

## SISTEMA AQUÍFERO PARECIS: VULNERABILIDADE NATURAL E RISCO À CONTAMINAÇÃO

PARECIS AQUIFER SYSTEM: NATURAL VULNERABILITY AND CONTAMINATION RISK

Elizete Marley Backes<sup>1</sup>; Renato Blat Migliorini<sup>2</sup>

1. Mestre do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Mato Grosso. E-mail: elibackes@gmail.com. Consultoria Geoambiental – ECOGEO.

2. Doutor em Hidrogeologia pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, professor da Faculdade de Geociências da Universidade Federal de Mato Grosso. E-mail: renamigliorini@gmail.com. ORCID: 0000-0003-1052-1267.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Aquíferos Utiariti, Salto das Nuvens, Ronuro; Vulnerabilidade de aquíferos; método MAIA.

### **KEYWORDS**

“Utiariti”, “Salto das Nuvens”, “Ronuro” Aquifers; Vulnerability of aquifers; MAIA method.

### **RESUMO**

Os métodos de vulnerabilidade de aquíferos são muito utilizados para mapear áreas suscetíveis à contaminação, servindo de ferramenta para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Esta pesquisa visa avaliar a vulnerabilidade natural pelo método MAIA (Método de Avaliação Intrínseca de Aquíferos) e o risco à contaminação do Sistema Aquífero Parecis (SAP) no Estado de Mato Grosso. Este método é uma nova proposta entre as diversas metodologias existentes e se destaca por utilizar apenas variáveis passíveis de serem medidas nos poços ou nos aquíferos como a profundidade da água subterrânea, capacidade específica de poços, transmissividade do aquífero, espessura do solo, declividade do terreno e a pluviosidade média anual, eliminando a subjetividade inerente aos processos de avaliação até então aplicados. Os índices de vulnerabilidade calculados pela equação MAIA resultaram em 96% dos poços classificados como de média vulnerabilidade, 3% de baixa e 1% de alta e extrema vulnerabilidades. Os fatores que mais influenciaram nos resultados de alta e extrema vulnerabilidades foram a pouca profundidade do nível da água, a alta capacidade específica dos poços e o valor elevado de chuvas médias anuais combinadas com a pouca declividade do terreno, favorecendo a infiltração da água no solo e podendo carrear eventuais contaminantes.

### **ABSTRACT**

This research aims to evaluate the natural vulnerability by MAIA method, and the contamination risk of Parecis Aquifer System (SAP) in Mato Grosso state. This method is a new proposal, among various existing methodologies, and it stands out for using only variables that can be measured in wells or aquifers with groundwater depth, specific capacity wells, aquifer transmissivity, soil thickness, terrain slope, and annual rainfall average, eliminating the inherent subjectivity in evaluation processes used until then. The vulnerability indexes calculated by MAIA equation, resulted in 96% for medium vulnerability wells, 3% for low vulnerability wells, and 1% for high

and extreme vulnerability wells. The factors that mostly influenced high and extreme vulnerability wells were, low water depth, high specific capacity wells, high annual average rain values, combined with low slope terrain. All factors favor soil water infiltration, which can cause eventual contaminants.

## INTRODUÇÃO

A possibilidade concreta da escassez de água doce é uma ameaça ao desenvolvimento econômico e à estabilidade política do mundo. Os aquíferos são importantes reservatórios deste precioso recurso natural e sua sustentabilidade depende de uma boa gestão.

A Bacia dos Parecis é uma das principais fontes de água subterrânea do país. As rochas que formam a sequência do topo dessa bacia, constituem uma reserva estratégica para o abastecimento público no Estado de Mato Grosso, uma vez que recobrem 32% de sua área.

Esta pesquisa trata do estudo da vulnerabilidade das águas subterrâneas e seu risco à contaminação na região conhecida hidrogeologicamente como Sistema Aquífero Parecis (SAP), dentro dos limites do Estado de Mato Grosso.

Como forma de avaliar os impactos sobre os recursos hídricos subterrâneos, são necessários estudos sobre a vulnerabilidade dos aquíferos. O termo foi inicialmente definido por Margat (1968) e os princípios usados internacionalmente na qualificação da vulnerabilidade de aquíferos estão expressos nos métodos tradicionais como o DRASTIC, desenvolvido por Aller et al. (1987) para a Agência Ambiental Americana; o GOD, desenvolvido por Foster et al. (2002; 2006) para a Organização Mundial de Saúde e o AVI, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisa Hidrológica do Canadá (Van Stempvoort et al., 1992), entre outros.

A aplicação destes diferentes métodos em uma mesma área foi feita por Paralta et al. (2005), gerando resultados discrepantes na determinação da vulnerabilidade do Sistema Aquífero de Beja, em Portugal.

Segundo Maia e Cruz (2011), nos métodos mais utilizados quase todas as variáveis das equações possuem valores estimados por meio de tabelas e ábacos, o que pode provocar distorções nos resultados. Eles propuseram a utilização de parâmetros mensuráveis obtidos diretamente dos poços ou do aquífero, o que tornaria o método chamado de MAIA – Método de Avaliação Intrínseca de Aquíferos, mais consistente para a determinação da vulnerabilidade dos aquíferos.

Este trabalho tem por objetivo analisar os principais fatores que influenciam na vulnerabilidade das águas subterrâneas do SAP, avaliando tanto a vulnerabilidade natural do meio aquífero através do método MAIA, e o risco à contaminação a partir da influência do uso e ocupação do solo.

## ÁREA DE ESTUDO

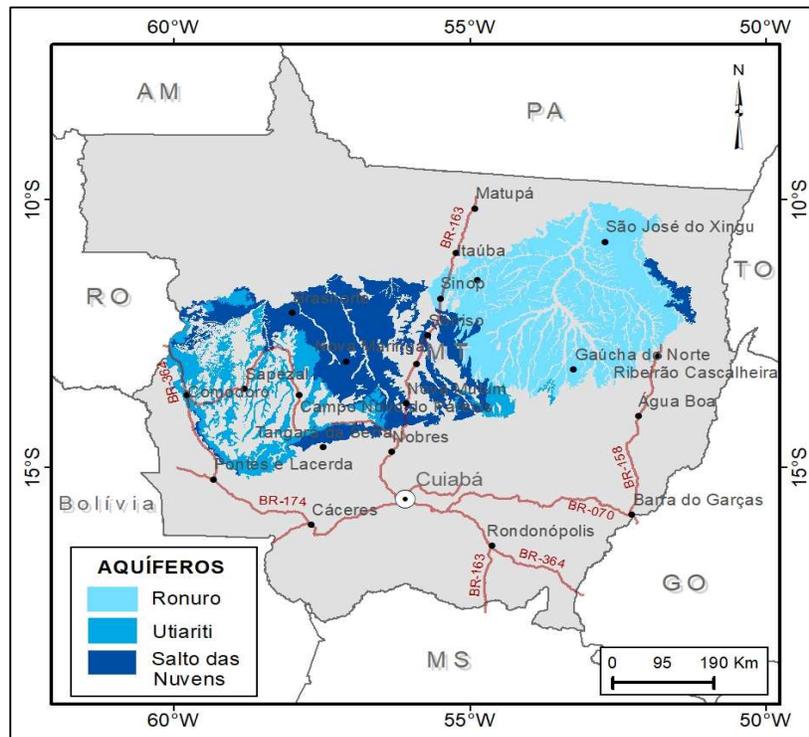
O Sistema Aquífero Parecis é formado pelas rochas sedimentares do topo da Bacia dos Parecis, que se distribuem de forma contínua numa extensa unidade geomorfológica denominada de Planalto dos Parecis. Este se caracteriza por dois sistemas de aplainamento, sendo um com relevos mais planos e de maiores altitudes, correspondendo à Chapada dos Parecis e o outro com terrenos mais dissecados, relacionados ao Planalto Dissecado dos Parecis (SANTOS, 2000 *apud* CPRM, 2012).

A região abrange parcialmente as sub-bacias hidrográficas dos Rios Xingu (121.500 km<sup>2</sup>), Juruena (115.800 km<sup>2</sup>), Teles Pires (29.600 km<sup>2</sup>) e menores proporções das bacias dos Rios Madeira, Araguaia e Paraguai. A área de interesse pertence à Bacia Amazônica, exceto a porção sudoeste, ocupada pela sub-bacia do Paraguai, que drena para a Bacia Platina, a sul.

As classes de solos mais representativas e amplamente distribuídas são as de latossolos vermelho-escuro, latossolos vermelho-amarelo e as areias quartzosas (SEPLAN, 2001). Estas coberturas de solos são responsáveis pelo controle do processo de infiltração da água da chuva e recarga do Sistema Aquífero Parecis.

Segundo a CPRM (2012), as sequências deposicionais cretáceas da Bacia dos Parecis, englobando as rochas do Grupo Parecis (formações Salto das Nuvens e Utiariti), que afloram no setor sudoeste e as coberturas terciário-quadernárias (Formação Ronuro) que cobrem a porção leste da bacia, correspondem aos aquíferos homônimos Salto das Nuvens, Utiariti e Ronuro (Figura 1).

