



VI-140 – AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE ARAGUARI UTILIZANDO O MODELO DRASTIC

Jussara Ismênia Diaz

Engenheira Geóloga pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Mestre em Engenharia Mineral pela UFOP. Hidrogeóloga da AngloGold Ashanti Brasil Mineração.

Otávio Eurico de Aquino Branco⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Especialista em Técnicas Nucleares pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Ciências Técnicas Nucleares pela UFMG. Doutor em Engenharia Nuclear Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Pesquisador do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). Linhas de pesquisa: transporte de contaminantes (solos e águas), recursos hídricos, modelagem matemática e deposição de resíduos.

Carlos Alberto de Carvalho Filho

Geólogo pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Pesquisador do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). Linhas de pesquisa: hidrogeologia, modelagem matemática de transporte de contaminantes, diagnóstico ambiental e recursos minerais.

Leila Nunes Menegasse Velásquez

Geóloga pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre e Doutora em Geociências (Recursos Hídricos e Hidrogeologia) pela Universidade de São Paulo (USP). Linhas de pesquisa: recursos hídricos, hidrogeoquímica, contaminação da água subterrânea.

Paulo César Horta Rodrigues

Geólogo pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Doutor em Ciências Naturais pela Johannes Gutenberg Universität (Mainz, Alemanha). Pesquisador do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). Linhas de pesquisa: geoprocessamento.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Antônio Carlos, 6627, Campus da UFMG, Pampulha – Belo Horizonte - CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: (31) 3069-3351 - e-mail: oeab@cdtn.com.br

RESUMO

A qualidade das águas subterrâneas tem se tornado o foco de discussões recentes, visando uma utilização sustentável e preservacionista desse recurso natural. A questão da utilização desse manancial hídrico já disponibiliza ferramentas importantes para seu gerenciamento quantitativo e recentemente uma resolução do CONAMA estabelece diretrizes qualitativas para a classificação das águas subterrâneas em função do seu uso. Quanto ao seu segundo aspecto, destaca-se que quando um aquífero sofre contaminação, sua reabilitação não é um processo simples e os custos são em geral muito elevados.

O presente trabalho, desenvolvido no âmbito do Projeto SAG (UFMG *et al.*, 2006), tem por objetivo discutir os conceitos de vulnerabilidade e de risco de contaminação de águas subterrâneas e relatar um estudo de caso de avaliação da vulnerabilidade utilizando o modelo *DRASTIC*, para o município de Araguari, MG. Para realização desse estudo da avaliação da vulnerabilidade através da utilização do modelo *DRASTIC*, cada um dos parâmetros envolvidos nessa metodologia foram avaliados e plotados em mapas para a classificação dos tipos de vulnerabilidade. Esse estudo indicou áreas de vulnerabilidade variando de moderada a muito baixa para a região. Cerca de 75% da área municipal foi classificada como de vulnerabilidade moderada indicando a necessidade de detalhamento dos estudos e validação dos resultados obtidos, utilizando outros modelos de análise. Essa área, classificada como de vulnerabilidade moderada, é de uso intensivo da agroindústria regional, a qual tem forte impacto sobre a demanda hídrica e grande potencial de contaminação dos aquíferos devido ao uso de agroquímicos. A área com baixa vulnerabilidade corresponde à sede municipal, indicando certa proteção do manancial subterrâneo que suporta a totalidade do abastecimento público municipal.

PALAVRAS-CHAVE: Vulnerabilidade Natural, Contaminação de Aquíferos, Método *DRASTIC*, Água Subterrânea.



INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por objetivo discutir os conceitos de vulnerabilidade e de risco de contaminação de águas subterrâneas e relatar um estudo de caso de avaliação da vulnerabilidade utilizando o modelo *DRASTIC*, para o município de Araguari, MG. Nessa região há uso intensivo de agrotóxicos e de regime de exploração preocupante dos recursos hídricos subterrâneos.

O estudo da avaliação da vulnerabilidade e do risco à contaminação dos recursos hídricos vem merecendo especial atenção devido ao aumento da utilização da água subterrânea com resultado do crescimento populacional, industrial e agrícola e consequente exploração predatória desse recurso.

A vulnerabilidade à contaminação do aquífero representa as características intrínsecas que determinam a susceptibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga contaminante (FOSTER (1987), em FOSTER & HIRATA (1993)).

FOSTER & HIRATA (*op. cit.*) definem o risco de contaminação das águas subterrâneas como a probabilidade destas serem contaminadas com concentrações superiores aos padrões recomendados pela OMS (Organização Mundial de Saúde) para a qualidade da água ao consumo humano.

Através do estudo da avaliação da vulnerabilidade e do risco à contaminação podem, também, ser elaborados programas de proteção e controle dos recursos hídricos subterrâneos, orientados às políticas estabelecidas pelos órgãos gestores dos recursos hídricos.

Dentro desse contexto, foi realizado, no âmbito do Projeto SAG (UMFG *et al.*, 2006), o estudo da vulnerabilidade natural a contaminação das águas subterrâneas no município de Araguari, estado de Minas Gerais. Os estudos foram realizados na área de ocorrência da Formação Marília (Grupo Bauru), dos solos de alteração da Formação Serra Geral e das coberturas Terciárias/Quaternárias identificadas no município.

Dentre os métodos mais consagrados para a avaliação da vulnerabilidade natural a contaminação da água subterrânea estão o método *GOD*, HIRATA (1994), o método *GOD-S*, FOSTER *et al.*, (2002) e o método *DRASTIC*, ALLER *et al.* (1987). Estudos anteriores realizaram a avaliação da vulnerabilidade natural para o município de Araguari utilizando as metodologias *GOD* e *GOD-S*, DIAZ *et al.*, (2006). Agora, no presente trabalho utilizou-se o método *DRASTIC* para avaliação da vulnerabilidade no município de Araguari.

