

PROPOSTA DE MODIFICAÇÕES NO MÉTODO MAIA PARA AVALIAR A VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO URUCUIA

Paulo Henrique Prates MAIA¹
Manoel Jeronimo Moreira CRUZ²

¹ Geólogo, Doutor em Geologia. Instituto de Gestão das Águas e Clima – INGÁ, Bahia. phpmaia@gmail.com

² Geólogo, Mestre em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (1983), Doutor em Petroquímica, Pós-Doutor em Petrogeoquímica. jc9508@gmail.com

RESUMO. Os métodos tradicionais usados para determinar os índices de vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos consideram a profundidade do topo da zona saturada, um dos principais fatores de proteção da água subterrânea. A relação entre a vulnerabilidade e a profundidade da água é inversa, quanto maior o valor da variável, menor a vulnerabilidade. Próximo à rede de drenagem encontram-se os locais onde o diferencial de pressão promove a ascensão das águas subterrâneas e sua exudação para os rios, esta condição determina um forte efeito de proteção, decorrente da movimentação dos contaminantes para os rios. Como a profundidade da água nestes locais é baixa, todos os métodos os avaliam como se fossem áreas de baixa vulnerabilidade. Este artigo propõe estabelecer modificações na equação do método MAIA, agregando a variável Taxa de Infiltração e incluindo a variável Exudação do Aquífero, obtida a partir da integração dos níveis piezométricos com os gradientes topográficos e com as vazões, medidas de montante para jusante, cujos valores são diretamente proporcionais as variações das pressões e das vazões ao longo de rios efluentes.

Palavras-chave: vulnerabilidade; aquífero; Urucuia; exudação

ABSTRACT. *Proposed changes to the MAIA method to assess the vulnerability of Urucuia Aquifer.* Traditional methods used to determine the levels of intrinsic vulnerability of aquifers consider the depth of the top of the saturated zone, one of the main factors of groundwater protection. The relationship between the vulnerability and the depth of water is reversed, the greater the value of the variable, low vulnerability. Next the drainage network, are the places where the pressure differential promotes the rise of groundwater and its exudation into rivers, this condition determines a strong protective effect, resulting from the movement of contaminants into rivers. As the water depth at these sites is low, all the methods were evaluated as areas of low vulnerability. This article proposes to establish changes in the equation of MAIA method, adding the variable Infiltration Rate and including the variable Exudation Aquifer, obtained from the integration of piezometric levels with topographic gradients and flow rates, measured from upstream to downstream, whose values are directly proportional to the variations of pressures and flow rates along rivers effluents.

Keywords: vulnerability; aquifer; Urucuia; exudation

INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade intrínseca de um aquífero é caracterizada por meio dos seguintes fatores naturais: a) acessibilidade da zona saturada à penetração de poluentes; b) capacidade de atenuação resultante da retenção físico-química ou reação ao poluente na zona não saturada (FOSTER et al., 2006) e c) a diluição e a remobilização dos elementos na água e no solo.

Os diferentes modelos propostos para a determinação da vulnerabilidade à contaminação de um aquífero são modelos matemáticos que fazem uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para gerar mapas de vulnerabilidade e desta forma, estimar o perigo de contaminação (AGUIERO VALVERDE; MESALLES, 2002).

A atenção dos pesquisadores, principalmente nos últimos 30 anos, tem sido uma consequência da crescente preocupação da sociedade com a degradação dos recursos hídricos subterrâneos, tanto no meio urbano quanto rural. É cada vez mais clara a consciência dos responsáveis pela gestão das águas subterrâneas, das limitações técnicas, econômicas e de disponibilidade de mão de obra especializada para remediar a contaminação existente, sobretudo em países em desenvolvimento (HIRATA, 2001).

Tem-se verificado um crescente desenvolvimento de modelos e técnicas de mapeamento de vulnerabilidade à poluição de aquífero, como uma ferramenta para sua proteção. A cartografia de vulnerabilidade tem servido a racionalização de ações de proteção de aquífero, na medida em que tenta compatibilizar as atividades antrópicas com a capacidade do terreno

em suportá-las, sem prejuízo à qualidade das águas subterrâneas (HIRATA, 2001).

