento e temporalidade da lavoura nos municípios do alto trecho da Bacia do Paraguauçu

MUNICÍ- PIOS	Nº TOTAL DE ESTABELECIMENTOS AGROPECUÁRIOS	ÁREA (ha)	LAVOURAS PERMANENTES		LAVOURAS TEMPORÁRIAS	
			Nº DE PROPRIEDADES	ÁREA (ha)	Nº DE PROPRIEDADES	ÁREA (ha)
Barra da Estiva	3.051	63.681	2.627	9.231	285	1.529
Ibicoara	1.753	51.021	1.652	3.898	174	4.095
Mucugê	587	40.086	341	2.775	224	6.164
TOTAL	5.391	154.788	4.620	15.904	683	11.788

Fonte: Censo agropecuário (IBGE, 2006).

Verifica-se que, entre os três municípios, aquele que apresenta maior proporção relativa do território na unidade de análise é Mucugê, com aproximadamente 109.024 ha, o que corresponde a 42,64% de sua área total. Ibicoara figura em segundo lugar, com 54.530 ha, e Barra da Estiva é que tem menor representatividade, cerca de 13.002 ha.

Outra informação relevante é a área ocupada por estabelecimentos agropecuários nestes municípios. Uma comparação com suas áreas territoriais totais, indica que a agropecuária está presente em cerca de 46%, 49,1% e 15,68% de Barra da Estiva, Ibicoara e Mucugê, respectivamente. Se somados, 31,08% do total da área dos três municípios destinam-se ao uso agrícola do solo, o que demonstra a intensidade da exploração econômica por este setor.

A lavoura permanente, a exemplo da banana, café e laranja, está presente na maioria dos estabelecimentos, ocupando 10,27%, destas áreas municipais. Em relação à lavoura temporária, como cana-de-açúcar, feijão, mandioca e milho, verifica-se que este uso ocupa área pouco menor, cerca de 7,61% (IBGE, 2006).

Na pecuária são produzidos e comercializados rebanhos de ovinos, caprinos, suínos, aves, bovinos, além da produção de mel e leite. A bovinocultura está presente em todo o território com predominância do gado de corte, criado através de práticas tradicionais como divulgado pela Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária (SEAGRI, 2009), com base no senso agropecuário do IBGE (2006).

Esses dados revelam a intensa pressão que os recursos naturais têm sofrido para atender às necessidades da produção local. Além, da retirada da vegetação para a implantação de culturas, a irrigação apresenta-se como um forte fator de consumo de água e de inserção de mudanças na dinâmica hidrogeológica.

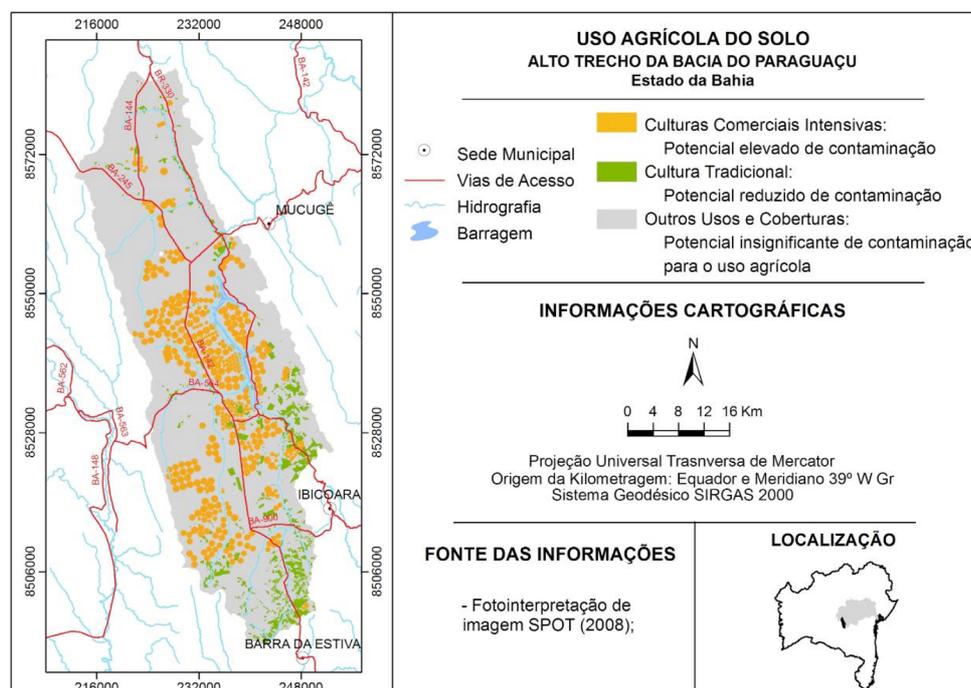
Outra preocupação volta-se para o uso de fertilizantes, agrotóxicos, pesticidas, visto que a atividade agrícola é apontada como um agente potencial de introdução de cargas contaminantes em aquíferos (FOSTER et al., 2003), cerne deste artigo.