Ressalta-se que a cidade de Araguari concentra 90% da população total do município e tem abastecimento de água urbano, rural e a água utilizada na irrigação exclusivamente através da utilização de água subterrânea dos aquíferos superiores (Serra Geral e Bauru). Estima-se a existência de 120 poços tubulares em funcionamento para o abastecimento da população de Araguari (www.araguari.mg.gov.br). A intensa exploração da água nessa localidade já tem gerado conflitos entre os diversos usuários.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo da avaliação da vulnerabilidade natural a contaminação das águas subterrâneas englobou o município de Araguari, estado de Minas Gerais. A cidade de Araguari está localizada na região do Triângulo Mineiro (extremo oeste do Estado de Minas Gerais) ocupando uma área total de 2.745,85km² (www.almg.gov.br). A área estudada encontra-se delimitada pelas coordenadas -18°26'1,0", -48°03'8,5" e -18°47'35,1", -47°58'46,8". Araguari dista 570km a oeste de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais. As cidades que fazem limite com Araguari são: Cascalho Rico, Tupaciguara, Uberlândia, Indianópolis e Estrela do Sul. A Figura 1 apresenta o mapa de localização do município de Araguari.

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

A região de Araguari apresenta três sistemas aquíferos distintos: Sistema Aquífero Cristalino, Sistema Aquífero Serra Geral – Botucatu e Sistema Aquífero Bauru. Os sistemas aquíferos Serra Geral - Botucatu e Bauru pertencem ao Sistema Aquífero Guarani.

O Sistema Aquífero Cristalino é constituído por rochas do embasamento cristalino e considerado um aquífero do tipo fissural.



O Sistema Aquífero Serra Geral – Botucatu, constituído por arenitos da Formação Botucatu e por derrames basálticos da Formação Serra Geral, é também do tipo fissural. A Formação Botucatu constitui um dos maiores reservatórios de água subterrânea do mundo, principalmente explorado na região norte do Estado do São Paulo (BATEZELLI *et al.*, 2005).

O Sistema Aquífero Bauru é representado pelos sedimentos arenosos do Grupo Bauru e pelas coberturas terciárias. Esse sistema aquífero é de natureza granular-livre. Segundo IGAM (2001), a recarga é por infiltração das águas de chuva nas chapadas. E a descarga ocorre, principalmente, no contato entre a sequência sedimentar desse sistema aquífero e o basalto do Sistema Serra Geral. O Sistema Aquífero Bauru é o principal aquífero da bacia do Rio Araguaçu, sendo o mais produtivo e explotado da região, estando a área urbana de Araguaçu localizada sobre esse sistema aquífero, constituindo, portanto o mais importante sistema aquífero para a região e resultando na área alvo dessa pesquisa. Segundo OLIVEIRA (2002), em FIUMARI (2004), esse sistema aquífero, no município de Araguaçu, tem uma espessura média de 33 metros e uma zona não saturada entre 7 e 36 metros.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Araguaçu, Minas Gerais



METODOLOGIA

A metodologia de trabalho consistiu em pesquisa bibliográfica, levantamento de dados, interpretação e elaboração de mapas para cada um dos parâmetros envolvidos na metodologia *DRASTIC*, ALLER *et al.* (1987).

Esse método *DRASTIC* avalia a vulnerabilidade natural da água subterrânea à contaminação, levando em conta parâmetros mapeáveis selecionados como mais importantes no que diz respeito à vulnerabilidade à contaminação do aquífero. Esse método objetiva a identificação de áreas com potencial de poluição, direcionando-as para a realização de medidas preventivas e estudos detalhados, além do seu monitoramento para a proteção da água subterrânea.

DRASTIC é um acrônimo que envolve os seguintes parâmetros:

- D: Profundidade da água subterrânea (*Depth to water*);
- R: Recarga líquida (*(Net) Recharge*);
- A: Tipo de aquífero (*Aquifer media*);
- S: Tipo de solo (*Soil media*);
- T: Topografia (*Topography*);
- I: Impacto na zona vadosa (*Impact of the vadoze zone media*);
- C: Condutividade hidráulica do aquífero (*Conductivity (hydraulic) of the aquifer*).



Para cada um desses parâmetros, são atribuídos pesos, faixa e grau ou valor de variação. Os pesos são valores fixos, constantes que não podem ser mudados, pois, são a essência do sistema para o método *DRASTIC*. Os pesos variam de 1 a 5 e relevam a importância de cada um em relação aos demais parâmetros. A faixa de variação corresponde à variação que cada grau ou valor de variação assume ou admite para cada parâmetro. E o grau ou valor de variação atribuídos oscila de 1 a 10, dizem respeito à menor ou maior vulnerabilidade à contaminação, respectivamente.

O resultado obtido para o Índice *DRASTIC* (equação 1) revela o índice de vulnerabilidade para a área estudada que pode variar de desprezível a extremo. Quanto maior o Índice *DRASTIC*, maior será a vulnerabilidade à contaminação da área.

$$\text{Índice } \mathbf{DRASTIC} = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W \quad \text{equação (1)}$$

D, R, A, S, T, I, C: parâmetros do Índice *DRASTIC*

R = grau de variação atribuído e W = peso

Para que o método *DRASTIC* apresente resultados confiáveis é necessário fazer algumas considerações em relação à área em estudo e ao contaminante. Para a área a ser avaliada, o seu tamanho tem que ser igual ou superior a 0,4 km², escala regional. Quanto ao contaminante, é admitido que o processo de contaminação se inicie na superfície do terreno e que o transporte para as camadas inferiores se dê por meio de percolação com mobilidade semelhante à mobilidade da água. Para condições distintas das acima citadas, deve-se lançar mão de estudos mais específicos para que os resultados sejam os mais precisos possíveis.