Segundo Auge (2003), a vulnerabilidade é considerada uma propriedade intrínseca ao meio, sendo empregada de forma abrangente tanto em trabalhos de planejamento de uso do território, quanto da água. A vulnerabilidade específica inclui a concepção de risco, quando estiver relacionada ao perigo de deterioração a partir da presença de substância contaminante.

A vulnerabilidade está sempre relacionada à maior ou menor fragilidade de um determinado ambiente e, pode ser expressa pela qualidade de ser vulnerável, susceptível, de ser ofendido ou tocado (KOOGAN et al., 1994). O conceito de vulnerabilidade de um aquífero foi baseado, primeiramente, na suposição de que determinadas características do meio aquífero podem oferecer algum grau de proteção da água subterrânea contra o impacto humano e natural.

Toda água subterrânea é vulnerável, em maior ou menor grau, à contaminação; a incerteza é inerente a qualquer avaliação de vulnerabilidade à contaminação; os sistemas mais complexos de avaliação da vulnerabilidade apresentam o risco de obscurecer o óbvio e tornar indistintas as sutilezas (NRC, 1993).

O avanço no desenvolvimento de modelos numéricos e as vantagens que oferecem sistemas como o GIS, que permitem armazenar grande quantidade de informação e processá-las rapidamente, para a obtenção de produtos atualizados no espaço e no tempo, faz prever uma tendência à formulação de metodologias quantitativas no futuro (AUGE, 2004).

Os principais métodos foram desenvolvidos para sistemas aquíferos cujas relações hidráulicas com os rios são do tipo: conectados e desconectados influentes, caracterizados por rios que fornecem água para os aquíferos. Nesses casos a profundidade da água é considerada a variável mais importante e seus autores lhe atribuem um peso elevado nas equações com o objetivo de realçar seu efeito no cálculo dos índices. A relação entre a vulnerabilidade e a profundidade da água em aquíferos influentes é inversa em decorrência da exudação, quanto menor for o valor da variável, maior é a vulnerabilidade.

A aplicação do método *Groundwater occurrence, Overall lithology of the unsaturated zone, Depth to the water table* - GOD no Sistema aquífero Urucuia nos estudos realizados pela Agência Nacional das Águas (ANA, no prelo), revelou que a profundidade da água (D) é determinante na qualificação da vulnerabilidade, uma vez que as outras variáveis da equação, o grau de confinamento (G), a litologia e o grau de consolidação da cobertura (O) praticamente não variam (Figura 1).

Os resultados obtidos com a aplicação dos métodos tradicionais não representam as reais

condições de vulnerabilidade ou de proteção natural do sistema aquífero, pois a profundidade mais baixa da água próxima às margens, neste caso em que a relação rio/aquífero, é responsável pela exudação e representa um forte fator de proteção do aquífero e não de baixa vulnerabilidade (Figura 1).

Próximo à rede de drenagem, encontram-se os locais onde o diferencial de pressão promove a ascensão das águas subterrâneas e como a profundidade da água nestes locais é baixa, os métodos mais utilizados os avaliam, de forma equivocada, como áreas de baixa vulnerabilidade.

Neste trabalho propõe-se avaliar as relações entre a vazão dos rios e os níveis piezométricos com a finalidade de quantificar uma variável que represente este importante efeito de proteção observado no Sistema Aquífero Urucuia na região oeste do Estado.

Os dados de Infiltração medidos nos Estudos Hidrogeológicos do Sistema Aquífero Urucuia, elaborado pela Agência Nacional de Águas – ANA (ANA, no prelo), também deverá se constituir em outra importante variável a ser agregada à equação do método, denominada Taxa de Infiltração (TI), também é diretamente proporcional à vulnerabilidade.

METODOLOGIA

Com o objetivo de descrever a vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos foi desenvolvido o método MAIA, no qual os índices são determinados priorizando aspectos quantitativos sobre os qualitativos, utilizando somente variáveis medidas.