Figura 1 - Localização dos aquíferos da Bacia dos Parecis



Fonte: Adaptado de CPRM (2012)

O aquífero Salto das Nuvens corresponde à porção basal do Grupo Parecis, com extensão localizada, espessura variada e as melhores condições estão associadas aos conglomerados e arenitos. O aquífero Utiariti constitui a porção superior do Grupo Parecis e possui boas condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas, sendo normalmente recoberto por sedimentos inconsolidados. Ambos são do tipo livre em meio poroso e o volume de água estocado nesses aquíferos é da ordem de  $2.731.080 \text{ m}^3$ , com vazão específica média de  $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  (MIGLIORINI et al., 2006).

Conforme o relatório diagnóstico dos aquíferos Ronuro, Utiariti e Salto das Nuvens do projeto RIMAS - Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (CPRM, 2012), essas três unidades hidrogeológicas, por corresponderem a aquíferos porosos e livres, apresentam riscos de contaminação semelhantes aos das águas superficiais. Como a região é uma das maiores produtoras de grãos do país, com destaque para culturas de soja, milho e algodão, e na pecuária de corte e grandes criações confinadas de avícolas e de suínos, existe risco potencial para contaminação subterrânea por pesticidas e nitrato.

Nesse sentido, é primordial que sejam criadas zonas com base no mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação, para que se estabeleçam aí atividades que sejam compatíveis e que representem um perigo aceitável para a qualidade da água subterrânea.

## METODOLOGIA

A metodologia de execução compreendeu aquelas usualmente utilizadas para avaliar os impactos sobre os recursos hídricos subterrâneos, ou seja, estudos sobre a vulnerabilidade de aquíferos. Para este trabalho foi utilizado o Método de Avaliação Intrínseca de Aquíferos-MAIA. Trata-se de um método novo desenvolvido por Maia e Cruz (2011) e, segundo os autores, mais consistente na determinação da vulnerabilidade dos aquíferos em função de se utilizar de parâmetros mensuráveis obtidos diretamente dos poços ou do aquífero.

O método MAIA foi usado em modelagem dos aquíferos do município de Aracatu/BA, obtendo resultados compatíveis entre o mapa de vulnerabilidade e os resultados de contaminação por nitrato distribuídos na região, e que não foram observados nos estudos com aplicação de outros métodos (Maia et al., 2013).

Maia e Cruz (2011) analisaram os pontos fortes e as deficiências dos métodos tradicionais empregados para a qualificação e mapeamento da vulnerabilidade. Verificaram que, em sua maioria, as variáveis utilizadas são determinadas por meio de tabelas e aplicando fatores de ponderação definidos com bastante subjetividade, podendo comprometer os resultados. Propuseram um novo método, com variáveis passíveis de serem medidas nos poços ou nos aquíferos. Este método considera em sua equação as seguintes variáveis para aquíferos granulares: 1) profundidade da água (PA) ou nível estático; 2) espessura do solo (ES); 3) declividade do terreno (DT); 4) capacidade específica (CE); 5) recarga potencial (RE) e 6) transmissividade (TA) do aquífero.

A equação matemática desenvolvida por estes autores, traduz um índice de vulnerabilidade a partir de variáveis medidas em poços tubulares e que representam características intrínsecas (naturais) do meio aquífero (Equação 1), como citadas por Foster et al. (2006), de acessibilidade ao aquífero saturado, no sentido hidráulico, à penetração dos contaminantes e à capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da zona saturada, resultante da retenção físico-química ou da reação dos contaminantes com o meio.

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

Equação 1 - Equação para cálculo da vulnerabilidade (V) pelo método MAIA

Em virtude das diferentes unidades de medida dos termos usados na equação (metros, %, m<sup>3</sup>/h/m, mm/ano, m<sup>2</sup>/dia) e das diferentes amplitudes de valores, as variáveis foram normalizadas para valores de 1 a 10, correspondentes aos mínimos e máximos de cada termo e os valores intermediários foram obtidos através de interpolação linear. Aplicando estes valores na equação 1,

gerou-se um índice de vulnerabilidade MAIA para cada poço, classificando o aquífero naquele ponto como de baixa, média, alta ou de extrema vulnerabilidade, de acordo com os intervalos estipulados pelo método.

Os valores pontuais de vulnerabilidade foram espacializados e, através de métodos de interpolação usando tecnologias SIG (Sistemas de Informação Geográfica), permitiram a extrapolação de valores para locais com informações mais dispersas ou pouco abundantes, gerando como produto um mapa de vulnerabilidade.

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade MAIA da região do Sistema Aquífero Parecis no Estado de Mato Grosso, foram utilizados dados pontuais obtidos de poços tubulares, dados pluviométricos e de declividade do terreno. Imagens de satélite subsidiaram a análise do uso e ocupação do solo, que foi necessária ao enquadramento das atividades como fontes potenciais contaminantes. O cruzamento de todas as informações gerou o estudo do risco à contaminação do SAP.

Os dados medidos diretamente nos poços tubulares foram obtidos junto à Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA/MT), Secretaria de Estado de Planejamento (SEPLAN-MT) e no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil, compreendendo o período de 1980 a fevereiro/2017. Foi utilizado o banco de dados Access da Microsoft para tratamento e armazenamento dos 2.570 registros de poços selecionados, sendo que a maioria não dispunha de todas as informações necessárias ao estudo, principalmente com relação à espessura dos solos (ES) e de transmissividade (TA) do aquífero.

Convém esclarecer que a maioria dos dados de poços usados nesta pesquisa provém de órgãos públicos, de informações técnicas fornecidas para regularização de poços pré-existentes à legislação de cadastro e outorga atualmente em vigência, não se tratando, portanto, de dados obtidos na época da perfuração dos poços. Uma informação que seria importante para o estudo da profundidade da água é a data de realização do teste de bombeamento, uma vez que esta variável sofre alterações em função dos períodos de seca e chuva que ocorrem na região.

Para o estudo da vulnerabilidade do SAP não foram usados os dados de transmissividade pela falta desta informação em meio digital para a maioria dos poços, aplicando-se, neste caso, uma classificação diferenciada para os intervalos das classes de vulnerabilidade, conforme determina o método MAIA.

Uma das dificuldades da pesquisa foi a obtenção da espessura dos solos (ES) nos locais de perfuração dos poços, pois apenas 40 registros apresentaram este dado. Estes poços foram analisados em relação à unidade geológica na qual estavam inseridos, sendo então usada a espessura média de cobertura de solos para cada litologia, extrapolada para os demais poços

situados na mesma formação geológica.

Os dados de chuva foram baixados da página do SGB/CPRM, Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil, inerentes a uma série histórica de quase 30 anos (1977 a 2006). Arquivo *shapefile* com as isoietas de chuvas médias anuais em milímetros recobrando o Brasil foi recortado para a área de interesse e depois interpolado com ferramenta de análise espacial do programa *ArcGis*, gerando uma malha digital onde cada pixel da imagem passou a reter um valor de precipitação. Para a obtenção da recarga (RE) no local do poço, foi usada função de análise do mesmo programa para a extração do valor pluviométrico pontualmente, de forma que o arquivo contendo os registros dos poços passou a ter também uma informação estimada das chuvas médias anuais para cada poço.

A declividade numérica do terreno foi obtida do Banco de Dados Geomorfométrico do Brasil – TOPODATA, na página do INPE. As faixas de declividade usadas foram de acordo com a EMBRAPA (2006), porém, incluindo as áreas com declives superiores a 20% em uma única classe. A declividade do terreno (DT) para cada local de poço resultou de função de análise do *ArcGis*, cujo algoritmo extraiu um valor pontual de declividade de uma malha de pixels para cada um dos poços.

O estudo do uso e ocupação do solo foi realizado a partir de imagens de satélite *LandSat-8* disponibilizadas na página do Serviço Geológico dos Estados Unidos – USGS. Foram usadas 20 cenas do mês de julho de 2016. Para realçar o uso e ocupação do solo foi realizada no *ArcGis* a composição das bandas 6-5-4 (RGB), sendo que a banda 6 da região espectral do visível destaca os solos, a banda 5 do infravermelho proporciona uma maior variação de contraste entre os alvos em geral e a banda 4 do espectro do infravermelho próximo realça a vegetação e os corpos d' água, seguindo procedimentos de Meneses (2012). O mosaico com as imagens foi gerado no software ENVI, unindo as cenas mediante amostragem dos pixels através de interpolação bilinear. O *ArcGis* foi usado para o recorte da área de estudo e a classificação do uso do solo através do método da máxima verossimilhança (MaxVer), considerando 327 pontos de controle para reconhecimento da vegetação (29 pontos), pastagem (124 pontos) e das áreas agricultáveis (174 pontos). As classes de menor abrangência espacial foram digitalizadas à parte e depois substituídas na imagem já classificada.

