

ESTIMATIVA DE RESERVAS DO AQUÍFERO UTIARITI NO MUNICÍPIO DE SINOP – MT

ESTIMATION OF UTIARITI AQUIFER RESERVATIONS IN THE MUNICIPALITY OF SINOP – MT

THEO BAJGIELMAN AYRES

Geol., Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, E-mail: geologia.theo@gmail.com

RENATO BLAT MIGLIORINI

Geol., Dr, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, E-mail: rena@ufmt.br

PAULO HENRIQUE MADUREIRA OGANDO

Geol., Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, E-mail: ogandoph@gmail.com

RESUMO ABSTRACT

Com a finalidade de contribuir com a gestão dos recursos hídricos subterrâneos do Aquífero Utiariti no município de Sinop - MT, este trabalho teve por objetivo estimar suas reservas renovável, permanente e explorável. É importante destacar que a cidade tem sua economia voltada ao agronegócio e é abastecida exclusivamente por águas subterrâneas. Após as pesquisas bibliográficas sobre o meio físico iniciaram os trabalhos de campo, que consistiram nas medidas da variação do nível estático dos poços tubulares profundos e na coleta de amostras de solo. As amostras foram enviadas ao laboratório, onde foram realizados os ensaios de porosidade seguindo o manual da EMBRAPA (1997). Por fim, as reservas foram estimadas seguindo a metodologia proposta por Feitosa *et al.* (2008). A variação do nível estático entre o auge do período chuvoso até a estiagem do ano de 2015 foi de 4,6 m. Os solos da região possuem 57,38% de porosidade total, 36,75% de porosidade específica e 19,48% de porosidade efetiva. Os valores de reservas para o Aquífero Utiariti no município de Sinop foram estimadas em $3,53 \times 10^9 \text{m}^3$ de reserva renovável, $5,48 \times 10^9 \text{m}^3$ de reserva permanente e $1,175 \times 10^9 \text{m}^3$ de reserva explorável.

Palavras-chave: Sinop; Aquífero Utiariti; Reservas; Disponibilidade.

In order to contribute to the management of the underground water resources of the Utiariti Aquifer in the municipality of Sinop - MT, this work aimed to estimate its renewable, permanent and exploitable reserves. It is important to emphasize that the city has its economy focused on agribusiness and is supplied exclusively by groundwater. The work began with the bibliographical research on the physical environment. After the fieldwork, which consisted of the measurements of the static level of the deep tubular wells and the collection of soil samples, these were sent to the laboratory, where the porosity tests were carried out following the EMBRAPA manual (1997). Finally, the reserves were estimated based on Feitosa *et al.* (2008) and interpreted in an office. The static level variation between the peak of the rainy season and the drought of 2015 was 4.6 m. The soils of the region have 57.38% of total porosity, 36.75% of specific porosity and 19.48% of effective porosity. The values of reserves for the Utiariti Aquifer in the municipality of Sinop were estimated to be $3,53 \times 10^9 \text{m}^3$ of renewable reserve, $5,48 \times 10^9 \text{m}^3$ of permanent reserve and $1,175 \times 10^9 \text{m}^3$ of exploitable reserve.

Keywords: Parecis basin, Utiariti aquifer, Reserves estimation.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento das cidades e a expansão populacional, a necessidade de água, tanto em quantidade como em qualidade, torna-se desafio cotidiano. Nesse sentido, a água subterrânea é uma alternativa viável e cada vez mais utilizada.

Segundo dados da UNESCO (2011), mais de 40% da população mundial depende de água subterrânea para sobreviver, e aproximadamente 50% da água utilizada para a produção alimentícia é proveniente dessa fonte.

O município de Sinop, no Estado do Mato Grosso, não conta com rios propícios para o abastecimento público e segundo a Agência Nacional de Águas - ANA (2010), a cidade é abastecida somente por águas subterrâneas.

A região tem como principais aquíferos o Utiariti e o Salto das Nuvens. Ambos são aquíferos do tipo livre em meio poroso, e sendo a economia de Sinop controlada principalmente pelo

agronegócio, existe a constante preocupação com a qualidade e com a quantidade das águas desses aquíferos.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi estimar a reserva renovável, a permanente e a explorável do Aquífero Utiariti no município de Sinop - MT.

2 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS DO MEIO FÍSICO

O município de Sinop dista, aproximadamente, 500 km de Cuiabá, capital do Estado de Mato Grosso. Segundo o IBGE (2016) a cidade tem em torno de 132.934 habitantes, 3.942,229 km² de território e localiza-se no Centro-norte do Estado (Figura 1). A partir de Cuiabá, o acesso, por via rodoviária, pode ser feito pelas rodovias BR070, BR163 e BR364, além da opção de acesso via aérea pelo Aeroporto Municipal Presidente João Figueiredo.