Este método é representado por uma equação algébrica simples, constituída por um conjunto de relações matemáticas e lógicas entre as variáveis e a vulnerabilidade com termos definidos de forma clara, onde as relações matemáticas entre as variáveis e a vulnerabilidade são precisamente descritas.

Desenvolvido por Maia e Cruz (2011), ele apresenta características de um Modelo Análogo e Paramétrico que utiliza uma expressão matemática constituída por uma seleção de parâmetros indicadores de vulnerabilidade cujos valores medidos no sistema aquífero interagem para produzir um índice de vulnerabilidade universal.

O método somente utiliza variáveis mensuráveis que, além de imprimir um caráter universal ao método, acentua a sensibilidade do índice para detectar diferenças decorrentes de pequenas variações nos parâmetros que o qualifica para ser aplicado tanto em áreas com o mesmo tipo de aquífero, como em áreas com vários tipos diferentes.

As variáveis selecionadas são características intrínsecas dos aquíferos relacionadas com a vulnerabilidade que apresentam com ela uma relação matemática direta ou inversa. A partir da análise das relações matemáticas que cada parcela imprime na proteção ou na vulnerabilidade dos aquíferos foi deduzida a equação do novo método.

A equação descreve a vulnerabilidade a partir do somatório dos efeitos de proteção das parcelas representadas pelas variáveis: PA (Profundidade da Água, ES (Espessura do Solo) e DT (Declividade do Terreno, inversamente relacionadas a acessibilidade e atenuação de contaminantes, adicionado aos efeitos na vulnerabilidade produzidos pelas parcelas CE (Capacidade Específica), RE (Recarga), DF (Densidade de Fraturas) e TA (Transmissividade), diretamente relacionadas à acessibilidade de contaminantes ao aquífero.

Como as variáveis são medidas em unidades de natureza diferentes, por exemplo, a "Profundidade da água" e "Espessura do Solo" em metros; "Capacidade Específica", em m³/h/m, essas variáveis também apresentam intervalos de valores com diferentes amplitudes; por exemplo, os valores da "Capacidade Específica" de um determinado aquífero variam de 0,0071 e 46,31 (m³/h/m), enquanto que os valores da "Profundidade da Água" variam no Intervalo de 1,00 a mais de 128,7 (m).

Para solucionar este problema no método MAIA, os valores das variáveis foram colocados em uma escala equivalente para evitar o uso de fatores de ponderação subjetivos como aqueles usados nos métodos tradicionais. As escalas equivalentes são proporcionais as escalas das variáveis medidas e com mesma amplitude de variação. A solução consistiu em reduzir a índices os valores medidos, considerando o menor um e o maior dez e, os demais valores são obtidos por meio de interpolação, também poderia ser o menor um e o maior cem.

Em ambientes aquíferos Fissurais e Cársticos com dados de Densidade de Fratura (DF), se utiliza a equação 1:

$$V = \left[\left(\frac{1}{PA} + \frac{1}{ES} + \frac{1}{DT} \right) + CE + RE + DF \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

onde: PA = Profundidade da Água; ES = Espessura do Solo; DT = Declividade do Terreno; CE = Capacidade Específica; RE = Recarga Potencial; DF = Densidade de Fraturas.

Em ambientes aquíferos Granulares que dispõe de dados de qualidade de Transmissividade do Aquífero (TA) deve ser aplicada equação 2:

$$V = \left[\left(\frac{1}{PA} + \frac{1}{ES} + \frac{1}{DT} \right) + CE + RE + TA \right] \quad (\text{Eq. 2})$$

Levando-se em conta a versatilidade e o caráter modular do método que permite agregar outras variáveis, nos trabalhos de detalhe, principalmente em aquíferos granulares, onde é possível medir as taxas de infiltração com facilidade, esta variável deve ser utilizada para melhorar a precisão do índice MAIA.

Este artigo propõe a elaboração de uma pesquisa com o objetivo de estabelecer modificações na equação do método MAIA, agregando a variável Taxa de Infiltração e incluindo a variável Exudação do Aquífero, com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade do aquífero Uruçua.

