

ASPECTOS GEOLÓGICOS DA REGIÃO DO POLO TURÍSTICO DAS ÁGUAS TERMAIS DE SÃO LOURENÇO, MT

Laís Paciência GODOY¹, Fabiano Tomazini da CONCEIÇÃO², Antonio Misson GODOY³

(1) Programa de Pós-Graduação em Geociências - IGCE- UNESP- Univ. Estadual Paulista. Av. 24A, 15151-Bela Vista, CEP. 13 506-900-Rio Claro (SP), Brasil. Endereço eletrônico: lais_godoy@hotmail.com

(2) Depto de Planejamento Territorial e Geoprocessamento - IGCE- UNESP- Univ. Estadual Paulista. Av. 24A, 15151-Bela Vista, CEP. 13 506-900-Rio Claro (SP), Brasil. Endereço eletrônico: ftomazini@rc.unesp.br

(3) Departamento de Petrologia e Metalogenia - IGCE- UNESP- Univ. Estadual Paulista. Av. 24A, 15151-Bela Vista, CEP. 13 506-900-Rio Claro (SP), Brasil. Endereço eletrônico: mgodoy@rc.unesp.br

Introdução

Histórico sobre as águas termais

Geologia regional

Aspectos físicos da região

Aspectos Geomorfológicos

Aspectos Geológicos

Aspectos Estruturais

Aspectos Geofísicos

Aspectos Hidrotermais

Aspectos Composicionais das Águas

Termalismo no granito São Vicente

Termalismo em Jaciara e Juscimeira

Conclusões

Referências bibliográficas

RESUMO - As Águas Termais do Polo Turístico das Águas de São Lourenço situam-se no sudeste do estado do Mato Grosso, nos municípios de São Vicente, Jaciara e Juscimeira. A região situa-se em unidades do Planalto dos Guimarães formada por feição de relevo cuestiforme das Serra dos Coroados e São Jerônimo e pela Depressão de Rondonópolis; constituída pelo vale do rio São Lourenço, em que se expõem as rochas da Bacia do Paraná (formações Furnas, Ponta Grossa, Aquidauana, Botucatu e Serra Geral). O hidrotermalismo da área é resultado da interação de diversos fatores: das grandes flexuras regionais, das expressivas anomalias gravimétricas do entorno do granito São Vicente, do maior fluxo térmico regional da área, da área topograficamente rebaixada, de uma expressiva área com maiores altitudes de recarga hídrica e quantidade de rochas arenosas favoráveis à acumulação, alta permeabilidade e intenso fraturamento para que as águas meteóricas recarreguem os aquíferos. Estes fatores possibilitam que o aquífero do arenito Furnas, confinado pelos sedimentos impermeáveis da Formação Ponta Grossa mantenham-se termais e semi- a ressurgentes. A estância hidromineral constitui num importante polo turístico para o estado de Mato Grosso e depende da infiltração da água da chuva para renovação do manancial superficial e termal.

Palavras-chave: Águas Termais, São Lourenço, geologia.

ABSTRACT - The Thermal Water of the Touristic Polo of Águas de São Lourenço occur in the southeastern Mato Grosso 150 km from Cuiabá, of municipalities of São Vicente, Juscimeira and Jaciara. The region is located in the units of Guimarães Plateau that presents features of cuesta relief of Serra dos Coroados and São Jerônimo and by Rondonópolis Depression formed by the São Lourenço River valley, where are exposed rocks of the Paraná Basin (Furnas Ponta Grossa, Aquidauna, Botucatu and Serra Geral Formations). The mineral waters correlate to large regional flexures, faults and fractures, which constitute reflex structures or reactivation of older structures of the basement rocks. The hydrothermal conditions of the area reflect the interaction of several factors: the significant gravity anomalies surrounding subsurface São Vicente granite and the largest regional heat flow in this area. In addition, the significant topographically recessed area with higher altitudes, hydrogeological recharge, the amount of sandy rocks favorable to the accumulation, and intense fracturing high permeability for rainwater recharge aquifers. This situation enables the Furnas sandstone aquifer, confined by impermeable sediments of Ponta Grossa Formation to stay with thermal and keep partial to resurgent. The health resort is a major tourist hub for the state of Mato Grosso and municipalities survive economically on tourism, which depends on the infiltration of rainwater for renovation surface and thermal spring.

Keywords: Thermal Waters, São Lourenço, geology.