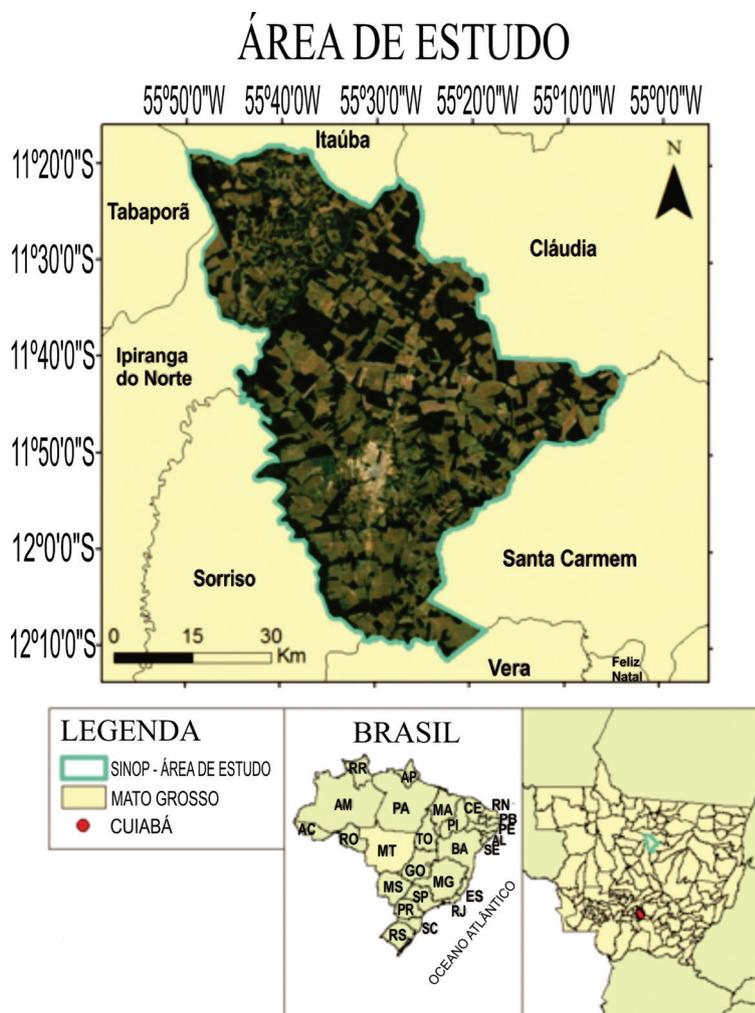


Figura 1. Localização da área de estudo.

A região está inserida na unidade climática equatorial úmida e quente, com estação de estiagem e estação úmida bem definidas. O período chuvoso se concentra nos meses de verão e o regime de estiagem ocorre no inverno. A pluviosidade média anual é de 2.500 mm e a temperatura média anual é de 24,2°C (SEPLAN, 2007).

No Estado de Mato Grosso existem três ecossistemas principais: o Pantanal, o Cerrado e a Floresta Amazônica, representando respectivamente 10 %, 40 % e 50 % da área do Estado (Coutinho, 2005). A região de Sinop se encontra na zona de transição entre os ecossistemas de Cerrado e Floresta Amazônica.

Sinop está inserida na Bacia Hidrográfica Amazônica, mais precisamente na Bacia do Rio Telles Pires, que tem como afluentes o Curupi, Rio Quente, Caibis, Azul e Ribeirão Preto. Está inserida na sub-bacia Hidrográfica do Rio Tapajós. Os principais córregos urbanos da cidade de Sinop são: Nilsa, Isa, Marlene, Nádia e Curupi (Comeli, 2011).

Com relevo plano e suavemente ondulado, predomina na paisagem o Latossolo vermelho escuro distrófico de textura argilosa. Ocorrem também os Latossolos vermelho-amarelos distrófico, com textura argilosa. Esses solos apresentam baixa fertilidade natural e uma elevada saturação em alumínio (Oliveira *et al.*, 1982).

Nas cotas topográficas mais baixas e menos conservadas, o solo é o Neossoloquartzarênico, constituído de material mineral, com textura areia ou areia franca em todos os horizontes. O solo é essencialmente quartzoso, com frações de areias grossas e areia fina, 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala, e quase não há presença de minerais alteráveis, menos resistentes ao intemperismo (Oliveira *et al.*, 1982).

A cobertura geomorfológica é denominada Planalto dos Parecis e compreende um extenso conjunto de relevos caracterizados por feições distintas, esculpidas nas rochas do Grupo Parecis. A primeira feição é uma vasta superfície composta por relevos dissecados do qual emerge uma superfície mais alta, já a segunda feição é mais conservada (Ross & Santos, 1982).

A Chapada dos Parecis compreende a subunidade mais elevada acima de 550 m, a Norte o contato é com a subunidade Planalto Dissecado

dos Parecis, através de espigões delimitados por escarpas que avançam para o Norte, separando os corredores rebaixados, que também se abrem na mesma direção e pertencem ao Planalto. Alguns dos limites são com superfície ligeiramente mais rebaixada. No topo dessa chapada existem alguns rios que drenam esse topo. São eles os rios: Juruema, Papagaio, Juína, Verde, Formiga, Camaré, Buriti e do Sangue. Todos esses se voltam para o Norte e fazem parte da Bacia Juruema-Telles Pires (Ross & Santos, 1982).

O Planalto Dissecado dos Parecis constitui a subunidade mais extensa e expressiva dentro da unidade geomorfológica Planalto dos Parecis. A principal característica deste é a continuidade e a relativa homogeneidade com predominância de formas dissecadas tabulares (Ross & Santos, 1982).

A área de estudo está situada na parte Central-Norte da Bacia Sedimentar do Parecis, uma das maiores bacias intracratônicas do Brasil. Localiza-se na região Centro-Oeste (Figura 2), entre as bacias do Solimões, Alto Tapajós e Paraná, na região “foreland” da Cordilheira dos Andes. Situa-se na porção Sudoeste do Cráton Amazônico e estende-se em direção W-E, abrangendo cerca de 500.000 km², nos Estados de Rondônia e Mato Grosso. Constitui pacote com aproximadamente 6.000 m de sedimentos Paleozoicos, Mesozoicos e Cenozoicos de composição essencialmente silici-clástica (Bahia, 2007).