Para a avaliação da vulnerabilidade natural pelo método *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987), cada parâmetro envolvido foi analisado conforme apresentado a seguir:

Para a profundidade de água subterrânea (nível estático) - **parâmetro D** - do método *DRASTIC*, as informações foram obtidas por meio de medição de nível de água em poços tubulares. A profundidade de nível de água medido variou de 1,37 a 30,48 metros. Os pontos que correspondem ao afloramento de água, nascentes, como aqueles do contato entre o Grupo Bauru e Formação Serra Geral onde existe quebra de topografia, foi estabelecido o valor 0,00 metro. Logo, foram separadas as faixas de variação de profundidade do nível de água e atribuídos graus e pesos pré-estabelecidos segundo a metodologia *DRASTIC*, Tabela 1 e Figura 2.

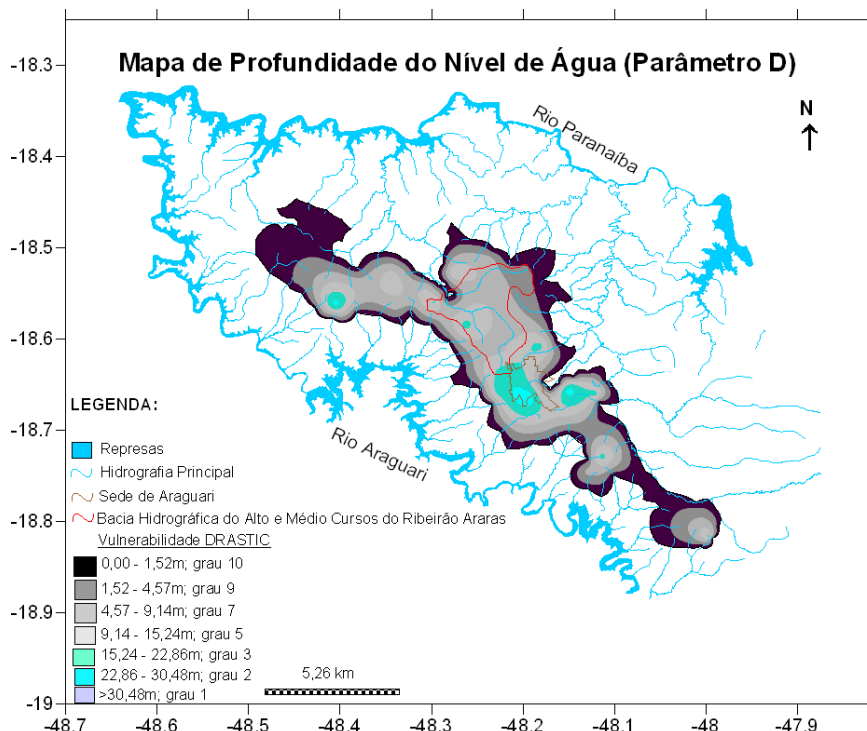
Tabela 1: Grau e peso atribuídos para o parâmetro D, método *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987).

Faixa de variação do nível de água m	Grau	Peso	Grau x Peso
0,00-1,52	10	5	50
1,52-4,57	9	5	45
4,57-9,14	7	5	35
9,14-15,24	5	5	25
15,24-22,86	3	5	15
22,86-30,48	2	5	10
>30,48	1	5	5

Pelo mapa de profundidade de nível estático para o método *DRASTIC* (Figura 2), as áreas que apresentaram níveis de água mais profundos (>15,24 metros) englobam quase toda a sede de Araguari e em dois pontos significativos, isolados, sendo um a leste e outro a noroeste da região estudada. Toda a borda da área em estudo apresenta-se com baixa profundidade (<1,52 metros) e a parte central varia de 1,52 a 15,24 metros.



Figura 2: Mapa de profundidade de nível estático, método *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987)



A avaliação da recarga - **parâmetro R** - teve como base os resultados obtidos pela UFMG *et al.* (2006) para as sub-bacias do Ribeirão Araras e do Córrego Amanhece. Os dados para a análise da recarga nas sub-bacias selecionadas foram tomados nas estações pluviométricas e fluviométricas para dois anos hidrológicos (2003/2004 e 2004/2005), Tabela 2.

Tabela 2: Análise da recarga obtida por meio do balanço hídrico para as sub-bacias Ribeirão Araras e Córrego Amanhece. Fonte: UFMG *et al.* (2006).