A seguir caracterizam-se as variáveis Profundidade da Água, Taxa de Infiltração e Ocorrência de Água Superficial com a finalidade de compreender os efeitos exercidos sobre os índices de vulnerabilidade, sendo que esta última variável foi avaliada para compor o método MAIA na tentativa de quantificar os efeitos de proteção dos fluxos ascendentes no início de seu desenvolvimento, porém esta variável foi descartada devido a impossibilidade de sua determinação com segurança.

RESULTADOS

A seguir descreve-se as variáveis abordadas, definindo e caracterizando os efeitos sobre a vulnerabilidade:

Profundidade da Água

Definida como a profundidade do nível estático é obtida por meio da medida do nível da água, a partir da boca do poço sem bombeamento. A pressão da água nesta superfície está em equilíbrio com a pressão atmosférica. Apresenta uma forte relação com a topografia do terreno.

Apresenta, também, efeitos de proteção relacionados não só a acessibilidade ao meio aquífero, como também a atenuação de contaminantes da zona não saturada. As reações físico-químicas que ocorrem nesta zona promovem a degradação e/ou captura dos contaminantes.

É uma variável que possui uma relação direta com o fator de proteção e inversa com a vulnerabilidade, quanto maior for a profundidade do nível estático, maior será o fator de proteção e menor será a vulnerabilidade do aquífero. Ela está sujeita a alterações sazonais, seus valores aumentam no período chuvoso com a recarga do aquífero e sofrem reduções nos períodos secos. Essas alterações fazem com que a coleta desses dados seja realizada sempre, considerando o período da medição, principalmente se os dados forem utilizados para a determinação da superfície potenciométrica que fornece a direção do fluxo subterrâneo.

A sua variação espacial depende da superfície potenciométrica, da superfície topográfica e da

topografia do substrato. Em linhas gerais, o nível freático acompanha aproximadamente a topografia do terreno.

Nos casos em que a biodegradação dos contaminantes depende de atividades aeróbicas, diferenças serão encontradas entre as áreas onde o nível freático é superficial e aquelas onde ele é profundo.

Alguns contaminantes de baixo peso molecular, como diclorometano, alcoóis, cetonas e ésteres, são imobilizados ou degradados em produtos pouco ou nada tóxicos por processos biológicos, físicos e químicos, porém o mesmo não ocorre com metais e compostos organoclorados.

Para atingir a água subterrânea, localizada abaixo da superfície freática, os contaminantes tem que atravessar três setores distintos da zona de aeração:

O primeiro setor com umidade na parte mais superficial do solo, onde a perda de água para a atmosfera é intensa. Em alguns casos, quando é muito elevada a quantidade de sais decorrente da evaporação da água, estes precipitam na superfície do terreno e tornam os solos salinizados.

O segundo setor intermediário com umidade maior do que na zona superficial do solo e menor do que o terceiro setor, denominado de franja capilar, encontra-se localizado imediatamente acima da superfície freática, próxima à zona de saturação.

Os contaminantes, ao atravessar esses diferentes segmentos da zona de aeração, são submetidos a um processo de atenuação natural no qual os menos densos são imobilizados ou degradados por meio de processos físico, químicos e biológicos (MAIA, 2011).

Taxa de Infiltração

É definida como o processo em que a água, proveniente da precipitação, penetra no solo ou rocha através de poros, fissuras, fraturas ou diáclases, ocupando total ou parcialmente os espaços vazios. Uma parte da água que infiltra atinge a zona saturada e passa a fazer parte da água subterrânea, a outra fica retida na zona não saturada e pode regressar à atmosfera através da evapotranspiração.

Pode ser obtida por meio de um balanço hídrico, por medidas diretas em campo ou utilizando tabelas para os diversos tipos de solo associadas a um mapa pedológico.