Figura 2. Mapa de situação da Bacia do Parecis. Fonte: Modificado de Bahia (2007)

O embasamento dessa bacia é constituído de rochas do Cráton Amazônico. Compreendem rochas de alto e baixo grau metamórfico, rochas metassedimentares, bem como rochas intrusivas (Bahia, 2007).

Siqueira (1989) classifica a bacia como intracontinental de fratura, evoluindo posteriormente para o tipo Interior Sag. Sua formação deu-se inicialmente por esforços de tensões que afetaram as rochas do Cráton Amazônico e com isso culminaram com as subsidências.

A Bacia do Parecis compreende as formações: Cacoal, Furnas, Ponta Grossa, Pimenta Bueno, Fazenda da Casa Branca, Anari, Rio Ávila, Salto das Nuvens, Utiariti e Ronuro, porém, segundo Bahia (2007), a região de Sinop está inserida no contexto geológico do Grupo Parecis (formações Salto das Nuvens e Utiariti), e também compreende as formações Rio Ávila e Ronuro (Figura 3).

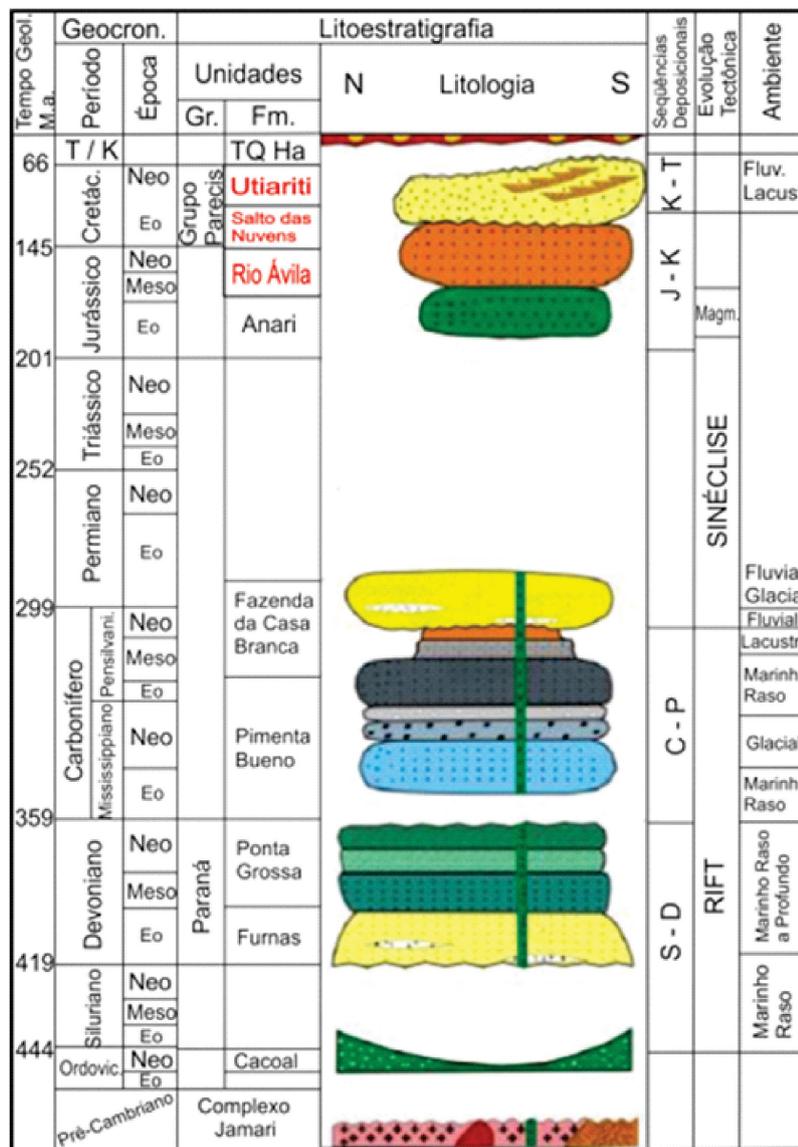


Figura 3. Coluna estratigráfica da Bacia do Parecis.

Fonte: Modificado de Bahia (2007)

Formação Rio Ávila ocorre a Norte de General Carneiro, no Vale do Rio Culune e a Noroeste de Vilhena é limitada por falhas, aflorando em escarpas, evidenciando os arenitos bimodais, cor de rosa, de granulometria fina à média, com es-

tratificação cruzada tabular de grande porte, bem selecionados e arredondados (Bahia, 2007).

Na Bacia do Parecis a Formação Rio Ávila tem evidências de origem eólica. Ribeiro Filho *et al.* (1975) interpreta o acamamento cruzado

como eólico. Isso foi confirmado com base nas observações feitas a Noroeste de Vilhena, onde é observado o arenito com estratificações cruzadas de grande porte e bimodalidade dos grãos.

O contato inferior é com a Formação Ponta Grossa ao Norte de General Carneiro, já o contato superior se dá com sedimentos Cenozoicos e com o Grupo Parecis. A espessura da Formação Rio Ávila é em torno de 90 m (Siqueira, 1989).

O Grupo Parecis ocorre a Sudoeste da Bacia do Parecis e é constituído por conglomerados, arenitos e pelitos (Bahia, 2007).