As classes de uso e ocupação do solo foram interpretadas também quanto ao seu potencial contaminante difuso, usando o método POSH (*Pollutant Origin Surcharge Hydraulically*) de Foster et al. (2006), que avalia de forma qualitativa a origem do poluente e sua sobrecarga hidráulica, qualificando a fonte como de potencial reduzido, moderado ou elevado. No meio rural, foram consideradas como fontes potenciais difusas as áreas de pecuária extensiva e principalmente as amplas áreas agrícolas, onde são usados pesticidas (herbicidas, fungicidas, etc.) e fertilizantes

e, como fontes pontuais as criações em grande escala de aves, suínos e peixes. No meio urbano as fontes consideradas como de potencial de carga contaminante para o subsolo e mais expressivas na área de estudo, foram as de origem pontual como cemitérios, lixões, lançamentos domésticos de carros limpa-fossas, fossas rudimentares, resíduos industriais diversos como de curtumes e frigoríficos e, postos de combustível.

O cruzamento dos mapas de vulnerabilidade MAIA e de fontes potenciais de contaminação, estas definidas a partir do mapa de uso e ocupação do solo, permitiu a elaboração do mapa de risco à contaminação do aquífero. Foram usados recursos de geoprocessamento, sendo que a cada classe de ambos os mapas foi atribuído um peso expresso em valor numérico (1 a 3 para as fontes potenciais de contaminação de potencial reduzido, moderado e elevado e de 1 a 4 para a vulnerabilidade MAIA baixa, média, alta e extrema). Após o cruzamento dos mapas e o somatório dos pesos, foi obtida uma nova classificação, inerente às áreas de risco à contaminação e seu grau de suscetibilidade em função da ocupação atual.

A superfície potenciométrica foi gerada a partir de dados de poços com data da realização do teste de bombeamento, separados em duas amostras (período de seca/chuva). Foram realizadas interpolações usando os valores de carga hidráulica (diferença do valor da cota da boca do poço com o nível da água) e obtidas imagens *raster* com células contendo um valor estimado de carga hidráulica para locais sem informação. Por último foi aplicada análise espacial do *ArcGis*, com algoritmo que interpreta o sentido do fluxo da água.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Dados de poços tubulares

O tratamento dos 2.570 registros de poços e sua integração com informações de declividade do terreno, chuvas e solos, permitiu a obtenção dos resultados apresentados na Tabela 1, mostrando as características hidrogeológicas por aquífero com os parâmetros estatísticos mínimos, máximos e as médias.

Tabela 1 - Síntese dos parâmetros estatísticos dos poços tubulares profundos

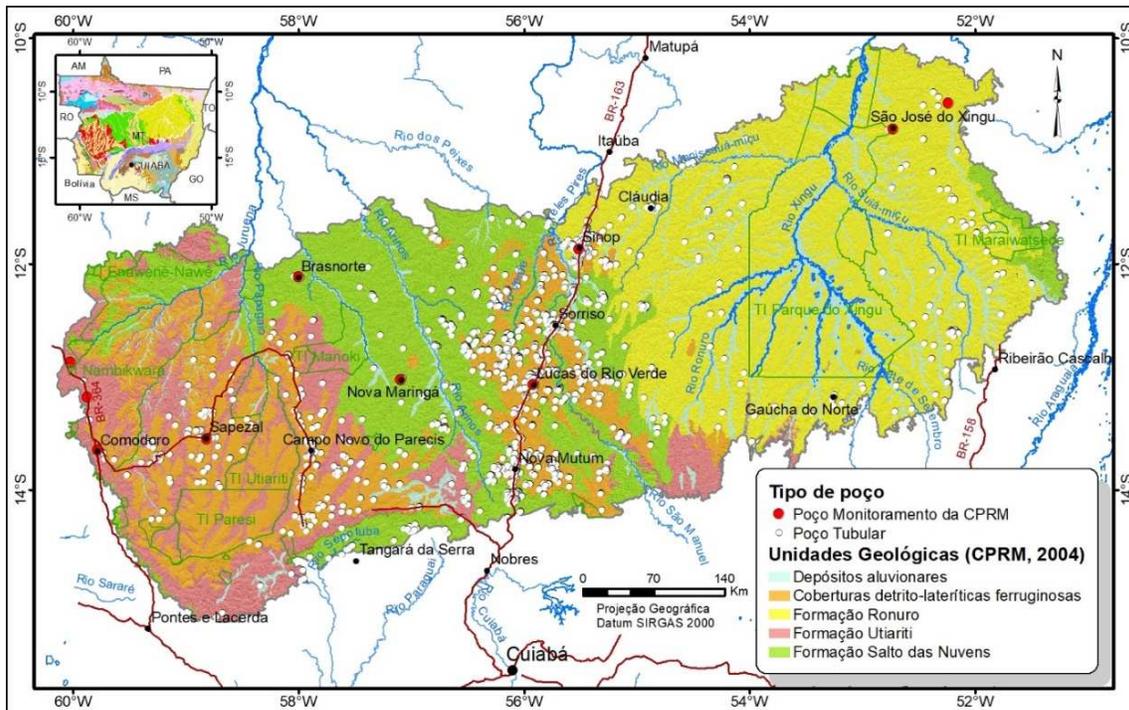
Características Hidrogeológicas	Registros com informação	Aq. Salto das Nuvens		Aquífero Utiariti		Aquífero Ronuro	
		Mín-Máx	Média	Mín-Máx	Média	Mín-Máx	Média
Quantidade de poços	2570	769	-	1538	-	263	-
Profundidade (m)	2533	10 a 198	61	7 a 350	64	14 a 218	56
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	2570	0,4 a 113	11	0,1 a 240	16	0,1 a 88	10
Nível Estático (m)*	2570	1 a 83	17	0 a 116	17	1 a 64	15
Nível Dinâmico (m)	2570	6,4 a 118	29	2,2 a 136	29	2,6 a 116	24
Capacidade Específica (m <sup>3</sup> /h/m)	2570	0 a 19	2	0,01 a 114	2	0,02 a 31	2
Transmissividade (m <sup>2</sup> /dia)	435	1 a 570	78	1 a 1500	178	4 a 540	149
Dedividade do Terreno (%)	2570	1 a 18	5	0 a 26	3	1 a 12	3
Recarga Potencial (mm/ano)	2570	1667 a 1943	1775	1372 a 2027	1810	1570 a 2072	1859
Espessura do Solo (m)	40	2 a 18	12	2 a 30	12	8 a 22	13

\* Nível Estático ou de profundidade da água (m) = 0,00 para poços com surgência d'água.

Fonte: autor

Foram considerados como pertencentes ao aquífero Utiariti os poços distribuídos nas unidades geológicas superficiais mapeadas pela CPRM (LACERDA FILHO, et al., 2004) como de coberturas detrito-lateríticas ferruginosas. Em mapa estas coberturas se sobrepõem às litologias da Formação Utiariti na porção sudoeste da bacia dos Parecis e na porção central aparecem recobrando as rochas da Formação Salto das Nuvens (Figura 2). Trabalhos usando o método geofísico SEV, realizados na cidade de Lucas do Rio Verde/MT por Cutrim et al. (2007) e Cutrim (2010) e, na cidade de Sinop/MT por Lussi (2013), citam a ocorrência da Formação Utiariti sotoposta às coberturas detrito-lateríticas ferruginosas.

Figura 2 - Unidades geológicas e a distribuição de poços no SAP



Fonte: Gerada a partir das litologias da CPRM (2004) e dos poços tubulares do SGB-SIRGAS/RIMAS, SEMA-MT e empresas privadas.