Potencial de inserção de cargas contaminantes no alto trecho da Bacia do Paraguaçu

De acordo com o mapeamento realizado, de todo o alto trecho da bacia do Paraguaçu, cerca de 23% desta área destina-se ao uso agrícola do solo. A cultura comercial intensiva ocupa aproximadamente 279 km² e emprega, predominantemente, técnicas de irrigação por pivô central,

explorando o solo de modo intensivo, enquanto que aproximadamente 117 km² são ocupados por propriedades que utilizam o sistema tradicional de cultivo. As demais áreas, cerca de 1.369 km², correspondem a outros usos e coberturas do solo. O mapa resultante, como demonstra a Figura 6, evidencia uma clara segregação espacial, ou seja, setorização na distribuição do nível do uso agrícola.

Figura 6 – Modelo do potencial de inserção de contaminantes no solo pelo uso agrícola



Após esse mapeamento, considerou-se um raio de influência para a atividade agrícola, ou seja, uma área exterior contínua à atividade desenvolvida, visto que, se trata de contaminação difusa, o que significa que a carga contaminante não permanece apenas nos locais de sua inserção. Sua mobilidade pode propiciar a contaminação de grandes volumes do aquífero.

Como a definição dos raios de influência para as atividades contaminantes não encontra-se normatizada foi aplicado como referência o raio para a proteção de áreas de captação pontual destinadas ao

abastecimento público, estabelecido pelo Decreto-Lei n. 382, de 22 de setembro de 1999, do Ministério do Ambiente.

Para o perímetro de captação de poços, como mostra a Tabela 4, o citado Decreto institui três zonas de proteção, cujo raio varia de acordo com as características do sistema aquífero: (a) imediata, para proteção direta; (b) intermediária, para interdição ou condicionamento de instalação de atividades; e (c) alargada, para proteção dos contaminantes persistentes, a exemplo do nitrato, presente na atividade agrícola.

Tabela 4 – Estabelecimento do perímetro de proteção para a captação de poços

TIPO DE SISTEMA AQUIFERO*	ZONA IMEDIATA	ZONA INTERMEDIÁRIA	ZONA ALARGADA
Confinado: constituído por formações porosas	$r = 20$ m	r é o maior valor entre 40 m e r_1 ($r = 50$ dias)	r é o maior valor entre 350 m e r_1 ($r = 3.500$ dias)
Livre: constituído por formações porosas	$r = 40$ m	r é o maior valor entre 60 m e r_2 ($r = 50$ dias)	r é o maior valor entre 500 m e r_1 ($r = 3.500$ dias)
Semiconfinado: constituído por formações porosas	$r = 30$ m	r é o maior valor entre 50 m e r_3 ($r = 50$ dias)	r é o maior valor entre 400 m e r_1 ($r = 3.500$ dias)

* Consultar Decreto n. 382/1999 para demais descrições.

Fonte: Decreto-Lei n. 382/1999.

A definição para cada zona, aplicada à atividade agrícola, estabelece que:

(a) para zona alargada, podem ser interditas ou condicionadas atividades e instalações quando passíveis de contaminar as águas subterrâneas, como pelo uso de pesticidas móveis e persistentes na água;

(b) para zona intermediária, podem ser interditas ou condicionadas atividades agropecuárias e aplicação de pesticidas móveis e persistentes na água;

(c) para zona imediata, encontra-se interdita qualquer instalação ou atividade, com exceção das que têm por finalidade a conservação, manutenção ou melhor exploração da captação.

É relevante ressaltar que não está sendo considerada a direção do fluxo subterrâneo, traçando-se um perímetro com igual dimensão envolvente para todas as direções, pois esta é uma área, em sua maior abrangência, divisora do fluxo subterrâneo (OLIVEIRA et al., 2011).

Considerando que o sistema aquífero do alto trecho da bacia do Paraguaçu é não confinado, constituído de litologia porosa e permeável das Formações Superficiais do Quaternário foi traçada uma zona de proximidade com 500 metros a partir do limite do uso agrícola de natureza comercial e 60 metros para a cultura tradicional, em decorrência da diferença de intensidade do perigo de contaminação (Figura 7).