Esta variável apresenta uma relação direta com a vulnerabilidade e inversa com o fator de proteção. Quanto maior a capacidade de infiltração, maior será a vulnerabilidade do aquífero e menor será o fator de proteção. Quanto menor a capacidade de infiltração, menor a vulnerabilidade e maior o fator de proteção.

Considerando que a variação espacial está relacionada a propriedades naturais dos solos, cobertura vegetal, declividade do terreno e tipo de chuva, a atuação do fator de proteção pode ser

considerada permanente apesar de depender da manutenção das condições de alguns fatores supracitados. Seu efeito protetor também está relacionado a acessibilidade ao aquífero, tanto da água quanto de contaminantes.

A taxa de infiltração de água no solo pode ser afetada por variações da porosidade, da argilosidade, da cobertura vegetal, da declividade do terreno e do tipo de chuva. A água que infiltra está submetida a duas forças fundamentais: a gravidade que promove o movimento vertical e as forças capilares que promove a adesão das moléculas às superfícies das partículas do solo. A infiltração eficaz se refere aquele volume de água que alcança a zona saturada (MAIA, 2011).

Ocorrência de Água Superficial

Esta variável foi avaliada com a finalidade de representar os efeitos de proteção dos fluxos ascendentes da água no método Maia, utilizando a ocorrência de rios permanentes que refletem a saturação dos aquíferos subjacentes, cujos excedentes da água infiltrada assume movimentos ascendentes, determinados pela energia potencial, responsáveis por um forte efeito de proteção para o aquífero.

O mapa com as poligonais que separam as áreas onde os rios são intermitentes das áreas em que estes são permanentes, em princípio poderia ser obtido, utilizando a hidrografia diretamente na Base Cartográfica do Estado da Bahia na escala 1:100.000.

Esta variável avaliada em conjunto com a distribuição da precipitação, em princípio, poderia indicar as áreas nas quais a saturação do aquífero e a exudação de suas águas, propiciaria o desenvolvimento de uma drenagem superficial perene que atua como um fator de proteção do aquífero. A ocorrência de água superficial é uma variável que apresenta uma relação direta com o fator de proteção dos aquíferos.

Se os rios de uma região forem permanentes, o fator de proteção do aquífero será maior, considerando que este se encontra saturado e, o vetor resultante que representa o movimento da água é ascendente e/ou horizontal, na direção do fluxo da água superficial, conseqüentemente a vulnerabilidade será menor.

Se os rios forem intermitentes, o fator de proteção do aquífero é menor, uma vez que o mesmo não se encontra saturado e a resultante do movimento da água é vertical descendente, elevando à acessibilidade de contaminantes e conseqüentemente a vulnerabilidade do aquífero.

Trata-se de uma variável de efeito sazonal. Em locais com baixa pluviosidade, como a região semiárida, a atuação do fator de proteção fica limitada ao período chuvoso, quando a saturação do aquífero torna fluentes os rios temporários, reduzindo a vulnerabilidade dos aquíferos. Após as chuvas, cessa a atuação do fator de proteção e os

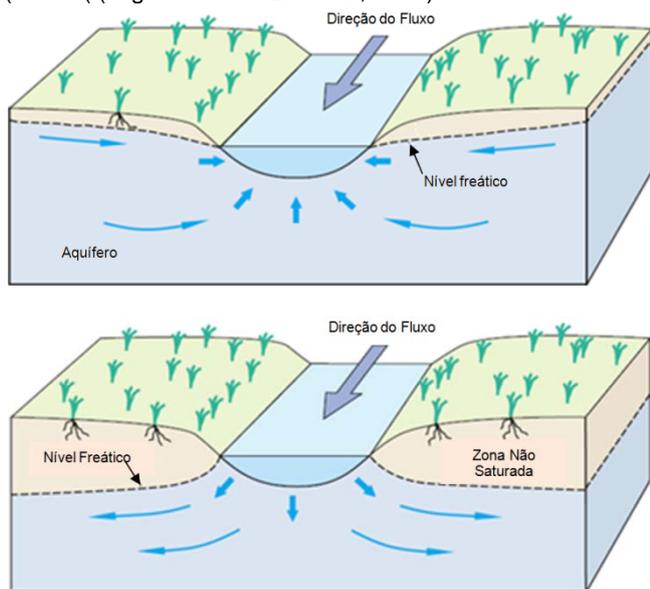
aquíferos retornam a condição anterior em termos de vulnerabilidade.