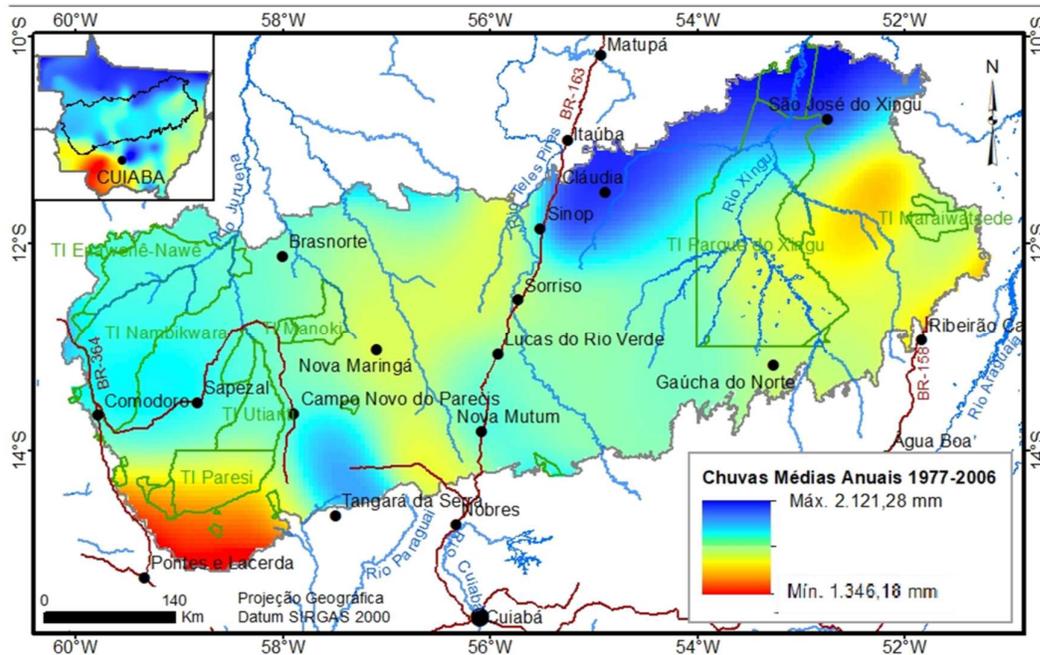
A água subterrânea do SAP tem como principais usos aqueles voltados ao abastecimento público (31%), consumo humano ou doméstico (27%), criação de animais (26%) e pelo uso industrial (10%), com vazões médias máximas de 19 m<sup>3</sup>/h, no entanto, é na irrigação que se constata as maiores vazões médias (66 m<sup>3</sup>/h), em 36 poços tubulares usados para essa finalidade, sendo mais de 90% no aquífero Utiariti.

O aquífero mais explorado é o Utiariti (60%), seguido pelo Salto das Nuvens (30%) e Ronuro (10%).

### Pluviometria

A aplicação do método MAIA de vulnerabilidade exige o valor da recarga potencial, equivalente à pluviosidade média anual no local do poço. O mapa gerado mostra a distribuição das médias anuais de chuva na área de estudo, sendo que cada pixel abrange uma região de 5 x 5 km no terreno, onde o valor pluviométrico é o mesmo. Essa média anual da precipitação para cada local foi utilizada como recarga potencial no cálculo da vulnerabilidade para cada poço (Figura 3).

Figura 3 - Pluviosidade média anual na área de estudo



Fonte: Gerado a partir das Isoietas de precipitação média anual 1977 a 2006 da CPRM (Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil), 1:1.000.000.

A análise de dados pluviométricos permite inferir que o aquífero Ronuro recebe a maior quantidade de água de chuva para recarga, com médias anuais de 1.859 mm, seguido pelo Utariti com 1.810 mm e Salto das Nuvens com 1.775 mm. As médias máximas são de 2.072 mm/ano e ocorrem na bacia do Rio Xingu.

As médias mínimas de 1.372 mm/ano ocorrem no extremo S-SW do SAP.

### Declividade

Terrenos mais declivosos favorecem o escoamento superficial e os de baixa inclinação, por sua vez, favorecem a infiltração da água, podendo carrear consigo possíveis contaminantes. Na aplicação do índice de vulnerabilidade MAIA, faz-se necessária a informação da inclinação do terreno no local do poço.

A área de estudo é muito plana, geomorfologicamente caracterizada por chapadas e planaltos, sendo a média de declividade de 3% para as regiões cobertas pelos aquíferos Ronuro e Utariti e de 5% para o Salto das Nuvens. Em poucos locais a declividade do terreno ultrapassa os 8% de inclinação. Classes com declividade acima de 20%, com formas de relevo forte ondulado,

montanhoso e escarpado, são pouco representativas, ocorrendo mais comumente nas bordas das chapadas e em regiões mais dissecadas.

### **Espessura dos solos**

As propriedades características do aquífero, aliadas à cobertura geológica e de solo, resultam em maior ou menor suscetibilidade dos aquíferos aos impactos naturais e/ou antrópicos.

O conhecimento da espessura dos solos (ES) ou a profundidade ao topo das unidades geológicas, é importante para se avaliar a vulnerabilidade e risco à contaminação de um aquífero. Neste estudo, apenas 1,5% dos registros obtidos em meio digital dispunham da informação de espessura dos solos nos perfis de poços tubulares. De modo geral os solos são espessos, com médias variando de 11 a 15 metros. Espessura média de 14 m foi atribuída aos solos que recobrem as litologias da Formação Utiariti, 13 m para a Formação Ronuro e 11 m para a Formação Salto das Nuvens.

Em trabalhos anteriores foram levantadas espessuras de solos de 12 m (CUTRIM, 2010) e 13,5 m (CUTRIM, 2007) em Lucas do Rio Verde/MT e de 1,6 m a 6 m (LUSSI, 2013) a 20,0 m (SILVA, 2013) em Sinop/MT.

### **Vulnerabilidade pelo método MAIA**

Cada um dos termos da fórmula matemática do método MAIA representa uma relação inversa ou direta com a vulnerabilidade do aquífero. Inversamente relacionadas à acessibilidade de contaminantes são a profundidade da água (PA), a espessura do solo (ES) e a declividade topográfica (DT); diretamente relacionadas à acessibilidade de contaminantes ao aquífero são as parcelas da capacidade específica (CE), de recarga potencial (RE) e da transmissividade (TA), ou seja, quanto maiores forem os valores de CE, RE e TA, maior será a vulnerabilidade do aquífero.

A vulnerabilidade obtida após a interpolação dos dados pontuais de poços com os índices gerados a partir da equação matemática do método MAIA, levou em consideração as seguintes variáveis e seus valores mínimos e máximos:

- PA = profundidade da água ou nível estático (NE): 0 a 116 m;
- ES = espessura do solo: 11 a 15 m;
- DT = declividade do terreno: 0 a 26 %;
- CE = capacidade específica: 0 a 114,28 m<sup>3</sup>/h/m;

- RE = recarga (chuva): 1.372 a 2.072 mm/ano.

Após normalização de todos os termos e aplicação na equação do método, foi obtido o índice de vulnerabilidade MAIA para cada poço tubular e a qualificação do poço como de baixa, média, alta ou extrema vulnerabilidade.

Os intervalos simulados pelos autores do método levam em consideração que para um aquífero portador de um elevado fator de proteção, com valores mais altos de PA, ES e DT e mais baixos para CE, RE e TA, a vulnerabilidade mínima pela equação do método (Equação 1), seria:  $[(1/10)+(1/10)+(1/10)+1+1+1] = 3,3$ . Para um aquífero com baixo fator de proteção, expresso por valores menores de PA, ES, DT e mais elevados para CE, RE e TA, a vulnerabilidade máxima seria:  $[(1/1)+(1/1)+(1/1)+10+10+10] = 33$ .

Com o conhecimento dos valores mínimos e máximos, os autores estabeleceram os limites dos intervalos das classes de vulnerabilidade, eliminando a subjetividade inerente aos processos de avaliação: baixa  $\leq 10,5$ ;  $10,5 < \text{média} \leq 18,0$ ;  $18,0 < \text{alta} \leq 25,5$  e extrema  $> 25,5$ . Neste estudo foi excluído o termo transmissividade (TA) da equação por falta de dados em meio digital. Assim, os valores mínimos e máximos de vulnerabilidade variam entre 2,3 e 23 e, desta forma, os intervalos das classes de vulnerabilidade resultam em: baixa  $\leq 7,5$ ;  $7,5 < \text{média} \leq 12,5$ ;  $12,5 < \text{alta} \leq 17,5$  e extrema  $> 17,5$ .

Os resultados dos índices de vulnerabilidade MAIA calculados para cada um dos poços tubulares variaram de 2,62 a 18,42. Apenas 1 poço apresentou vulnerabilidade extrema e 14 poços resultaram em vulnerabilidade alta (Tabela 2).

Tabela 2 – Índices de Vulnerabilidade MAIA.