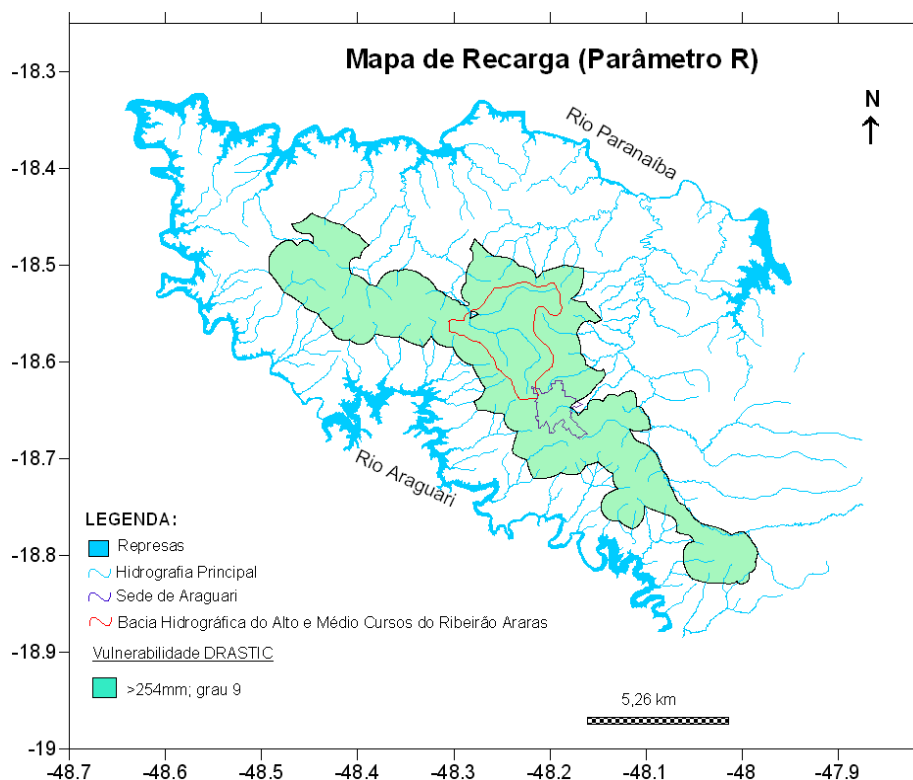
Sub-bacia Ribeirão Araras					Sub-bacia Córrego Amanhece			
Ano	Precipitação (mm)	Recarga (mm)	Vazão (m ³ /s)	Deflúvio (mm)	Precipitação (mm)	Recarga (mm)	Vazão (m ³ /s)	Deflúvio (mm)
2003/2004	1.152,3	345,7 (30%)	0,368	405 (35%)	1.042,7 (23%)	239,82	0,101	370 (36%)
2004/2005	1.541,8	770,9 (50%)	0,495	546 (35%)	1.482,0 (48%)	711,36	0,097	354 (24%)
Média	1.347,0	558,3	0,432	475	1.262,3	475,6	0,099	362

Dentro da metodologia *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987) para os valores de recarga encontrados para as sub-bacias analisadas foi atribuído grau igual a 9, pois todos os valores de recarga são superiores a 30,48mm e peso correspondente a 4 (Tabela 3 e Figura 3).

Tabela 3: Valores do grau e peso atribuídos para a recarga, parâmetro R da metodologia *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987) para cada sub-bacia analisada para a região de Araguari

Sub-bacia	Recarga média mm	Grau	Peso	Grau X Peso
Ribeirão Araras	558,3	9	4	36
Córrego Amanhece	475,6	9	4	36

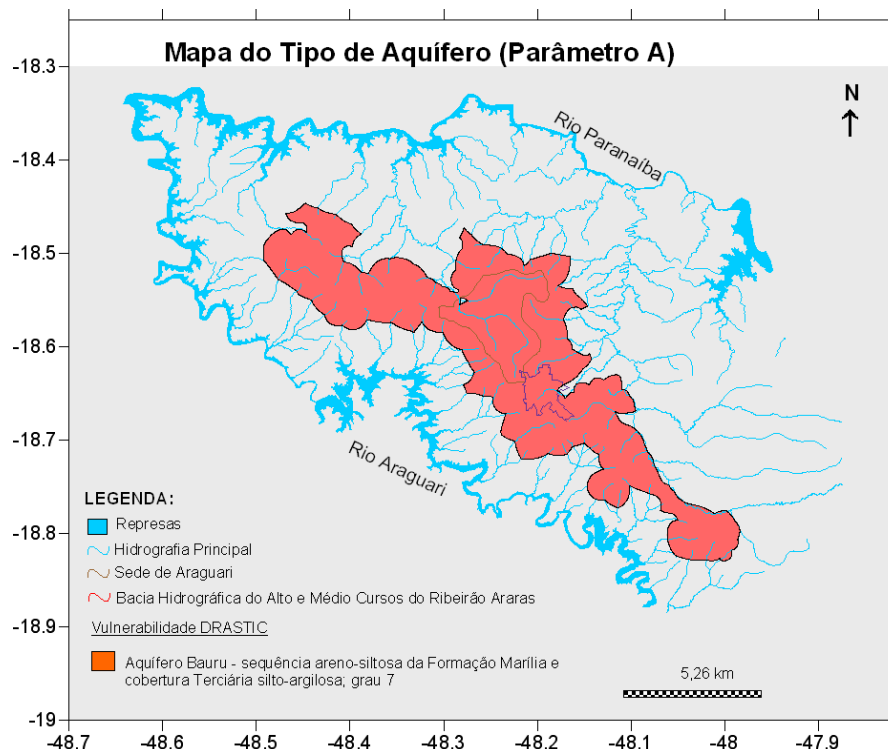
Figura 3: Mapa da distribuição da recarga para a região de Araguari, método *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987)



Para o tipo de aquífero - **parâmetro A** - toda a área em estudo está situada sobre o Aquífero Bauru que é do tipo livre, granular. Dentro da metodologia *DRASTIC*, para a análise desse aquífero foi atribuído grau igual a 7 e peso 4 (Tabela 4 e Figura 4). O grau atribuído é devido a composição do Aquífero Bauru que é constituído pela sequência areno-siltosa da Formação Marília (Grupo Bauru), unidade de topo da Bacia sedimentar do Paraná, e pelas coberturas laterizadas terciárias silto-argilosas.

Tabela 4: Valores do grau e peso atribuídos para o tipo de aquífero, parâmetro A da metodologia *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987) para a região de Araguari

Tipo de aquífero	Grau	Peso	Grau X Peso
Arenito	7	4	28

Figura 4: Mapa do tipo de aquífero para a região de Araguari, método *DRASTIC*

Para o tipo de solo - **parâmetro S** - a área em estudo apresenta oito tipos diferentes de solo (EMBRAPA, 1982), que foram reagrupados em cinco tipos segundo o tipo de solo, textura e substrato que lhe deu origem. Após análise para coleta de amostras ao longo do perfil do solo para estudo da vulnerabilidade foram novamente reagrupados em três tipos. O critério para esse novo reagrupamento foi a classe textural conforme apresentada na Tabela 5.