Ocorreram diversas limitações a utilização dessa variável, em primeiro lugar foi sua determinação. Os levantamentos das folhas que recobrem o Estado foram realizados em períodos diferentes, por diversas equipes de instituições distintas, o que provocou uma série de incongruências na cartografia da hidrografia. Observou-se que os rios temporários da rede de drenagem não apresentam coerência com a pluviosidade e tampouco com a climatologia, portanto sua utilização no método MAIA foi descartada (MAIA, 2011).

A Variável Exudação do Aquífero

Os rios do oeste baiano são efluentes (Figura 2), aqueles alimentados pelo aquífero em exudação, que produz um notável efeito de proteção com os movimentos ascendentes da água. Esta exudação natural é responsável pela perenidade do caudal dos rios que drenam para a bacia dos rios São Francisco, Tocantins e Parnaíba, principalmente no período seco, de abril a setembro.

Figura 2 – Modelo de rio efluente (acima) e rio influente (abaixo) (segundo WINTER et al., 1998)



Esse efeito de proteção impede que contaminantes mais leves que a água, os LNAPL contaminem a água subterrânea, pois estes são conduzidos para a água superficial pelo mecanismo de exudação e, esta proteção natural não é contabilizada por qualquer um dos métodos de avaliação da vulnerabilidade. Este fato explica a não detecção de contaminação das águas em campanhas de monitoramento realizadas na região.

A seleção das variáveis mais adequadas é fundamental para desenvolver uma equação capaz de expressar índices de vulnerabilidade, a partir dos conceitos teóricos sobre o tema e das relações matemáticas entre as variáveis e a vulnerabilidade.

Neste caso é importante identificar e quantificar uma variável para traduzir os efeitos de proteção gerados pelos movimentos ascendentes do fluxo da água nas margens dos rios.

A análise dos gradientes das vazões medidas ao longo dos rios, de montante para jusante, diretamente proporcionais as variações das pressões da água, poderá permitir a determinação do gradiente de vazão que quantifique a força da exudação e, incluir este importante fator de proteção do aquífero na equação do método MAIA.

Considerando que as vazões são proporcionais aos incrementos da pressão hidrostática decorrentes da redução das cotas topográficas na direção de escoamento dos rios. Ao se determinar os gradientes de vazões dos rios estaremos, por extensão, quantificando o gradiente de pressão das águas subterrâneas. Esses valores integrados com os dados piezométricos determinados a partir dos poços tubulares poderão quantificar esta variável para aplicar na equação do método MAIA (MAIA; CRUZ, 2011).

CONCLUSÕES

Considerando que o aquífero Urucua é o principal responsável pela manutenção dos níveis de base dos rios da região e que as vazões aumentam de montante para jusante ao longo da direção do canal de escoamento, esse incremento é diretamente proporcional ao aumento da pressão da água que cresce com a queda dos níveis topográficos.

As vazões utilizadas poderão ser tanto das séries históricas quanto das provenientes de medidas em campo; neste caso, as medições devem ser realizadas no mesmo período para evitar a influência das variações sazonais nos resultados.

As relações entre as vazões dos rios e os níveis piezométricos podem ser utilizadas para quantificar a variável EA (Exudação do Aquífero), diretamente relacionada com a vulnerabilidade (Figura 3). Quando os níveis topográficos se reduzem na direção do escoamento superficial, a pressão da água provoca o aumento das vazões dos rios. Medindo as vazões dos rios pode-se determinar o gradiente de vazão, diretamente proporcional à pressão da exudação.

Considerando que o método MAIA, por princípio, reduz as variáveis da equação a índices para evitar o uso de fatores de ponderação, considerando o menor valor 1 e o maior 10, torna-se possível quantificar a variável exudação do aquífero (EA) e possibilitar sua aplicação na equação.