Dados de poços tubulares do Sistema Aquífero Parecis								Índices (i) normalizados								Vulnerabilidade		
Poço	Município/MT	LAT	LON	PA m	ES m	DT %	CE m <sup>3</sup> /h/m	RE mm	PA (i)	ES (i)	DT (i)	CE (i)	RE (i)	1/PA (i)	1/ES (i)	1/DT (i)	(i) MAIA	Classe
1304	SINOP	-12,0	-55,5	5,8	13	6	114,3	1856	1,5	5,5	3,1	10,0	7,2	0,7	0,2	0,3	18,4	Extrema
497	SAPEZAL	-13,5	-58,8	15,5	11	1	62,5	1860	2,2	1,0	1,3	5,9	7,3	0,5	1,0	0,7	15,4	Alta
263	CLÁUDIA	-11,5	-54,9	23,8	13	2	31,4	2068	2,8	5,5	1,7	3,5	9,9	0,4	0,2	0,6	14,5	Alta
1637	CLÁUDIA	-11,5	-54,9	6,6	13	1	9,7	2062	1,5	5,5	1,3	1,8	9,9	0,7	0,2	0,7	13,2	Alta
2166	CAMPO NOVO DO PARECIS	-13,6	-57,9	37,0	11	3	40,0	1833	3,9	1,0	2,0	4,1	6,9	0,3	1,0	0,5	12,8	Alta
2164	CAMPO NOVO DO PARECIS	-13,6	-57,9	36,8	11	1	35,8	1833	3,9	1,0	1,3	3,8	6,9	0,3	1,0	0,7	12,8	Alta
2163	CAMPO NOVO DO PARECIS	-13,6	-57,9	36,5	11	3	38,7	1833	3,8	1,0	2,0	4,0	6,9	0,3	1,0	0,5	12,7	Alta
2157	SINOP	-11,8	-55,4	4,9	11	1	1,2	2006	1,4	1,0	1,3	1,1	9,2	0,7	1,0	0,7	12,7	Alta
697	SINOP	-11,7	-55,3	9,0	11	2	0,8	2027	1,7	1,0	1,7	1,1	9,4	0,6	1,0	0,6	12,7	Alta
243	CLÁUDIA	-11,5	-54,9	9,1	13	1	3,0	2064	1,7	5,5	1,3	1,2	9,9	0,6	0,2	0,7	12,6	Alta
1330	CLÁUDIA	-11,5	-54,9	4,9	13	3	4,2	2065	1,4	5,5	2,0	1,3	9,9	0,7	0,2	0,5	12,6	Alta
257	CLÁUDIA	-11,5	-54,8	9,6	13	1	2,3	2066	1,7	5,5	1,3	1,2	9,9	0,6	0,2	0,7	12,6	Alta
774	CLÁUDIA	-11,5	-54,9	19,7	13	3	7,3	2066	2,5	5,5	2,0	1,6	9,9	0,4	0,2	0,5	12,6	Alta
1932	CLÁUDIA	-11,5	-55,0	5,3	13	4	3,2	2072	1,4	5,5	2,4	1,3	10,0	0,7	0,2	0,4	12,6	Alta
174	CLÁUDIA	-11,5	-54,9	14,8	13	1	3,1	2065	2,1	5,5	1,3	1,2	9,9	0,5	0,2	0,7	12,5	Alta

Fonte: autor

A classe predominante foi a de média vulnerabilidade, com 96% dos resultados, seguida pela classe de baixa vulnerabilidade, incluindo 3% dos poços.

A seguir serão descritos os fatores que mais pesaram para a classificação da vulnerabilidade destes poços por município:

No município de Sinop foi a pouca profundidade da água e o valor elevado de chuvas médias anuais. Para o poço de extrema vulnerabilidade, a capacidade específica apresentou o valor mais alto da amostra de poços. Trata-se de um poço com uso da água para fins industriais, com 100 metros de profundidade, vazão de 48 m<sup>3</sup>/h com rebaixamento de 0,42 m, gerando uma capacidade específica de 114,29 m<sup>3</sup>/h/m. Este valor elevado pode ter relação com as características hidrogeológicas locais. Considerando-se que a facilidade com que este aquífero tem para produzir água é a mesma que ele tem para aportá-la, torna-se de fácil acessibilidade para contaminantes, ainda mais que o nível da água não está profundo. Este poço também apresentou o maior valor de transmissividade da amostra (1.500 m<sup>2</sup>/dia), mas esta variável não foi usada na equação.

No município de Sapezal foram os dados pluviométricos e a capacidade específica elevada dos poços.

No município de Campo Novo do Parecis foram os 3 poços usados para irrigação, todos com vazão de 240 m<sup>3</sup>/h, rebaixamento de 35 a 40 m, gerando uma alta capacidade específica, combinada com moderados índices de chuvas médias anuais.

No município de Cláudia foi que os poços estão localizados numa zona onde se concentram

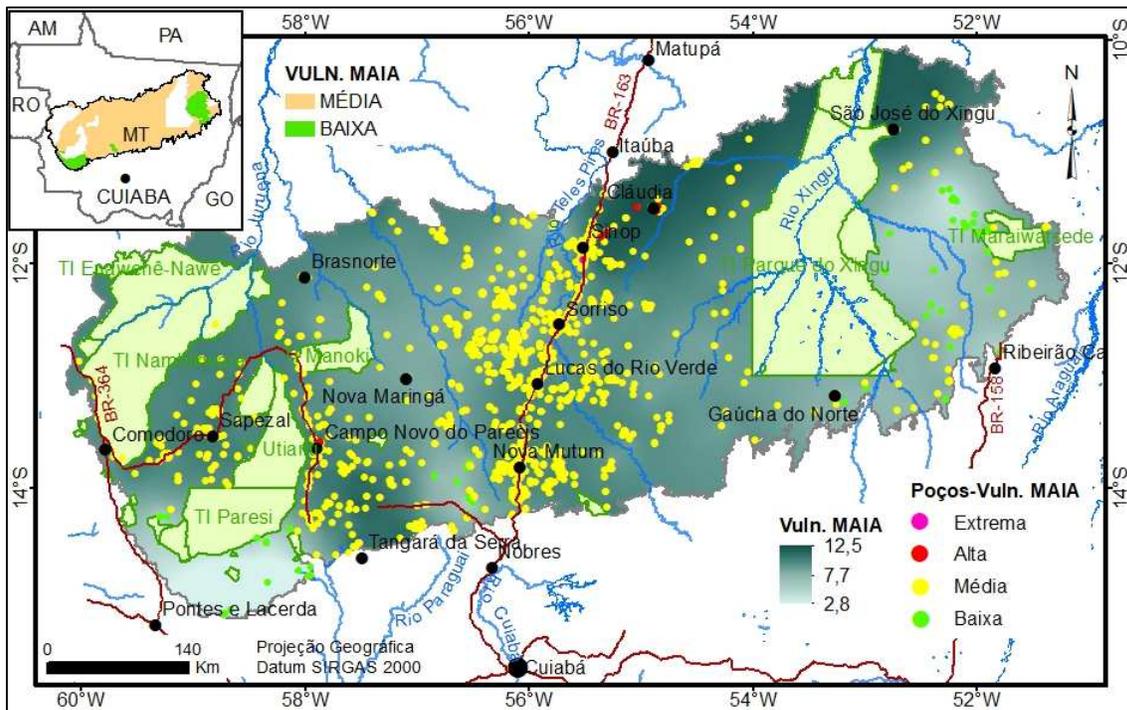
os maiores índices de chuva da região. Esse fator, a pouca profundidade da água dos poços e a pouca declividade do terreno, favorecem a infiltração da água no solo, podendo carrear consigo eventuais contaminantes.

No geral, a maioria dos poços qualificados como de alta vulnerabilidade se enquadram muito próximo do intervalo da classe de média vulnerabilidade, que predomina no SAP, de acordo com os resultados obtidos pelo método MAIA.

O mapa de vulnerabilidade MAIA para o SAP foi elaborado utilizando-se de dados de 2.570 poços tubulares distribuídos numa área de 223.590 km<sup>2</sup>, mas geralmente concentrados em áreas urbanas, demonstrando baixa densidade amostral (1 poço para cada 87 km<sup>2</sup>), mesmo excluindo-se as terras indígenas que ocorrem na área de estudo e que somam cerca de 66.430 km<sup>2</sup>.

Em função da escala de trabalho utilizada, em mapa estão representadas apenas as classes de vulnerabilidade média e baixa. Ao invés de se representar os resultados utilizando somente os intervalos propostos pelo método MAIA, estes foram também espacializados de forma que cada pixel da imagem represente com uma tonalidade o valor da vulnerabilidade (Figura 4). As regiões mais escuras sugerem vulnerabilidades mais elevadas.

Figura 4 - Mapa de vulnerabilidade pelo método MAIA



Fonte: Gerado a partir das Classes de Vulnerabilidade MAIA: Baixa (<7,5), Média (7,5 a 12,5), Alta (12,5 a 17,5) e Extrema (>17,5).

Confrontando-se este mapa com o de distribuição das chuvas, nota-se grande semelhança. Regiões com altos valores médios anuais de chuvas tiveram relação com alta vulnerabilidade para as águas subterrâneas.

A variável inerente à recarga do aquífero (RE) foi a que se destacou na equação do método MAIA. Como os aquíferos Salto das Nuvens, Utiariti e Ronuro possuem características semelhantes (são do tipo livre em meio poroso), refletindo no nível da água (PA) e capacidade específica (CE), bem como a região é geomorfologicamente caracterizada por terrenos com pouca declividade (DT), as espessuras dos solos (ES) foram estimadas e não variam muito e o termo transmissividade (TA) não foi aplicado na equação, é de se esperar que o peso maior seja da recarga (RE).

Para o método MAIA a recarga é o volume de água incorporado às reservas do aquífero, considerando que este tivesse capacidade para armazenar toda a água oriunda das chuvas. Como a água da chuva é o vetor que pode diluir e transportar consigo os contaminantes até atingir as águas subterrâneas, a recarga traduz essa acessibilidade de contaminantes, aumentando a vulnerabilidade do aquífero onde as recargas são maiores.