Figura 7 – Demonstração da definição do raio de influência estabelecido para a atividade agrícola

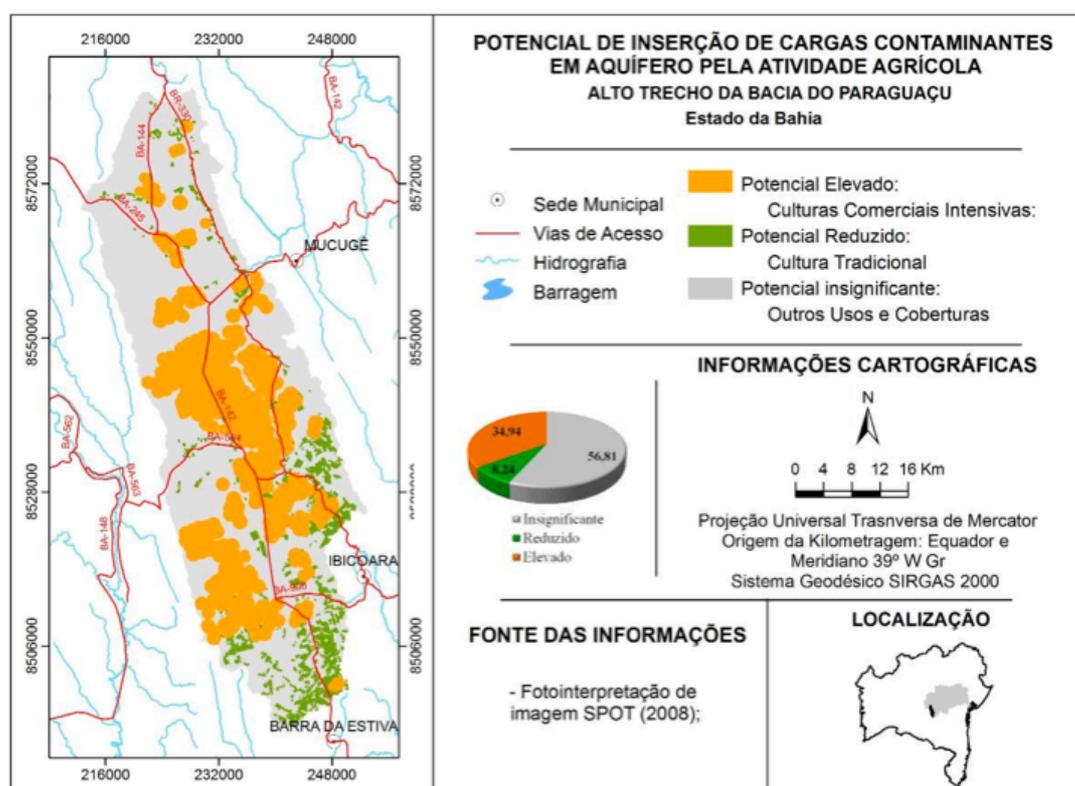
O esquema da Figura 7 ilustra o princípio do zoneamento. No centro dos retângulos, há duas diferentes categorias de uso agrícola, representando alto potencial de introdução de cargas contaminantes para culturas comerciais e baixo potencial para culturas tradicionais. O perímetro do zoneamento varia de acordo com este potencial de contaminação, correspondendo à zona alargada e à zona intermediária, respectivamente.

Como exemplo prático desse modelo, um poço perfurado para abastecimento

humano deve idealmente se localizar fora do limite de influência de cada categoria mapeada. Este princípio segue a ideia inversa à zona de proteção legalmente instituída para captação de poços, mantendo-o a uma distância segura em relação à atividade potencialmente contaminante.

As classes de uso agrícola, após o zoneamento, foram então reclassificadas assumindo o potencial de inserção de cargas contaminantes de acordo as características da fonte de contaminação, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Potencial de inserção de cargas contaminantes pela atividade agrícola em aquífero livre no alto trecho da Bacia do Paraguaçu, estado da Bahia



Assim, a área com elevado potencial de inserção de contaminantes no aquífero livre no alto trecho da bacia do Paraguaçu foi estimada em 34,94%, o que corresponde a 616,77 km², a área com potencial reduzido 8,24%, ou seja, 145,51 km², e as demais áreas, destinadas a outros usos e coberturas,

cerca de 56,81%, aproximadamente 1.002,79 km², apresentam potencial insignificante para essa atividade.

O objetivo desse zoneamento é fornecer um instrumento para monitoramento da qualidade da água subterrânea fora da

propriedade de uso particular, prevenindo ou reduzindo a abrangência de sua contaminação, bem como indicar zonas de alerta ou mesmo restrição para perfuração de poços voltados para o abastecimento humano.