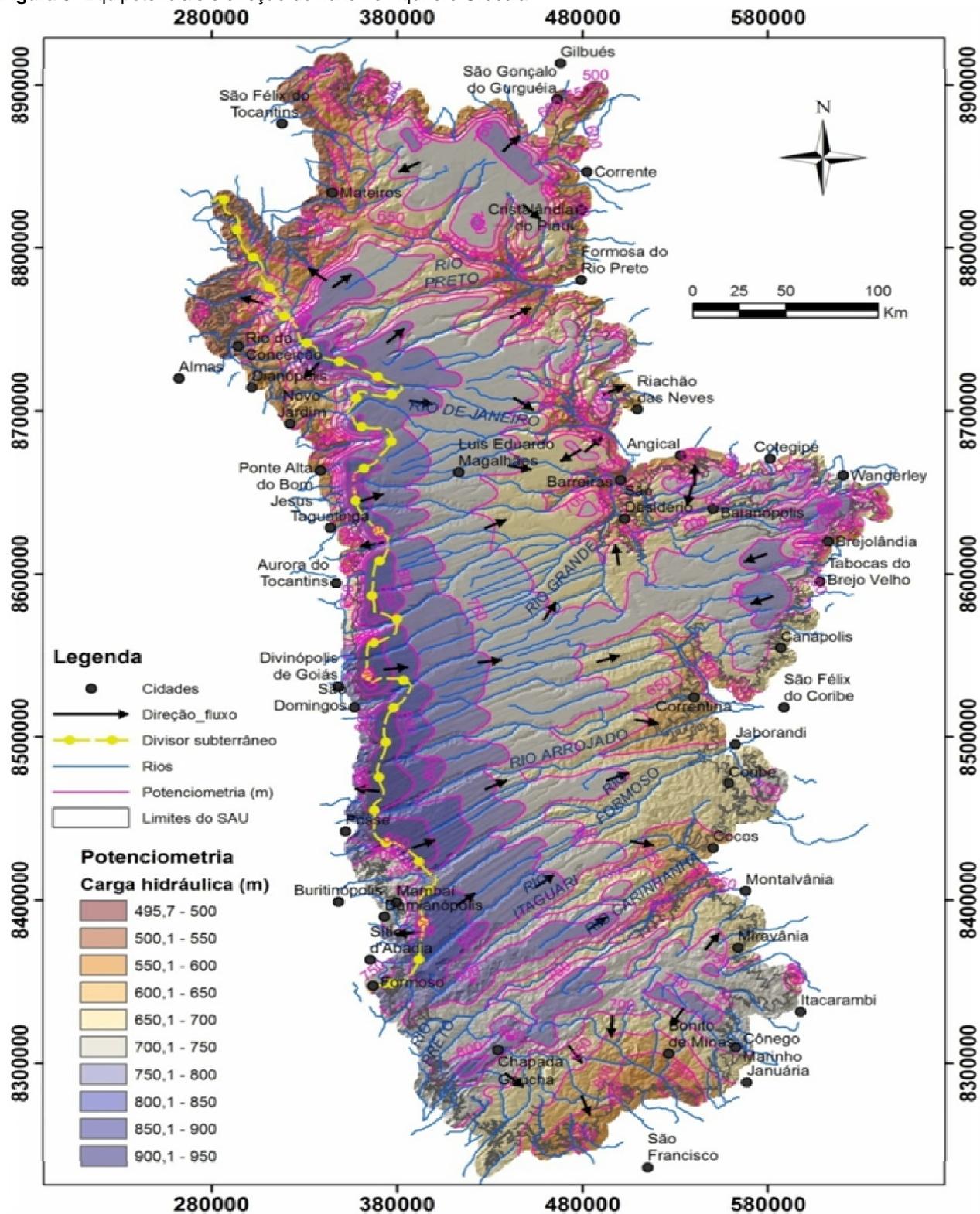
Os valores dos gradientes de vazões determinados devem ser integrados ao mapa de equipotenciais e direção do fluxo para fornecer o layer referente à variável para cruzamentos com o SIG.