### Uso e Ocupação do Solo

Através da classificação de imagens *LandSat-8*, foram levantadas as áreas com vegetação

arbórea e arbustiva (florestas, matas ciliares, cerradões, savanas), as áreas com reflorestamentos, aquelas ocupadas pela agricultura (com solo exposto na época da aquisição da imagem), as pastagens usadas para pecuária extensiva, as massas d'água e aquelas com edificações de uso urbano.

Os 290.022 km<sup>2</sup> de área do Sistema Aquífero Parecis no Estado de Mato Grosso, encontram-se cobertos em grande parte por áreas florestadas. Essa elevada taxa de preservação, em torno de 67%, se deve principalmente às grandes proporções de áreas destinadas a terras indígenas, como o Parque do Xingu, na bacia do Rio Xingu, Paresis, Utiariti, Nambikwara, Enawenê-Nawê, Manoki e outras, na bacia do Rio Juruena.

São ao todo 25 terras indígenas incluídas de forma parcial ou integralmente no contexto do SAP, sendo que o Parque do Xingu é a maior delas, ocupando uma área de 26.520 km<sup>2</sup> (9% do SAP). As terras indígenas ao longo do Rio Xingu, local de ocorrência do aquífero Ronuro, somam 31.354 km<sup>2</sup> de área contígua. Percebe-se uma grande pressão de ocupação por parte de lavouras no entorno destas áreas indígenas, principalmente nas regiões de Querência, Canarana e Gaúcha do Norte, onde muitos cursos d'água formadores do Rio Xingu encontram-se com sua área de preservação permanente descaracterizada ou não respeitada e a grande maioria das nascentes não possui um raio mínimo de preservação da vegetação nativa.

As ocupações agroflorestais recobrem quase 21% do SAP, incluindo os reflorestamentos, plantações de cana-de-açúcar, os pivôs de irrigação e as áreas agrícolas. Neste contexto também se localizam as maiores cidades, indústrias e grandes criações confinadas de avícolas e suínos.

As lavouras são amplamente desenvolvidas nas áreas de chapadas, onde os terrenos são planos e dominam os Latossolos Vermelho-Amarelo, principalmente na bacia do Rio Teles Pires, municípios de Sorriso, Ipiranga no Norte, Nova Mutum, Lucas do Rio Verde e Santa Rita do Trivelato e, na região da Chapada dos Parecis, nos municípios de Campo Novo do Parecis, Campos de Júlio, Sapezal e Diamantino.

Os pivôs de irrigação possuem a maior concentração na bacia do Rio Teles Pires, onde foram mapeadas 207 unidades (julho/2016), ocupando 34.668 hectares. Ao todo constam 358 pivôs no SAP, com registro de exploração das águas subterrâneas por 36 pivôs (fevereiro/2017).

As pastagens usadas na pecuária extensiva ocupam 9,5% da área, com maior distribuição na região dos planaltos, com leve inclinação dos terrenos e cobertura com Latossolos Vermelho-Escuro na bacia do Rio Juruena, ou em solos Podzólicos Vermelho-Amarelo, em regiões com declividades maiores do terreno, nas bacias dos Rios Xingu e Paraguai.

As áreas urbanizadas ocupam cerca de 304 km<sup>2</sup> e não possuem representação expressiva,

comparando-se ao tamanho da área de estudo. As principais cidades são Sinop, Sorriso, Lucas do Rio Verde, Nova Mutum e Campo Novo do Parecis.

As massas ou espelhos d'água perfazem cerca de 7.628 km<sup>2</sup>, com maior representatividade nas bacias dos Rios Xingu (88%), Juruena (8%) e Teles Pires (4%).

### Fontes Potenciais de Contaminação

As classes de uso e ocupação do solo mais representativas na área de estudo são mostradas na Tabela 3, com o respectivo enquadramento como fontes potenciais de carga contaminante de subsolo pelo método POSH.

Tabela 3 - Classes de uso e ocupação do solo e seu potencial contaminante

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	%	Potencial
Áreas urbanizadas	304	0,1%	Elevado
Áreas agrícolas	59.168	20,4%	Elevado
Pecuária extensiva	27.656	9,5%	Moderado
Áreas florestadas	195.266	67,4%	Reduzido
Água	7.628	2,6%	-
<b>Total</b>	<b>290.022</b>	<b>100,0%</b>	

Fonte: autor

As fontes potenciais de carga contaminante urbanas e de origem pontual, foram representadas em uma única classe com o limite da área urbanizada e consideradas como de origem difusa. Algumas fontes pontuais como indústrias e locais de criação de aves, suínos e bovinos, fazem uso da água subterrânea e, em função disso, foi possível a sua localização em mapa, apenas para fins de visualização.

As áreas urbanizadas e agrícolas, classificadas como de elevado potencial contaminante, representam riscos para as águas subterrâneas dos aquíferos Salto das Nuvens, Utiariti e Ronuro que, segundo a CPRM (2012), são porosos e livres, e podem ser contaminados de forma semelhante à das águas superficiais.

As cidades localizadas sobre estes aquíferos, tem o privilégio de se beneficiar com as águas subterrâneas fartas e de boa qualidade, mas, em contrapartida, lançam no solo cargas contaminantes provenientes de fossas rudimentares, lixões, cemitérios, postos de combustível, resíduos industriais e outros.

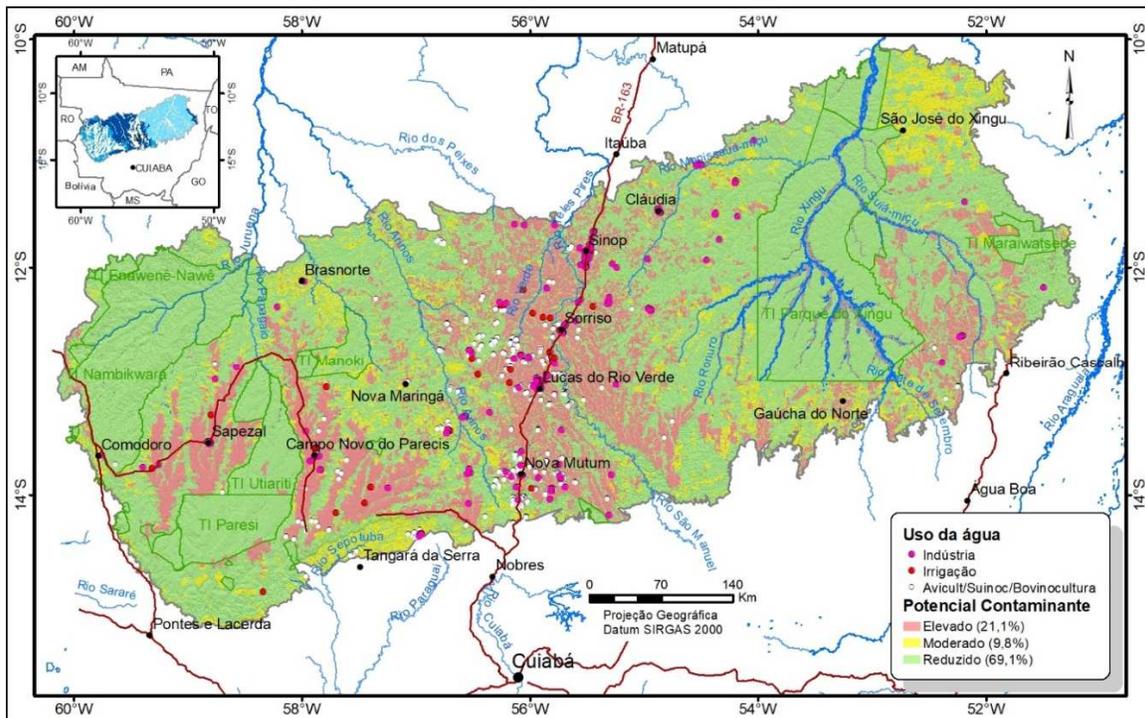
As áreas do meio rural ocupadas com agricultura, podem se tornar fontes de contaminação

difusa do solo, da água superficial e subterrânea, em função do uso de pesticidas e fertilizantes. Como fontes potenciais pontuais, tem-se as criações em grande escala, principalmente de aves e suínos.

Como o método POSH é um sistema que avalia de forma qualitativa a origem do poluente e sua sobrecarga hidráulica, as áreas de pecuária extensiva foram classificadas como fontes de moderado potencial contaminante e as áreas com vegetação do tipo arbórea ou arbustiva preservada e com reflorestamentos, como de reduzido potencial, sendo esta a classe mais representativa, ocupando 67,4% da área de ocorrência do SAP no Estado de Mato Grosso.

A Figura 5 mostra a distribuição das fontes potenciais de contaminação difusas (e algumas pontuais) das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Parecis.

Figura 5 - Fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas



Fonte: Elaborado a partir da interpretação do mapa de uso e ocupação do solo (Imagem LandSat-8 de julho/2016).