Segundo Barros *et al.* (1982) o Grupo Parecis é dividido em duas formações, a Formação Salto das Nuvens para a porção inferior e Formação Utiariti para a porção superior. A Formação Salto das Nuvens foi criada para designar os conglomerados petromíticos de matriz argilo-arenosa intercalados por lentes de arenitos vermelhos de granulometria variável desde muito fina a conglomerática. Sobreposto aos conglomerados ocorre um arenito imaturo com estratificação cruzada de médio porte, contendo seixos e calhaus de diversos litotipos. Também ocorrem camadas de arenitos bimodais, maciços, de espessura variável, intercalado com

lentes de argila vermelha. No topo desta sequência é comum o arenito bimodal estar bem laminado e com estratificação cruzada de grande porte. O ambiente deposicional é continental fluvial de semiaridez, com manifestações desérticas esporádicas em algumas seções da unidade.

Barros *et al.* (1982) denominou de Formação Utiariti, correspondendo as cotas mais altas do planalto. Os arenitos desta unidade ocorrem nas corredeiras do Rio Papagaio, tendo um contato gradativo com as unidades inferiores. As rochas são de cores variadas: amarela, roxa a avermelhada, compostas essencialmente de quartzo e feldspato. São rochas maciças, ou localmente apresentando estratificação plano-paralela ou cruzada de pequeno porte. A granulometria varia de fina à média, com ocorrência de seixos nas porções mais basais. Ainda de acordo com Barros *et al.* (1982), na sequência intermediária, o arenito apresenta inúmeros canais preenchidos por conglomerados, com mais de 7 m de largura e 1 m de profundidade. No topo da sequência, argilito e arenito argiloso exibem intercalações lateralmente persistentes de arenitos com estratificações cruzadas de grande porte (Figura 4).

	Litologia	Descrição	Interpretação
150 metros	Formação Utiariti	Arenito bimodal com estratificação cruzada acanalada cuneiforme, interestratificado com argilito.	Lagos interdunas invadidos por dunas migrantes.
		Arenito bimodal com estratificação cruzada tabular de grande porte.	Dunas tipo <i>seif</i> ou partes de dunas tipo barcanas ou estrelas.
		Arenito com estratificação cruzada acanalada com níveis de seixos na base e lentes de argilito.	Fácies fluvial; avulsão do canal indica baixa subsidência.
		Arenito bimodal com estratificação cruzada tabular de grande porte.	Dunas eólicas tipo <i>seif</i> .
		Arenito fino com níveis de <i>chert</i> e marcas onduladas.	Lagos interdunas.
Formação Salto das Nuvens	Conglomerado com seixos de arenito e quartzo, intercamadado com arenito fino	Conglomerado com seixos de arenito e quartzo, intercamadado com arenito fino	Seqüência fluvial de alto gradiente. Os conglomerados representam depósitos de abandono.
		Arenito fino a médio com intercalações de argilito e conglomerado.	Ambiente desértico: lagos rasos e planícies de areia e cascalho.
		Arenito fino com estratificação plano-paralela.	Barras transversais e antidunas.
		Conglomerado polimitico, mal selecionado com seixos de gnaise, arenito e ardósia, intercalado com arenito fino.	Planície de areia e cascalho ou <i>wadis</i> .

Figura 4. Coluna estratigráfica do Grupo Parecis.

Fonte: Modificado de Bahia (2007)

Acima da Formação Utiariti encontra-se a Formação Ronuro, que tem idade Terciária/Quaternária, aflora continuamente na porção Leste da Bacia dos Parecis, no domínio da Sub-bacia Alto Xingu, capeando discordantemente as formações Paleozoicas. Constituem-se de sedimentos pouco consolidados, representados por areia, silte, argila e cascalho, além de lateritas. Esta unidade foi depositada em uma depressão tipo sinéclise a partir da intensa erosão no Plioceno, que mobilizou a crosta laterítica formada no início do Terciário (Schobbenhaus *et al.*, 1975).

Com relação à hidrogeologia, o município de Sinop está inserido no Sistema Aquífero Parecis, que é constituído pelos aquíferos Rio Ávila, Salto das Nuvens e Utiariti. Na região estudada aflora o Aquífero Utiariti, que é um dos principais aquíferos de Mato Grosso, caracterizado como do tipo livre em meio poroso. Possui extensão regional e apresenta excelentes condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas (Migliorini *et al.*, 2006).

Os poços nesse aquífero apresentam vazões variadas, geralmente de 15 a 50 m³/h, para rebaiamento de 25 m. As águas são de boa qualidade físico-química, porém é comum a ocorrência de água ferruginosa (Migliorini *et al.*, 2006).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos do trabalho foram desenvolvidos em quatro etapas: levantamento bibliográfico, trabalhos de campo, laboratório e a última etapa em escritório.

O levantamento bibliográfico teve início com a obtenção de trabalhos anteriores sobre o meio físico (geologia, geomorfologia, relevo, clima, hidrografia, hidrogeologia e vegetação).

Os trabalhos de campo consistiram no monitoramento do nível estático dos poços tubulares perfurados no Aquífero Utiariti nas épocas da chuva e na estiagem. Também foram realizadas coletas de amostras para os ensaios de porosidade.

O monitoramento do nível estático foi realizado em duas oportunidades. A primeira ocorreu

no auge das chuvas (maio de 2015). A segunda ocorreu no ápice da estiagem (setembro de 2015). A diferença da altura dos níveis estáticos indicou a coluna de água dentro do poço entre as estações.

Nas etapas de campo, foram medidos o nível estático dos poços tubulares profundos, ativos e desativados. Na seleção desses contou-se com o auxílio de um técnico da companhia “Águas de Sinop”, empresa responsável pelo abastecimento público. Assim foi possível distribuir o mais homogêneo possível os poços a serem amostrados pela área de estudo. Foram escolhidos um total de oito (8) poços tubulares profundos. Foi tomado o cuidado de interromper o bombeamento dos poços ativos por volta de 60 minutos antes de medir o nível estático.