Tabela 5: Classificação textural dos diferentes tipos de solo, taxas e peso atribuídos para a metodologia *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987)

Tipo de solo	Textura Dominante	Variação textura	Grau	Peso	Grau x Peso
Latossolo Vermelho escuro distrófico	Argila	Franco argilo arenosa, argila, franco arenosa, franco argilosa	2	2	4
Latossolo Roxo distrófico	Franco argilosa	franco argilosa, franco argilo arenosa, argila	3	2	6
Latossolo Vermelho amarelo álico ou distrófico	Franco argilo arenosa	franco argilosa, franco argilosa, Franco argilo arenosa, argila	6	2	12
Latossolo Vermelho escuro álico		franco arenosa, argilo arenosa, franca			
Cambissolo Eutrófico					

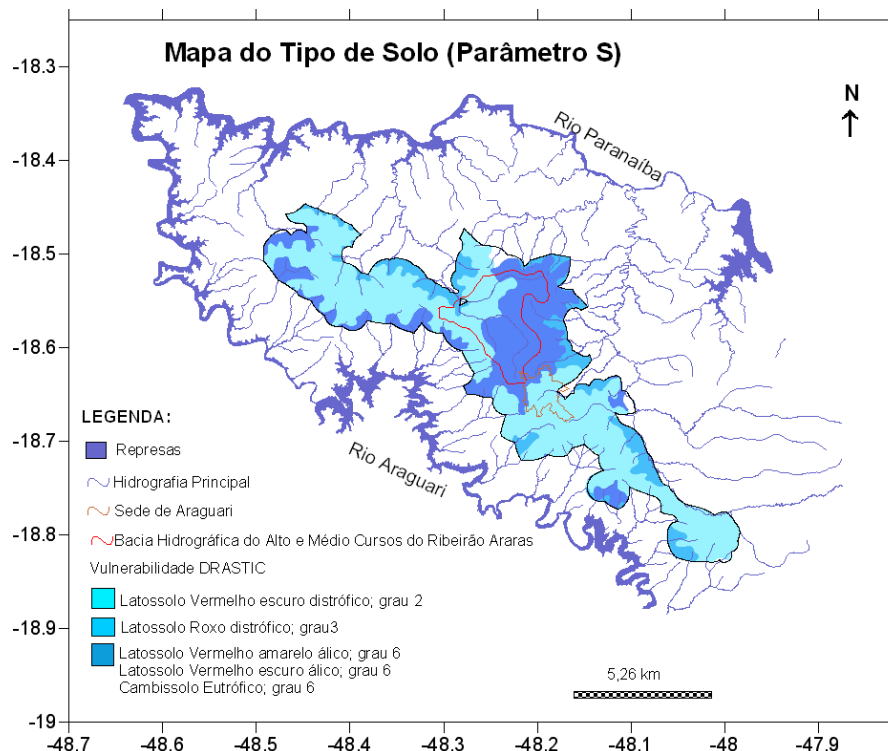
Para a avaliação da vulnerabilidade segundo a metodologia proposta, o grau atribuído para o Latossolo Vermelho escuro distrófico foi 2 (Tabela 5). Esse valor evidencia a predominância da textura argilosa e, ainda, leva em consideração a percentagem média de matéria orgânica (3,10%) que se apresentou maior em relação aos outros solos. Ambas, conteúdo de argila e matéria orgânica, contribuem para a diminuição do potencial de contaminação para esse solo.

Para o Latossolo Roxo distrófico com textura dominante franco argilosa o valor ou grau atribuído foi igual a 3 (Tabela 5), pois em relação ao solo, a quantidade de areia presente aumentou. Isso torna o solo mais vulnerável em relação ao anterior. Portanto o valor atribuído foi maior, pois, quanto maior esse valor, maior a vulnerabilidade à contaminação.

O Latossolo Vermelho amarelo álico ou distrófico, o Latossolo Vermelho escuro álico e o Cambissolo Eutrófico apresentaram grande variação na classe textural, mas o predomínio é franco argiloarenosa. Como essa textura é maior em relação ao solo anterior, recebeu valor grau igual a 6 (Tabela 5), pois a probabilidade de contaminação aumenta com o aumento da granulometria.

O mapa do tipo de solo, segundo a metodologia usada está apresentado na Figura 5.

Figura 5: Mapa do tipo de solo para a região de Araguari, método *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1998)



Para a topografia - **parâmetro T** - tem-se que relevo é praticamente plano apresentando-se íngreme nos limites da região em estudo. A porção íngreme corresponde aos locais onde ocorrem as coberturas colúvio-eluvionares lateríticas e a porção plana está representada pela Formação Marília (Grupo Bauru). A porcentagem de inclinação para a área em estudo variou de 0 a 35%.