### Risco à Contaminação

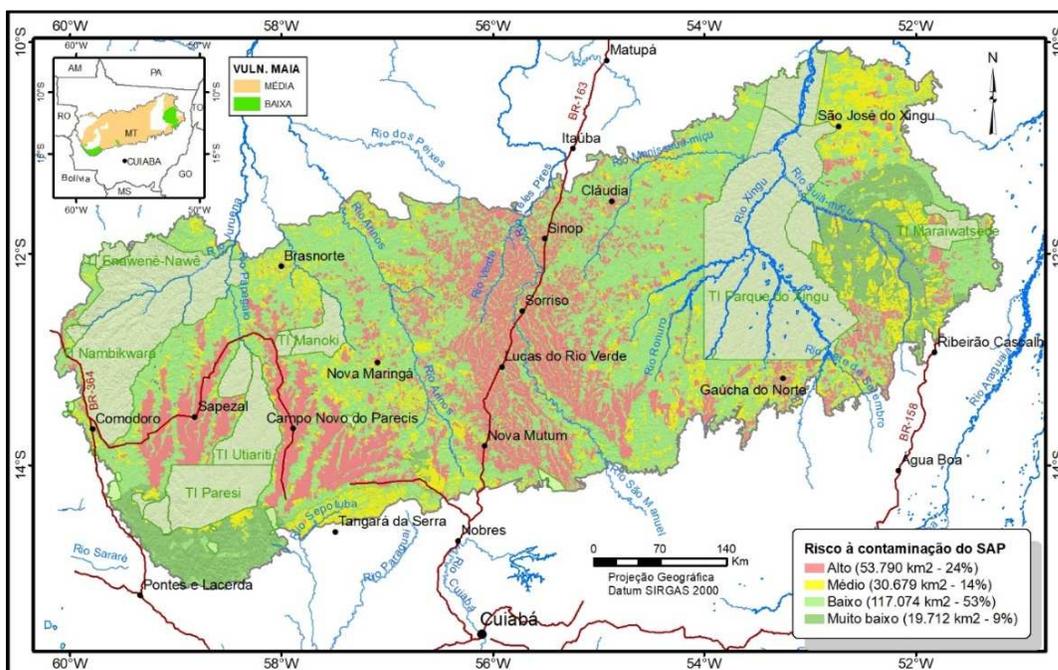
As atividades desenvolvidas na superfície do terreno podem causar a contaminação das águas subterrâneas quando a carga contaminante não é controlada e excede a capacidade de retenção dos solos. Regiões que apresentam solos pouco espessos e nível freático mais próximo da superfície são as mais vulneráveis quando combinadas com a baixa declividade dos terrenos e alta incidência de chuvas.

Vários são os fatores envolvidos na classificação do grau de vulnerabilidade de um aquífero, bem como os métodos propostos para sua determinação. Nesta pesquisa utilizou-se o método MAIA, que mede a vulnerabilidade natural do aquífero em função das características hidrogeológicas e outras como a espessura dos solos, a declividade do terreno e a média anual de chuvas na região.

Com o cruzamento das informações do mapa de vulnerabilidade com o mapa de fontes potencialmente contaminantes, podemos ressaltar áreas mais críticas, onde a vulnerabilidade é alta e também existem fontes com elevado potencial de contaminação, bem como podemos amenizar esse processo, uma vez que áreas vulneráveis, porém, com uso adequado do solo, podem deixar de se tornar áreas de risco ou reduzir seu nível potencial.

Como resultado da integração desses dados, obtivemos 24% da área classificada como de alto risco à contaminação das águas subterrâneas, 14% de médio risco, 53% de baixo risco e 9% com muito baixo risco (Figura 6). Esta última classe representa as áreas com baixa vulnerabilidade pelo método MAIA e com reduzido potencial contaminante, em virtude da manutenção da cobertura vegetal original ou reflorestamento da área. A classe de maior risco é aquela de média vulnerabilidade MAIA e de uso urbano ou agrícola, com elevado potencial contaminante.

Figura 6 - Mapa de risco à contaminação do SAP



Fonte: Produto do cruzamento da vulnerabilidade MAIA com as fontes potenciais de contaminação.

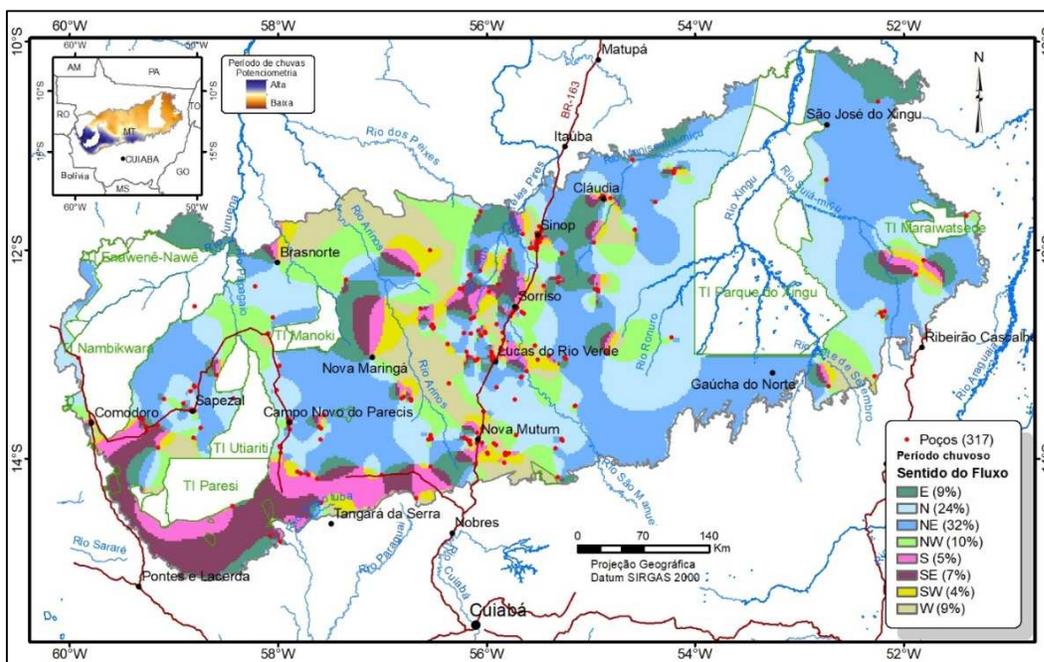
Segundo Foster et al. (2006), o transporte de contaminantes para os aquíferos é um processo

lento, podendo levar anos ou até mesmo décadas para que um impacto se torne evidente nas captações de água mais profundas, mas, como citam Feitosa e Manoel Filho (2000), uma vez produzida a contaminação e, dependendo do tipo de contaminante, sua recuperação pode até mesmo tornar-se economicamente inviável.

O mapa de risco à contaminação fornece subsídios para o estabelecimento de atividades que sejam compatíveis e que representem um perigo aceitável para a qualidade das águas subterrâneas.

A água subterrânea está submetida a uma carga hidráulica maior nos poços da porção sudoeste e centro-sul, conforme verificado em mapas potenciométricos simulados para os períodos de seca e de chuva. A circulação da água subterrânea se dá no sentido dos locais de maior para os de menor potencial hidráulico, sendo também a tendência de deslocamento de eventual pluma, caso o aquífero venha a ser contaminado. Verificou-se que o sentido principal é para nordeste e, secundariamente, para o norte, tanto para o período chuvoso quanto para o de estiagem (Figura 7).

Figura 7 - Mapa de sentido do fluxo da água subterrânea no período chuvoso.



Fonte: Gerado a partir da potencimetria dos poços do SGB-SIAGAS, SEMA-MT e GEOESTE. Testes de bombeamento de 1987 a 2016.

## CONCLUSÕES

O banco de dados estruturado em Access para a análise dos poços tubulares instalados no Sistema Aquífero Parecis (SAP), permitiu a obtenção das seguintes informações para aqueles com

profundidade superior a 30 metros: 1) Vazão média dos poços de 17 m<sup>3</sup>/h para os localizados no aquífero Utiariti, 11,8 m<sup>3</sup>/h para os do Salto das Nuvens e 11,6 m<sup>3</sup>/h para o Ronuro; 2) O nível da água (NE) mantém-se em média a 18 m nos aquíferos Salto das Nuvens e Utiariti e a 16 m de profundidade no aquífero Ronuro; 3) A capacidade específica é da ordem de 2,3 m<sup>3</sup>/h/m para o aquífero Utiariti, 2,0 m<sup>3</sup>/h/m para o Ronuro e 1,6 m<sup>3</sup>/h/m para o Salto das Nuvens; 4) Na avaliação dos 2.570 registros de poços, constatou-se que o aquífero mais explorado é o Utiariti (60%), seguido pelo Salto das Nuvens (30%) e Ronuro (10%), sendo os principais usos da água destinados ao abastecimento público (31%), consumo humano ou doméstico (27%), criação de animais (26%) e pelo uso industrial (10%), com vazões médias máximas de 19 m<sup>3</sup>/h. Na irrigação são constatadas as maiores vazões médias (66 m<sup>3</sup>/h) em 36 poços tubulares usados para essa finalidade.