Considerações finais

A presente análise indica que o potencial de contaminação da água subterrânea no alto trecho da bacia do Paraguaçu encontra-se relacionado aos aspectos de uso e ocupação do solo, cujo eixo econômico assenta-se no agronegócio e nas características naturais do ambiente, a exemplo da alta permeabilidade conferida pelas ocorrências litológicas e baixa profundidade de nível freático.

O conhecimento da distribuição geográfica das zonas de maior perigo permite, numa escala de semidetalhe, subsidiar políticas ambientais. Estratégias de monitoramento da qualidade da água subterrânea, bem como a indicação dos locais mais adequados para a perfuração de

poços são beneficiadas com a indicação de áreas com maior probabilidade de inserção de cargas contaminantes.

Além disso, pode servir de base e incentivo a novos estudos e a iniciativa pública, na geração de uma base de dados hidrogeológicos consistente e em escala de detalhe, de fundamental importância para o avanço técnico-científico e subsidiária a elaboração de instrumentos para tomada de decisões.

No alto trecho da bacia do Paraguaçu, constatou-se que 34,94% do total da área apresenta elevado potencial para inserção de cargas contaminantes, 8,24% reduzido potencial e 56,81% foi classificado como sendo insignificante para a atividade agrícola, por abrigarem outros tipos de usos e cobertura vegetal.

Entende-se que, diante da disponibilidade de recursos e investimentos, devem-se fazer levantamentos sobre os tipos de agrotóxicos e fertilizantes, conduzindo a uma investigação que considere as características das cargas contaminantes e do ambiente natural.

Referências bibliográficas

- ANA. AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil. **Caderno de Recursos Hídricos**, Brasília, 2005.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Unicamp/IG, 1993.
- BRASIL. Ministério do Ambiente. Decreto-Lei n. 382, de 22 de setembro de 1999. Disponível em: <http://www.estg.ipg.pt/legislacao_ambiente/ficheiros/DL%20382-99.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2011.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. 2. ed. Lima: Pan American Sanitary Engineering and Environmental Science Center (CEPIS/PAHO/WHO), 1988.
- FOSTER, S. S. D. et al. **Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Service Companies, Municipal Authorities and Environment Agencies**. Banco Mundial: Washington, 2002. Traduzido por Viana Vieira, 2006: **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água**,

- órgãos municipais e agências ambientais.
- FOSTER, S. S. D. et al. **Groundwater quality protection: defining strategy and setting priorities.** Washington: The World Bank: 2003.
- HIRATA, R.; FERNANDES, A. J. Vulnerabilidade à poluição de aquíferos. In: MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, A. C. F. (Orgs.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM/Labhid, 2008
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA E ESTUDOS AMBIENTAIS. **Censo 2006.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>> Acesso em: 7 jun. 2010.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução de José Carlos Neves Ephiaphanio et al. (Coords.). São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.
- MANOEL FILHO, J. Contaminação da água subterrânea. In: _____; FEITOSA, A. C. F. (Orgs.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM/Labhid, 2008.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 4. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2011.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.
- OLIVEIRA, A. I. L.; FRANCA-ROCHA, W. J. S.; SILVA, A. B. Modelagem da superfície freática na cabeceira da Bacia do Paraguaçu, área do agropolo Mucugê-Ibicoara, estado da Bahia: parâmetro para estudos de contaminação da água subterrânea em aquíferos livres. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15., 30 de abril a 5 de maio de 2011, Curitiba, PR, Brasil. **Anais...** INPE p. 5592.
- OLIVEIRA, E.; SOUZA, J. C. S. Água subterrânea: conservação e gerenciamento. In.: MACHADO, R. [Org.]. **As ciências da terra e sua importância para a humanidade: a contribuição brasileira para o Ano Internacional do Planeta Terra-AIPT.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia/Livros Textos, 2008.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Portaria n. 1.469/2000,** de 29 de dezembro de 2000. Aprova o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2001.
- SEAGRI. SECRETARIA DE AGRICULTURA, IRRIGAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Efetivos da Pecuária por Territórios.** Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/estat_ba.asp>. Acesso em: 29 ago. 2009.
- SEIXAS, B. L. S. **Água: usos, características e potencialidades.** Cruz das Almas: Nova Civilização, 2004.
- SRH. SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano Diretor de Recursos Hídricos: Bacia do Rio Paraguaçu.** Documento Síntese. Salvador, 21 nov. 1993.