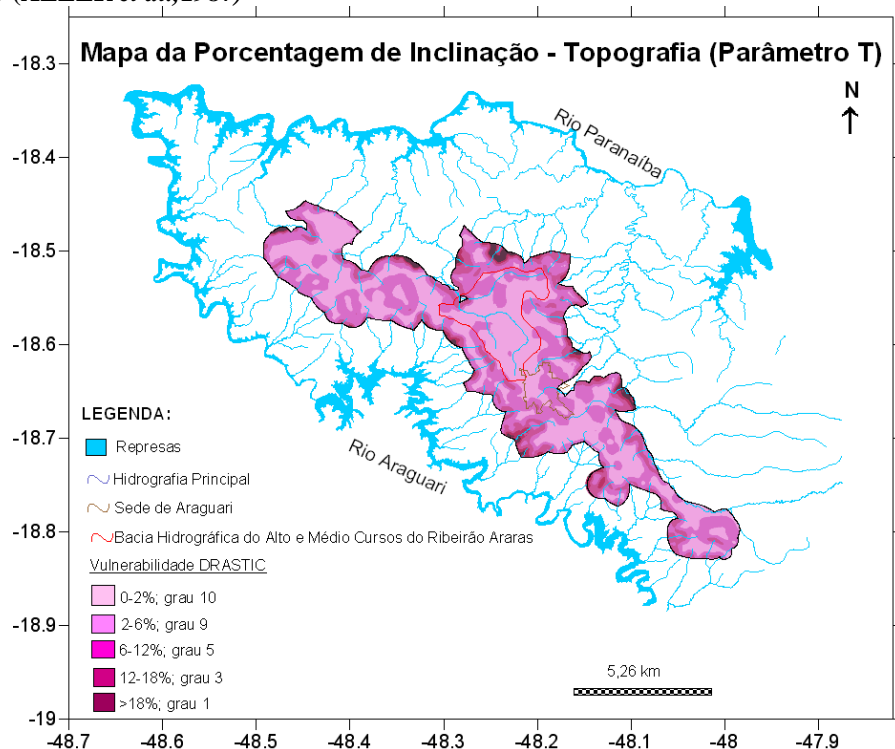
A Tabela 6 apresenta os graus e o peso atribuídos para a porcentagem de inclinação presentes na região de Araguari segundo a metodologia *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987). A Figura 6 apresenta o mapa de porcentagem da inclinação da topografia para a região de Araguari.

Tabela 6: Valores do grau e peso atribuídos para a porcentagem de inclinação topográfica, parâmetro T da metodologia *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987) para a região de Araguari

% Inclinação topográfica	Grau	Peso	Grau X Peso
0-2	10	1	10
2-6	9	1	9
6-12	5	1	5
12-18	3	1	3
18-35	1	1	1



Figura 6: Mapa da porcentagem de inclinação topográfica para a região de Araguari, método DRASTIC (ALLER *et al.*, 1987)



Para o impacto na zona vadosa - **parâmetro I** - tem-se que o tipo de zona vadosa determina as características de atenuação do material abaixo da zona do solo. Para a região de Araguari, que é composta pela sequência areno-siltosa da Formação Marília e pelas coberturas laterizadas terciárias silto-argilosas, foi atribuído os graus 4 e 7 respectivamente (Tabela 7 e Figura 7).

Tabela 7: Valores dos graus e pesos atribuídos para o impacto na zona vadosa, parâmetro I da metodologia DRASTIC (ALLER *et al.*, 1987) para a região de Araguari

Impacto na zona vadosa	Grau	Peso	Grau X Peso
Sequência areno-siltosa da Formação Marília	4	5	20
Coberturas laterizadas terciárias silto-argilosas	7	5	35

Para a condutividade hidráulica, **parâmetro C** - foram analisadas um total de vinte e nove amostras pré-determinadas de solo em superfície e em sub-superfície para os cinco diferentes tipos de solo que ocorrem na região de Araguari. Para estas amostras foram analisadas as porcentagens de areia grossa, areia fina, silte e argila e, então, gerados os gráficos de distribuição granulométrica. Através desses gráficos, foram obtidos os valores correspondentes ao diâmetro médio do grão (d_{50}). O método utilizado para o cálculo da estimativa da condutividade hidráulica foi proposto por Shepherd em FETTER, 1994.

Os valores obtidos para a condutividade hidráulica variaram de $3,15 \times 10^{-8}$ m/s a $1,46 \times 10^{-5}$ m/s, com valor médio de $2,09 \times 10^{-6}$ m/s. Logo, para a análise dentro da metodologia DRASTIC admitiu-se o valor médio de condutividade hidráulica para o Aquífero Bauru sendo atribuído grau igual a 1 e peso 3 (Tabela 8 e Figura 8).



Figura 7: Mapa do impacto na zona vadosa para a Araguari, método *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987)