A vulnerabilidade natural do SAP foi avaliada com a utilização do método MAIA – Método de Avaliação Intrínseca de Aquíferos, cuja equação matemática traduz um índice de vulnerabilidade a partir de variáveis medidas diretamente em poços tubulares e que representam características naturais do meio aquífero. Os índices de vulnerabilidade obtidos variaram de 2,62 a 18,42, dentro do intervalo permitido de 2,3 a 23, uma vez que não foi usada a variável transmissividade, obtendo-se 96% dos resultados qualificados como de média vulnerabilidade, seguidos pela classe de baixa vulnerabilidade que inclui 3% dos poços. Resultados de alta e extrema vulnerabilidade foram apenas para 15 poços dos 2.570 avaliados, que apresentaram altos índices de vulnerabilidade em função de uma ou mais variáveis relacionadas aos elevados valores da capacidade específica dos poços, ao nível da água se encontrar a pouca profundidade ou pela elevada média anual de chuvas combinada com a baixa declividade dos terrenos.

A aplicação do método MAIA de avaliação da vulnerabilidade natural dos aquíferos da região de interesse (223.590 km<sup>2</sup>), mostrou-se relevante, mesmo tendo em vista a baixa densidade amostral dos dados utilizados (1 poço para cada 87 km<sup>2</sup>), concentrados nas áreas urbanas. Os resultados obtidos e que indicam alta e extrema vulnerabilidades, foram analisados individualmente e realmente expressam características locais que aumentaram o peso desses termos na equação do método.

Não foi possível a comparação dos resultados do método MAIA com outros estudos, em virtude da inexistência dos mesmos ou pela falta de compatibilidade das escalas de trabalho.

Para pesquisas futuras, sugere-se a melhoria da qualidade e controle das informações obtidas através da perfuração de poços tubulares e a utilização dos mesmos para estudos em escalas de maior detalhe.

A análise do uso e ocupação dos solos que recobrem os aquíferos do SAP, constatou que

67% da área está coberta por vegetação do tipo arbórea ou arbustiva, incluindo grandes terras indígenas. As áreas de uso agrícola somam 20% e as de pastagens usadas na pecuária extensiva totalizam 9,5%. Foram detectados 358 pivôs de irrigação na região do SAP, sendo 207 na bacia do Rio Teles Pires, onde ocupam uma área de 34.668 hectares.

A forma pela qual se dá o processo de uso e ocupação do solo pode influenciar na qualidade e quantidade das águas subterrâneas, principalmente as do Aquífero Utiariti. Os solos e as formações geológicas de cobertura desse aquífero são amplamente ocupados por áreas agrícolas, sendo a região considerada como uma das maiores produtoras de grãos do país. Neste contexto também se localizam as maiores cidades, indústrias, os pivôs de irrigação e grandes criações confinadas de avícolas e de suínos. Tudo isso pode refletir na qualidade das águas deste aquífero, com potencial para contaminações por pesticidas e nitrato, e também na quantidade da água subterrânea, uma vez que as atividades antrópicas podem alterar as condições de recarga dos aquíferos com a redução da infiltração da água pela compactação e impermeabilização do solo e pela retirada da vegetação original.

As condições hidrogeológicas naturais do Sistema Aquífero Parecis não podem ser modificadas. Para a preservação da qualidade e manutenção da quantidade destas águas subterrâneas, pode-se restringir e regular as formas de uso e ocupação do solo.

Pelo método POSH, que avalia de maneira qualitativa a origem do poluente e sua sobrecarga hidráulica, as áreas agrícolas e as urbanizadas foram consideradas como de elevado potencial contaminante, totalizando 20,5% da área do SAP.

O cruzamento das informações de vulnerabilidade das águas subterrâneas com as das fontes potenciais de contaminação, permitiu a obtenção de um mapa de risco à contaminação dos aquíferos. Dependendo do uso e ocupação do solo, áreas naturalmente suscetíveis à contaminação podem ter esse processo realçado ou amenizado. Como resultado da integração desses dados, obteve-se que 24% da área do SAP apresenta alto risco à contaminação das águas subterrâneas, 14% médio risco, 53% baixo risco e 9% com risco muito baixo.

Verificou-se que o sentido do fluxo regional das águas subterrâneas do SAP é predominantemente para nordeste e, secundariamente para o norte. No caso de ocorrer a contaminação do aquífero, a pluma de contaminantes tenderá a seguir o fluxo da água.

## REFERÊNCIAS

ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J. H.; PETTY, PrR.; HACKETT, G. DRASTIC: *A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*. USEPA, EPA/600/2-87/035, EUA, 1986.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas – RIMAS. *Relatório Diagnóstico: Aquíferos Ronuro, Salto das Nuvens e Utiariti no Estado do Mato Grosso. Bacia Sedimentar dos Parecis*. Belo Horizonte, CPRM, Vol. 9, 55 p., 2012. Disponível em: <<http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

CUTRIM, A.O.; RUIZ, A.S.; LIPORONI, L.M.; MEDEIROS, F.A.; BARROSO, U.C.; NASCIMENTO, A.L. *Sondagem elétrica vertical aplicada em pesquisa hidrogeológica na Bacia do Parecis, MT*. In: Revista Brasileira de Geofísica, 25(2):131-140, 2007.

CUTRIM, A.O. *Caracterização hidrogeológica do Grupo Parecis no município de Lucas do Rio Verde (MT)*. In: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Luís-MA, 2010.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SOLOS. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa Solos/Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 306 p. 2006.

FEITOSA, F.A.C; MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. UFPE, 391 p. 2000.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. *Groundwater Quality Protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies*. Washington, D.C, The World Bank, 114 p. 2002.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. *Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. São Paulo: Servemar, 2006.

LACERDA FILHO, J.V. (Org) et al. *Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso: texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado de Mato Grosso*. Cuiabá: CPRM, 2004. 235 p. CD-ROM com mapas estaduais. Programa Geologia do Brasil (PGB).

LUSSI, C. *Avaliação hidrogeológica do sistema aquífero Parecis na região de Sinop, MT*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2013.

MAIA, P.H.P.; CRUZ, M.J.M. *Um novo método para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos*. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, 15, n. 2, p. 29-40, 2011.

MAIA, P.H.P.; CRUZ, M.J.M.; RODRIGUES, R.S. *Modelagem da vulnerabilidade dos aquíferos no município de Aracatu, sudoeste do Estado da Bahia*. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, 17(1):53-60, 2013.

MARGAT, J. *Vulnerabilite des nappes d'eau souterraine a la pollution* [Groundwater vulnerability to contamination]. Bases de al cartographie, (Doc.) 68 SGC 198 HYD, BRGM, Orleans, France.1968.

MATO GROSSO. *Zoneamento Socioeconômico Ecológico de Mato Grosso - ZSEE. Mapa de solos do Estado de Mato Grosso e relatório técnico*. Cuiabá, Secretaria de Estado de Planejamento-SEPLAN, 1ª ed., 2001.

MENESES, P.R. *Sensores Imageadores Multiespectrais na Faixa Óptica*. In: Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

MIGLIORINI, R.B.; BARROS, M.S.A.; APOETIA, L.F.M; SILVA J.J.F. *Diagnóstico preliminar das principais Províncias Hidrogeológicas do Estado de Mato Grosso: Uma proposta de mapa hidrogeológico de reconhecimento*. In: Recursos Hídricos de Mato Grosso. Fernandes C.J & Viana R.R. (eds.). Coletânea Geológica de Mato Grosso, 3 Ed. UFMT, p. 37-49, 2006.

PARALTA, E.; FRANCES, A.; RIBEIRO, L. *Avaliação da vulnerabilidade do sistema Aquífero dos Gabros de Beja e análise crítica das redes de monitorização no contexto da Directiva Quadro da Água*. Publicações do 7º Simpósio de Hidráulica e recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SISLUBA). Évora, 2005.

SIAGAS. *Sistema de Informações de Águas Subterrâneas*. Base de dados na internet. BRASIL: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <<http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/indice.asp>>. Acesso em: 19 ago. 2016.

SILVA, T.M.G. da. *Caracterização do Sistema Aquífero Parecis na região centro-norte do Estado de Mato Grosso: Subsídios para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos*. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências. UNB, 2013.

VAN STEMPVOORT, D.; EWERT, L.; WASSENAAR, L. *AVI: A Method for Groundwater Protection Mapping in the Prairie Provinces of Canada*. PPWD pilot project, Sept. 1991 – March 1992. Groundwater and Contaminants Project, Environmental Sciences Division, National Hydrology Research Institute, Saskatoon, 1992.