No campo foram utilizados os seguintes materiais: medidor de nível d’água GPSMAP62 da marca Garmin, caderneta, caneta, fita métrica e calculadora. O processo teve início com a abertura do tubo guia ao lado da tubulação principal do poço. Com auxílio do medidor de nível d’água, foi obtida a profundidade do nível estático. Para maior exatidão nos dados, foi descontada a altura da boca do poço. Por fim, os dados foram anotados na caderneta de campo.

Foram monitorados poços inativos e ativos, sendo assim, para estimar a variação do nível estático dos poços do aquífero entre as estações (estiagem e chuva), foi imposto peso 2 aos poços inativos e 1 aos ativos. Ou seja, a média da variação do nível d’água foi calculada segundo a equação (1) abaixo gerada pelos próprios autores, com intuito de valorizar os dados dos poços desativados:

$$\Delta NE = \frac{[(2 \times MI) + (1 \times MA)]}{3} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: ΔNE é a variação do nível estático; MI é a média do NE nos poços inativos e MA é a média do NE nos poços ativos.

Na coleta do solo, houve a cautela de manter a amostra indeformada, para preservar suas características físicas (figuras 5A e 5B).



Figura 5. A: Cilindro fora do solo; B: Coletando amostra do solo e materiais utilizados.

Iniciou-se a coleta com a limpeza da área, retirando toda a matéria orgânica e todo o solo mais superficial do local com a enxada, objetivou-se ultrapassar a profundidade que houvesse qualquer resquício vegetal e não foram observadas estruturas no solo. Após a limpeza, o cilindro foi inserido verticalmente no solo, sendo auxiliado pela marreta. Para retirar o cilindro sem deformar o material que se encontra em seu interior foi necessário cuidado. Nesse momento, utilizou-se a espátula e o canivete. Retirada a amostra, a mesma foi identificada com caneta permanente e fita crepe e por fim, embalada com o papel filme.

Foram coletadas 20 amostras distribuídas pela área de estudo, em diversas profundidades, representando o melhor possível a porosidade do solo na região. Os dados de porosidade foram utilizados para estimar as reservas do aquífero.

Após a etapa de campo, o material foi encaminhado ao Laboratório de Física dos Solos (UFMT). Com o auxílio do técnico, os recipientes foram preparados para iniciar o processo de

obtenção de dados sobre a porosidade dos solos, utilizando a metodologia proposta pelo manual da EMBRAPA (1997).

Inicialmente o cilindro foi limpo e todos seus excessos foram desprezados, restando apenas o cilindro com o material. Foram posicionados panos presos com elásticos que serviram como “tampões”, evitando a queda do material, e fitas para sua identificação.

Com as amostras preparadas, foi iniciada a saturação por capilaridade, a saturação consistiu em espalhar os recipientes sobre uma bandeja, onde foi feita a injeção de alguns cm de água, sem que ela fosse despejada sobre o solo. Em um prazo de 3 a 5 dias ocorreu a saturação por capilaridade (Figura 6.A). Após a saturação, as amostras foram pesadas individualmente com o auxílio de uma balança de precisão (Figura 6.B) e os seus valores foram anotados em uma planilha de dados. Foi tomado o cuidado de utilizar a mesma balança em todas as pesagens.



Figura 6. A: Amostras em processo de saturação por capilaridade; B: Balança de precisão.

Na etapa seguinte, o material saturado em água foi encaminhado à mesa de tensão, que consiste em um equipamento que determina a retenção de água em baixas tensões, até 100 hPa (Figura 7). O equipamento foi calibrado em 60 hPa. A mesa de tensão só foi aberta quando o sistema entrou em equilíbrio e parou de pingar água das amostras. Esse equipamento age como um fator gravitacional e no final desse processo o material perdeu toda água contida em seus poros conectados. As amostras foram pesadas individualmente e os valores foram anotados na planilha de dados.

A última fase no laboratório foram acondicionados os recipientes na estufa para que os poros não conectados perdessem sua umidade. Foi tomada a precaução de retirar os elásticos dos cilindros, pois a temperatura de 105 °C podia derretê-los. As amostras permaneceram na estufa por aproximadamente 48 horas e após este período o material foi pesado e os dados plotados na planilha.



Figura 7. A: Mesa de tensão fechada; B: Amostras dentro da mesa de tensão; C: Mesa de tensão aberta com amostras.

$$PSF = PSI - PC - PPU - PE \quad (\text{Eq. 2})$$

$$PEF = PEI - PC - PPS \quad (\text{Eq. 3})$$

$$PMF = PMI - PC - PPU - PE \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde: *PC* é o peso do cilindro; *PPU* é o peso do pano úmido; *PPS* é o peso do pano seco; *PE* é o peso do elástico; *PSF* é o peso saturado final; *PSI* é o peso saturado inicial; *PEF* é o peso pós-estufa final; *PEI* é o peso pós-estufa inicial; *PMF* é o peso pós mesa de tensão final e *PMI* é o peso pós mesa de tensão inicial.

Os valores de *PSF*, *PEF* e *PMF* foram utilizados para determinar os seguintes volumes: volume de vazios, volume gravitacional e volume retido. Esses três volumes, em conjunto com o volume total, que foi calculado pela quantia de água que coube no cilindro, possibilitaram avaliação das porosidades. Porosidades estas que foram posteriormente aplicadas para a estimativa de reservas do aquífero.