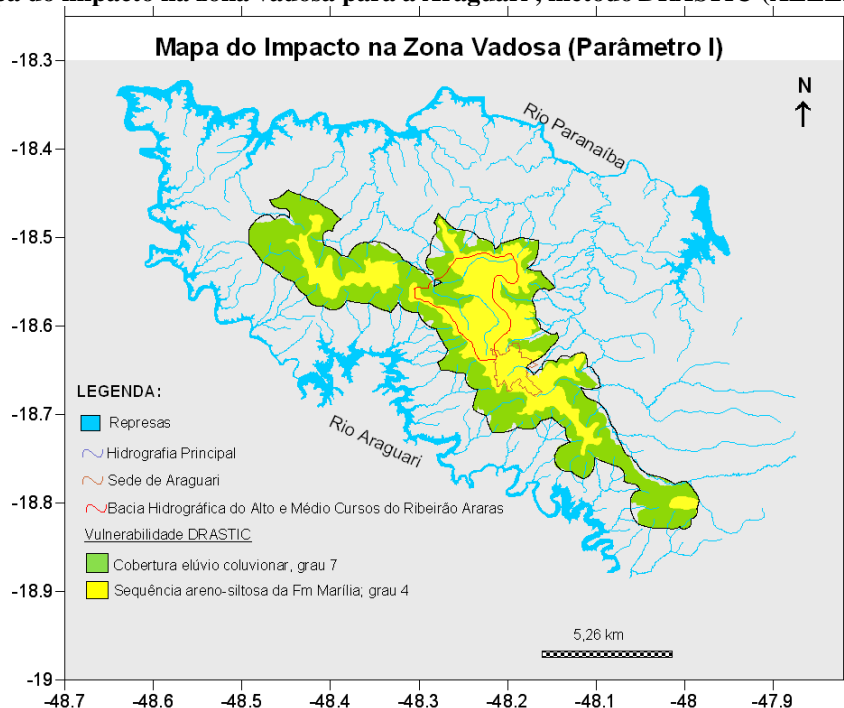
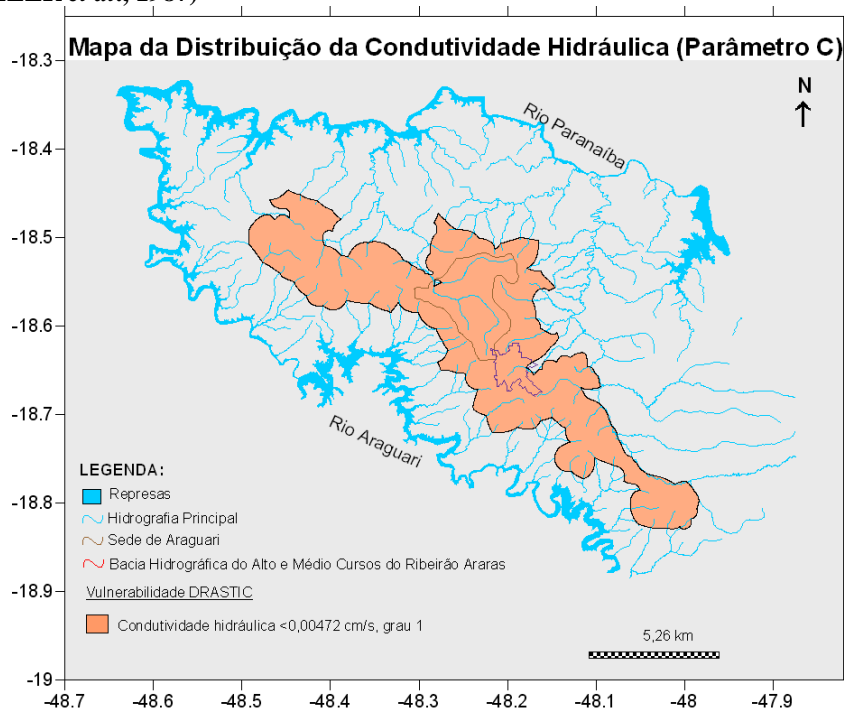


Tabela 8: Valores do grau e peso atribuídos para a condutividade hidráulica, parâmetro *C* da metodologia *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987) para a região de Araguari

Condutividade hidráulica	Grau	Peso	Grau x Peso
m/s			
$2,09 \times 10^{-6}$	1	3	3

Figura 8: Mapa da distribuição da condutividade hidráulica para a região em estudo, método *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987)





Após a elaboração e a análise dos mapas de todos os parâmetros *D, R, A, S, T, I e C* foi gerado o mapa final do índice de vulnerabilidade através da soma de todos esses mapas com seus respectivos graus atribuídos e pesos, conforme Figura 9.

O resultado final apresenta áreas com vulnerabilidade variando de moderada, baixa a muito baixa. Não foram encontradas áreas com vulnerabilidade desprezível nem extrema.

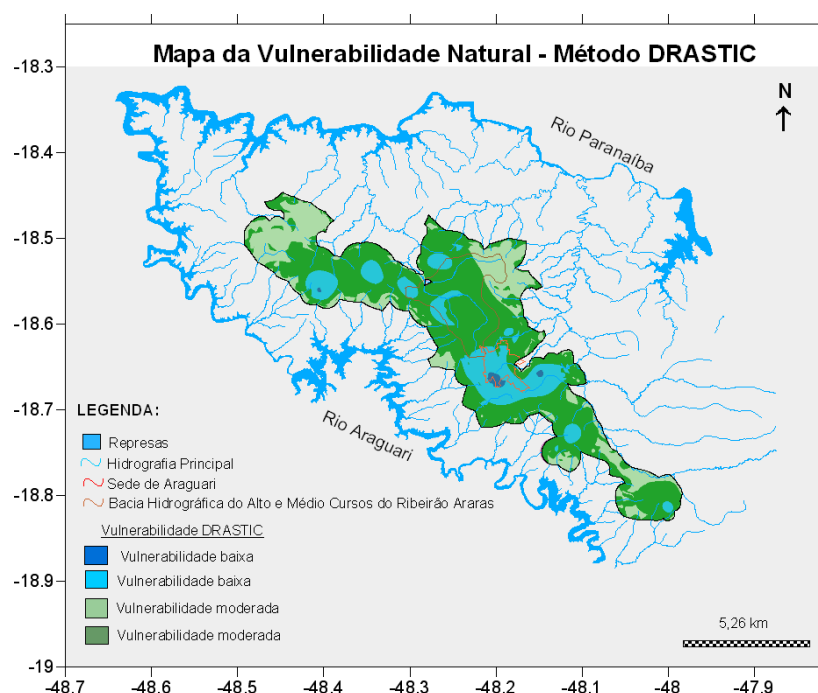
As áreas com vulnerabilidade muito baixa correspondem a 4% do total da área estudada. O parâmetro de maior influência foi a profundidade de nível de água, uma vez que as áreas de vulnerabilidade muito baixa compreendem regiões onde os poços têm maiores profundidades de nível de água subterrânea.