Os valores das taxas de infiltração determinadas nos Estudos da ANA também poderão ser

aplicados no novo método quantitativo após serem transformados em índices, conforme as diretrizes do método MAIA (MAIA, 2011), considerando que esta variável apresenta uma relação direta com a

vulnerabilidade. Esta variável pode substituir a Recarga (RE) na equação, caso sua importância não seja tão essencial, com o intuito de criar um equilíbrio entre as variáveis diretas e inversas.

Figura 3- Equipotenciais e direção do fluxo no Aquífero Urucuia



Fonte: ANA (no prelo)

A equação do método MAIA modificada para utilizar os novos dados e atender as especificidades do Sistema Aquífero Urucuia será (Eq. 3):

$$V = \left[\left(\frac{1}{PA} \right) + \left(\frac{1}{ES} \right) + \left(\frac{1}{DT} \right) + CE + RE + EA + TI \right] \quad (\text{Eq. 3})$$

onde: PA = Profundidade da Água; ES = Espessura do Solo; DT = Declividade do Terreno; CE = Capacidade Específica; RE = Recarga Potencial; EA = Exudação do Aquífero; TI = Taxa de Infiltração.

Caso se queira retirar da equação a Recarga Potencial (RE) com a o objetivo de equilibrar as variáveis de relação direta com as de relação inversa na equação, esta ficará (Eq. 4):

$$V = \left[\left(\frac{1}{PA} \right) + \left(\frac{1}{ES} \right) + \left(\frac{1}{DT} \right) + CE + EA + TI \right] \quad (\text{Eq. 4})$$

REFERÊNCIAS

- AGÜERO VALVERDE, J.; MESALLES, R. P. **Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos Del Valle Central de Costa Rica.** 2002. Disponível em: <http://gis.esri.com/library/userconf/latinproc00/costa_rica/analisis_vulnerabilidad/vulnerabilidad.html>. Acesso em: 06 jun. 2008.
- ANA - Agência Nacional de Águas; Ministério do Meio Ambiente. **Estudos hidrogeológicos e de vulnerabilidade no sistema aquífero Urucuia e proposição de modelo de gestão integrada e compartilhada.** Relatório no prelo.
- AUGE, M. **Vulnerabilidad de acuíferos: conceptos y metodos.** Buenos Aires: Universidade de Buenos Aires, 2003. Disponível em: <<http://www.tierra.rediris.es/hidrored/ebvulnerabilidad.html>>. Acesso em: 4 jun. 2008.
- AUGE, M. Vulnerabilidade de aquíferos. **Revista Latino-Americana de Hidrogeologia**, Curitiba, n. 4, p. 85-103, 2004.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R.; GOMES D.; D'ELIA M.; PARIS M. **Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies.** The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, 2002. Edição brasileira: São Paulo: Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda., 2006.
- HIRATA, R. C. A. Oito perguntas e oito tentativas de respostas sobre a vulnerabilidade à poluição de aquífero. In: SEMINÁRIO TALLER, 1., 2001, São Paulo. Protección de Acuíferos frente a La contaminación: metodología. Toluca, México, 2001. **Anais...** Disponível em: <<http://tierra.rediris.es/hidrored/RVA.html>>. Acesso em: 4 jun. 2008.
- NRC - National Research Council. **Groundwater vulnerability assessment: contamination potential under conditions of uncertainty.** Washington, D.C.: National Academy Press, 1991.
- KOOGAN, A. **Enciclopédia e dicionário ilustrado.** Rio de Janeiro: Delta, 1994. 1635 p.
- MAIA, P., H., P.; CRUZ, M. J. M. Um novo método para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 5, n. 2, p. 29-40, 2011.
- MAIA, P., H., P. **Um novo método para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos.** Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011. 130 f.
- WINTER, T.C., HARVEY, J.W., FRANKE, O.L.; ALLEY, W.M. **Ground water and surface water: a single resource.** Denver, Colorado, USA: US Geological Survey, 1998. (Report Number Circular 1139).