O volume de vazios (*Vv*) foi dado pela subtração do pelo *PEF* (Equação 5); o volume gravitacional (*Vg*) foi dado pela subtração do *PSF* pelo *PMF* (Equação 6); o volume retido (*Vr*) foi obtido pela subtração do *PMF* pelo *PEF* (Equação 7) e o volume total (*Vt*) foi calculado pela quantidade de água necessária para preencher o cilindro. Os dados de volume foram plotados em mm, conforme a equação abaixo (Filho, 2008):

$$Vv = PSF - PEF \quad (\text{Eq. 5})$$

$$Vg = PSF - PMF \quad (\text{Eq. 6})$$

$$Vr = PMF - PEF \quad (\text{Eq. 7})$$

Depois que os volumes foram determinados, foi possível fazer os cálculos de porosidades da seguinte maneira: a porosidade total (*m*) é a divisão do *Vv* pelo *Vt*, multiplicado por 100 (Equação 8); a porosidade efetiva (*me*) é a divisão do *Vg* pelo *Vt*, multiplicado por 100 (Equação 9); a porosida-

de específica ou retenção específica (*ms*) pôde ser determinada de duas maneiras: com a divisão do *Vr* pelo *Vt*, multiplicado por 100 (Equação 10) ou pela subtração de *m* por *me* (Equação 11). Ao fazer a porosidade específica das duas maneiras e o resultado ser o mesmo, houve a comprovação de que as contas estavam corretas. Todos os valores de porosidades foram dados em porcentagem, conforme as equações abaixo (Filho, 2008):

$$m = \frac{Vv}{Vt} \times 100 \quad (\text{Eq. 8})$$

$$me = \frac{Vg}{Vt} \times 100 \quad (\text{Eq. 9})$$

$$ms = \frac{Vr}{Vt} \times 100 \quad (\text{Eq. 10})$$

$$ms = m - me \quad (\text{Eq. 11})$$

Para a estimativa das reservas foram utilizados os valores da porosidade efetiva, pois é a porosidade que efetivamente contribui para o fluxo da água subterrânea. A estimativa foi feita para o perímetro do município de Sinop, sendo esta a área de estudo.

Feitosa *et al.* (2008), adota a expressão *reserva* a uma certa quantidade armazenada, no caso de água subterrânea. As unidades que expressam as reservas de água subterrânea têm dimensões de volume, sendo comum a utilização de metro cúbico, hectômetro cúbico ou mesmo o litro. Os aquíferos livres têm unicamente reservas de saturação, que podem ser avaliadas utilizando os seguintes parâmetros: Área do aquífero, espessura saturada mínima e porosidade efetiva.

Para avaliar a reserva renovável ou reserva reguladora, este método foi aplicado considerando o aquífero como poroso, livre e homogêneo, os outros parâmetros e variáveis foram desconsiderados. A reserva renovável foi estimada mediante análise de variações potenciométricas sazonais, ou seja, a espessura saturada foi equivalente à variação do nível estático (ΔNE) do período de maior pluviosidade até o período extremo da estiagem. Sendo o relevo da região de Sinop plano e suavemente ondulado, praticamente não existe variação

de cota topográfica (Ross & Santos, 1982). Por esta razão, a variação da topografia foi desconsiderada, mesmo sabendo de sua influência na variação do nível d'água em aquíferos livres.

Adequando a equação de Feitosa *et al.* (2008), tivemos a equação (12):

$$R = A \times me \times \Delta NE \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde: *R* é a estimativa de reserva renovável; *A* é a área de estudo; ΔNE é a variação do nível estático e *me* é a porosidade efetiva.

A reserva permanente, ou reserva geológica, foi definida como águas armazenadas no tempo geológico, da qual é possível dispor de uma certa quantidade regularizada, durante um certo período de tempo (Feitosa *et al.*, 2008).

Para avaliar a reserva permanente, o aquífero foi considerado como: poroso, livre e homogêneo. Os outros parâmetros e variáveis foram desconsiderados. Para a reserva permanente, a espessura da camada saturada é equivalente à espessura do aquífero no auge da estiagem, ou seja, é o valor de reservas totais (reservas naturais) subtraído o valor da reserva renovável.

Adequando a equação de Feitosa *et al.* (2008), tivemos a equação (13):

$$Rp = A \times me \times es \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde: *Rp* é a reserva permanente; *A* é a área de estudo; *me* é a porosidade efetiva e *es* é a espessura da camada saturada.

O termo *reserva explotável* é definido como o *safe yield* (descarga segura ou descarga permissível). Não há um consenso em relação a essa definição, pelo contrário, a constante divergência entre autores vem dificultando não apenas a avaliação realista dos recursos hídricos subterrâneos, mas também a comunicação entre os especialistas (Feitosa *et al.*, 2008).

A reserva explotável é a quantidade de água que pode ser explorada de um determinado aquífero, sem que o mesmo seja prejudicado. A avaliação da reserva explotável neste caso foi considerada a soma da reserva renovável com 15% da reserva permanente.

Adequando a equação de Feitosa *et al.* (2008), tivemos a equação (14):

$$Rexp = R + \%Rp \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde: *Rexp* é a reserva explotável; *R* é a reserva renovável e *Rp* é a reserva permanente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A variação do nível estático dos poços tubulares medidos no auge da chuva e da estiagem variaram de 0,85 a 8,29 m (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de Nível Estático e situação dos poços.