As áreas com vulnerabilidade baixa (16% da área) ocorrem de forma mais significativas abrangendo toda a sede de Araguari e ainda o seu sudeste e sudoeste (Figura 9). Essa vulnerabilidade ocorre também em cinco porções isoladas a noroeste e em dois pontos a sudeste da sede de Araguari. As áreas com vulnerabilidade baixa tiveram maiores influências dos parâmetros *I* (Impacto na Zona Vadosa), *T* (Topografia), *S* (Tipo de solo) e *D* (Profundidade do nível de água). Respectivamente, as áreas de vulnerabilidade baixa englobaram áreas com sequência areno-siltosa da Formação Marília, com inclinações topográficas entre 0 a 6%, áreas de Latossolo Vermelho escuro distrófico com textura argilosa e áreas com profundidade de nível de água entre 15,24 a 23,00 metros aproximadamente. Todas essas características resultaram em áreas com vulnerabilidade baixa.

As áreas com vulnerabilidade moderada-baixa correspondem a 55% do total da área em estudo. Quase toda a área da bacia hidrográfica do alto e médio cursos do Ribeirão Araras (94%) está incluída nessa vulnerabilidade (Figura 9). As áreas com vulnerabilidade moderada tiveram grande influência da profundidade do nível de água praticamente entre 15,24 e 4,57 metros. Quanto aos parâmetros *I* (Impacto na Zona Vadosa), *T* (Topografia) e *S* (Tipo de solo) englobaram todas as variações existentes em cada parâmetro não apresentando maiores particularidades.

As áreas com vulnerabilidade moderada-alta representam 25% e ocupam quase toda a borda e porções no extremo noroeste e nordeste da área estudada (Figura 9). Essa área teve maior influência da profundidade de nível de água, pois englobam áreas com profundidades inferiores a 4,57 metros.

Figura 9: Mapa da vulnerabilidade natural para a região em estudo, método *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987)





CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na avaliação da vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Bauru no município de Araguari, pela metodologia *DRASTIC* (ALLER *et al.*, 1987) não apresentaram áreas com vulnerabilidade desprezível nem extrema. Na área de estudo foram identificados os seguintes índices: índice de vulnerabilidade muito baixo (4%), baixo (16%), moderado baixo (55%) e moderado elevado (25%) do total da área estudada. O parâmetro profundidade de nível estático, de maneira geral, teve maior influência em todos os índices, variando de superior a 23,00m (vulnerabilidade muito baixa), 15,24 a 23m (vulnerabilidade baixa), 4,57 a 15,24m (vulnerabilidade moderada baixa) e inferior a 4,57 (vulnerabilidade moderada alta). Somente no índice de vulnerabilidade baixo foi possível identificar outros parâmetros que influenciaram de forma mais proeminente, tais como: áreas com sequência areno-siltosa da Formação Marília (Impacto na Zona Vadosa), com inclinações topográficas entre 0 a 6% (Topografia), áreas de Latossolo Vermelho escuro distrófico com textura argilosa (Tipo de solo) e áreas com profundidade de nível de água entre 15,24 e 23,00 metros aproximadamente.

Esses primeiros resultados colaboram para identificar a distribuição do índice de vulnerabilidade para o município de Araguari, MG. Recomenda-se para a validação dos resultados, o estudo do comportamento dos contaminantes no solo e na água subterrânea para comprovação e entendimento da distribuição do índice de vulnerabilidade. Caso os resultados sejam distintos, deverão ser propostas novas metodologias para melhor caracterização da vulnerabilidade do Sistema Aquífero Bauru na região de Araguari.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLER, L; BENNET, T.; LEHR, J.; PETTY, R.; HACKETT, G. *DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings*. EPA Report 00/87/035, 1987.
2. BATEZELLI, A., SAAD, A. R., FULFARO, V. J., CORSI, A. C., LANDIM, P. M. B. & PERINOTTO, J. A. J.: Análise de Bacia Aplicada às Unidades Mesozóicas do Triângulo Mineiro (Sudeste do Brasil): Uma Estratégia na Prospecção de Recursos Hídricos Subterrâneos – Águas Subterrâneas, Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS, v. 19, n. 1, p. 61-73, 2005.
3. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Agropecuária. Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Triângulo Mineiro, Boletim de Pesquisa No 1, Rio de Janeiro, 1982.
4. FETTER, C. W. *Applied Hydrogeology*. 3rd. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice -Hall, c1994, 691p. ISBN, 1994.
5. FOSTER, S. & HIRATA, R. C. A.: Determinação do Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas: Um Método Baseado em Dados Existentes – Instituto Geológico de São Paulo, Boletim 10, 1993.
6. FOSTER, S; HIRATA, R. C.; GOMES, A.; D'ELIA, D.; PARIS, M.: *Groundwater Quality Protection – A Guide for Water Utilities, Municipal Authorities and Environment Agencies*. The World Bank Washington, DC, 103 p, 2002.
7. FIUMARI, S. L.: Caracterização do Sistema Hidrogeológico Bauru no Município de Araguari, MG. Dissertação de mestrado – Departamento de Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais, MG, 2004.
8. HIRATA, R. C. A.: Fundamentos e estratégias de Proteção e Controle da Qualidade das Águas Subterrâneas Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, 1994.
9. IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas): Projeto: Consolidação e Fortalecimento de Comitês de Bacia, Banco de Dados Hidrogeológicos – Bacia do Rio Araguari/ MG, referência: SDP 001/2000 contrato N.014/2000, relatório final, Belo Horizonte, fevereiro de 2001.
10. UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais); CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear); UFMT (Universidade Federal do Mato Grosso). Avaliação dos Recursos Hídricos do Sistema Aquífero Guarani no Município de Araguari, Minas Gerais, Brasil. Projeto SAG (Sistema Aquífero Guarani)– Fundo das Universidades, Informe Final, Belo Horizonte, 2006.