Poço	Situação	NE chuva	NE estiagem	Diferença NE
ptp1	Ativo	41,50 m	43,35 m	1,85 m
Ptp2	Ativo	13,00 m	28,72 m	15,72 m
Ptp3	Ativo	28,76 m	29,90 m	1,14 m
Ptp4	Inativo	3,56 m	11,85 m	8,29 m
Ptp8	Ativo	34,36 m	35,25 m	0,89 m
Ptp20	Inativo	2,00 m	6,10 m	4,10 m
Ptc1	Inativo	0,82 m	4,55 m	3,73 m
Ptc2	Inativo	3,21 m	4,90 m	1,69 m

- Média do NE dos Poços Ativados + Desativados= 4,67 m.

- Média do NE dos Poços Desativados= 4,45 m.

- Média do NE dos Poços Ativados= 4,9 m.

Com esses resultados, foi considerado que 4,6 m é a diferença do nível estático, que representa a variação do nível d'água dentro do poço

entre o período de estiagem e o chuvoso, para os 3.942,229 km² da área do município. Essas medidas foram utilizadas para estimar as reservas do

Aquífero Utariti na região, no ano de 2015. Como foi mencionado acima, o relevo da região é plano e suavemente ondulado, sendo assim, foi considerado no momento da estimativa da variação do nível d'água

Na Tabela 2 foram expostos os dados de porosidade total, porosidade efetiva e porosidade específica. Observa-se que a porosidade efetiva variou de 8,72% até 34,06%.

Tabela 2. Porosidades dos solos e suas médias.

Amostra	Porosidade total (%)	Porosidade efetiva (%)	Porosidade específica (%)
PE01	57,73	19,34	38,39
PE02	62,22	22,20	40,02
PE03	51,80	21,46	30,34
PE04	57,02	23,70	33,32
PE05	62,34	28,05	34,29
PE06	69,58	34,06	35,52
PE07	58,72	15,06	43,66
PE08	59,62	19,13	40,49
PE09	60,04	17,38	42,66
PE10	52,61	16,12	36,49
PE11	54,01	13,74	40,27
PE12	47,38	8,72	38,66
PE13	46,10	8,95	37,15
PE14	46,42	10,92	35,50
PE15	48,48	18,66	29,82
PE16	58,93	19,61	39,32
PE17	56,43	19,67	36,76
PE18	56,01	20,03	35,98
PE19	59,69	22,95	36,74
PE20	60,29	26,16	34,13
MÉDIAS	57,38	19,48	36,75

Pode ser observado na Tabela 2, que a média da porosidade efetiva foi de 19,48%. Os valores das médias de porosidade total e porosidade específica resultaram, respectivamente, 57,38 % e 36,75 %.

Devido à grande complexidade geológica dos reservatórios subterrâneos e a consequente dificuldade que os mesmos oferecem a uma compreensão satisfatória das suas geometrias e variação especial das propriedades hidrodinâmicas (Feitosa *et al.*, 2008), para avaliar a reserva do Aquífero Utariti foi utilizado o valor de 19,49 % para a porosidade efetiva do mesmo.

Sendo ΔNE a variação de 4,6 m do nível estático do período chuvoso até a estiagem, A os 3.942,229 km² da área de estudo do projeto e a porosidade efetiva de 19,48%, obtém-se valor para a reserva renovável conforme equação (12), já demonstrada anteriormente:

$$R = 3.942,229 \times 10^6 \text{m}^2 \times 0,1947647 \times 4,6\text{m}$$

$$R = 3,53 \times 10^9 \text{m}^3$$

(Eq. 12)

O volume de água que diminui do Aquífero Utariti do período do auge das chuvas até o período mais extremo da estiagem de 2015, foi estimado em $3,53 \times 10^9 \text{m}^3$.

Lussi (2013), utilizando Sondagens Elétricas Verticais (SEV), determinou que a espessura média da zona saturada do Aquífero Utariti é de 76 m.

Com a espessura média da zona saturada do Aquífero Utariti de 76 m, o valor utilizado para estimar a reserva permanente foram os 76 m subtraindo 4,6 m, que é a média da variação do nível estático no Aquífero Utariti.

Utilizando a espessura da camada saturada de 71,4 m, a porosidade efetiva 19,48% e a área de estudo 3.942,229 km², temos com a equação (13), já demonstrada anteriormente:

$$Rp = 3.942,229 \times 10^6 \text{m}^2 \times 0,1947647 \times 71,4\text{m}$$

$$Rp = 5,48 \times 10^{10} \text{m}^3$$

(Eq. 13)

A reserva permanente do Aquífero Utiariti na região de estudo foi estimada em 5,48 x 10⁹m³ de água, com esse dado e o da reserva renovável foi estimado o valor da reserva explorável.

Não existe consenso entre os autores para o conceito de reserva renovável (Feitosa *et al.*, 2008), nesse trabalho, é compreendido como a quantidade de água que pode ser extraída de um aquífero sem que o mesmo seja prejudicado. É avaliada pela soma da reserva renovável com uma porcentagem da reserva permanente. Como esta porcentagem varia de autor para autor, no presente trabalho foi considerada de 15 %, devido à alta capacidade de armazenamento e circulação das águas subterrâneas.

Com a reserva renovável estimada em 3,53 x 10⁹m³ e a reserva permanente em 5,48 x 10⁹m³, tem-se com a equação (14), já demonstrada anteriormente:

$$Rexp = 3,53 \times 10^9 \text{m}^3 + (0,15 \times 5,48 \times 10^{10} \text{m}^3)$$

$$Rexp = 1,175 \times 10^{10} \text{m}^3$$

(Eq. 14)

A reserva explorável foi estimada em 1,175 x 10¹⁰m³ de água para o Aquífero Utiariti nos 3.942,229 km² de área de estudo.

Para que seja compreendida a quantidade de água que esses valores representam, pode se usar como referência uma piscina olímpica que contém 3.125 m³ de água e este valor é equivalente a 3.125.000 litros. O valor de 1,175 x 10¹⁰m³ é equivalente a 3.760.000 piscinas olímpicas, ou seja, 1,175 x 10¹³ litros de água.

Segundo dados da SABESP (2016), uma pessoa consome aproximadamente 180 litros de água por dia, que é equivalente a 65.700 litros por ano. O município de Sinop é abastecido totalmente por

água subterrânea e o volume de água da reserva explorável analisado neste trabalho é suficiente para abastecer 178.843.227 pessoas anualmente.

5 CONCLUSÃO

Inicialmente, antes de concluir o trabalho, torna-se necessário enfatizar que na estimativa de reserva de aquíferos, procura-se avaliar uma certa quantidade de água subterrânea, isto é, uma avaliação aproximada. O que é compreensível, devido à grande dificuldade de informações geológicas dos reservatórios em subsuperfície. Em estudos hidrogeológicos não se calcula reserva, e sim, se estima ou avalia. Isto posto, a reserva renovável, permanente e explorável do Aquífero Utiariti na cidade de Sinop - MT foram estimadas respectivamente em 3,53 x 10⁹m³, 5,48 x 10⁹m³ e 1,175 x 10¹⁰m³.

REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2010. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional. Brasília: ANA, Engecorps/Cobrape. 68 p.
- Bahia R.B.C., Neto, M.A., Barbosa, M.S., Pedreira, A.J. 2006. Revisão Estratigráfica da Bacia do Parecis. Amazônia. Revista Brasileira de Geofísica. Vol. 36 (4). p. 692 - 703.
- Bahia R.B.C. 2007. Evolução tectonossedimentar da Bacia do Parecis - Amazônia. Tese de Doutorado em Ciências Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto. 140 p.
- Barros A.M., Silva R.H., Cardoso O.R.F.A., Freire F.A., Souza Júnior J.J., Rivetti M., Luz D.S., Palmeira R.C.B., Tassinari C.C.G. 1982. Geologia da folha SD-21. Cuiabá - In: DNPM. Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro - RJ. v. 26. 531 p.
- Comelli C. 2011. Estudos preliminares sobre a hidrogeologia e hidroquímica da zona urbana de Sinop-MT. Dissertação de Mestrado em Geologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 66 p.
- Coutinho A. C. 2005. Dinâmica das queimadas no Estado de Mato Grosso e suas relações com as

- atividades antrópicas e a economia local. Tese de Doutorado em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo. 308 p.
- EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. 1997. Manual de métodos de análise de solo. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 212 p.
- Feitosa E. C., Filho J. M., Costa W. D., Feitosa F. A. C., Demetrio J. G. A., França H. P. M. 2008. Avaliação de Recursos Hídricos Subterrâneos. In: FEITOSA, F. A. C. (Organização e Coordenação Científica). Hidrogeologia conceitos e aplicações. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 3ª edição. p. 661 - 669.
- Filho J. M. 2008. Ocorrência das Águas Subterrâneas. In: Feitosa, F. A. C. (Organização e Coordenação Científica). Hidrogeologia conceitos e aplicações. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 3ª edição. p. 53 - 74.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2016. Disponível em <http://cod.ibge.gov.br/6RI>. Acessado em 06 nov 2016.
- Lussi C. 2013. Avaliação hidrogeológica do sistema aquífero Parecis, na região de Sinop, MT. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos. Universidade Federal de Mato Grosso, 134 p.
- Migliorini R.B., Barros M.S., Apoitia L.F.M., Silva J.J.F. 2006. Diagnóstico preliminar das principais províncias hidrogeológicas do Estado de Mato Grosso: uma proposta de mapa hidrogeológico de reconhecimento. In: FERNANDES, C.J.; VIANA, R.R. Recursos Hídricos de Mato Grosso. Coletânea geológica de Mato Grosso. Cuiabá: EdUFMT, v. 3, p. 41 - 42.
- Oliveira V.A., Amaral Filho Z.P., Vieira P.C. 1982. Pedologia da folha SD-21. Cuiabá - In: DNPM. Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro - RJ. v. 26, p. 260 - 262.
- Ribeiro Filho W., Luz J.S., Abreu Filho W. 1975. Projeto Serra Azul. Reconhecimento Geológico. Relatório final. Goiânia, DNPM/CPRM. v.1.
- Ross J.L.S., Santos L.M. 1982. Geomorfologia da folha SD-21. Cuiabá - In: DNPM. Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro. v. 26, p. 216 - 229.
- SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2016. Disponível em: site.sabesp.com.br/site/Default.aspx. Acessado em 10 de mai de 2016.
- SEPLAN-MT. SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL. 2007. Mato Grosso: Solos e Paisagens. 272 p.
- Siqueira L.P. 1989. Bacia dos Parecis. Boletim de Geociências da Petrobrás. p. 3 - 16.
- Schobbenhaus Filho C., Oguino K., Ribeiro C.L., Oliva L.A., Takanohashi J.T. 1975. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – Folha Goiânia. Brasília, DNPM. 87 p.
- UNESCO - UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. 2011. Groundwater for Emergency Situations: A Methodological Guide. IHP-VII Series on Groundwater No 3 International Hydrological Programme Division of Water Sciences. Paris: UNESCO. 317 p.