INTRODUÇÃO

A Província Hidrotermal do estado do Mato Grosso é constituída pelas águas termais e os recursos hídricos do circuito do Polo Turístico das Águas de São Lourenço, que estão localizados principalmente na Bacia Hidrográfica do Rio São Lourenço e no entorno do Batólito Granítico de São Vicente, além das ocorrências fontes de Poxoró e Primavera do Leste e pelas fontes do Paredão Grande e

General Carneiro, além de Barra do Garças que encontra-se nas proximidades dos granitos Lajinha de Araguainha, constituindo o circuito do Polo Turístico de Barra do Garças. As ocorrências destas águas termais constituem em uma das maiores ressurgências termais da região centro oeste e um importante polo turístico do estado.

As Águas Termais do Polo Turístico das

Águas de São Lourenço situam-se no sudeste do estado do Mato Grosso, a 150 km de Cuiabá e estão localizadas principalmente no distrito de São Vicente, município de Santo Antônio de Laverger e na bacia hidrográfica do rio São Lourenço nos municípios de Jaciara, São Pedro da Cipa, Juscimeira e municípios no seu entorno. A região situa-se em unidades do

Planalto dos Guimarães formada por feição de relevo cuestiforme das Serra dos Coroados e São Jerônimo e pela Depressão de Rondonópolis, constituída pelo vale do rio São Lourenço, em que se expõem as rochas sedimentares da Bacia do Paraná (formações Furnas, Ponta Grossa, Aquidauana, Botucatu e Serra Geral) (Figura 1).

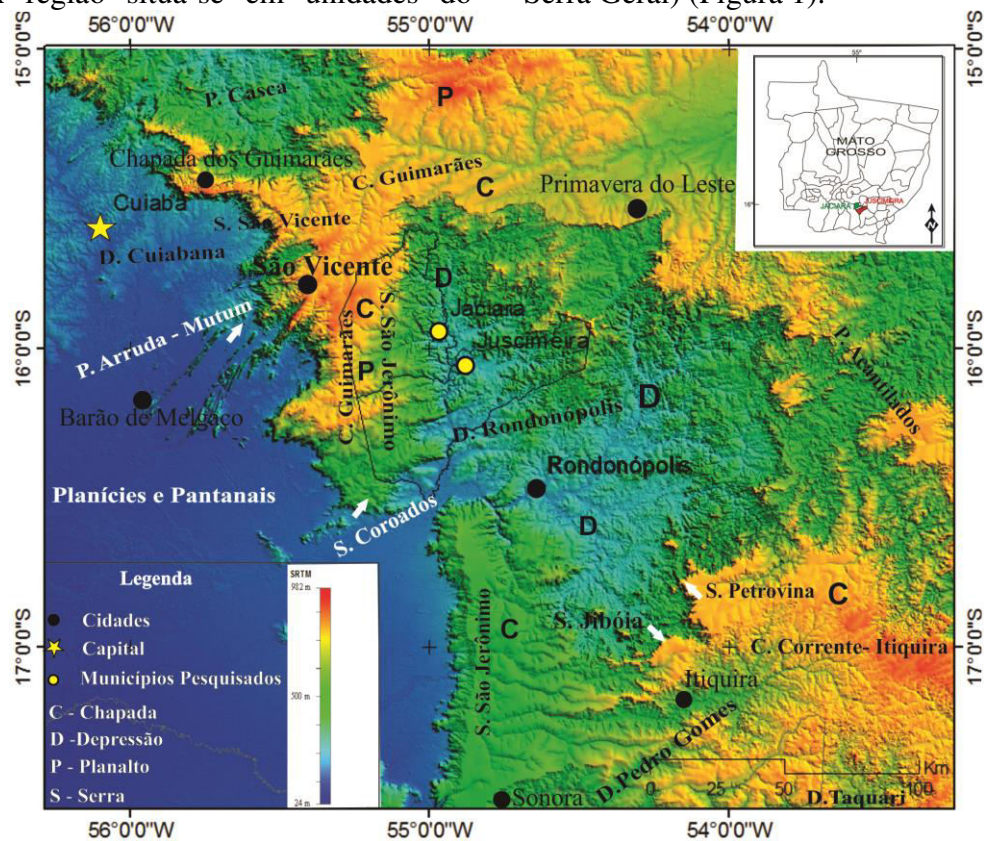


Figura 1. Imagem do relevo pelo sensor Shuttle Radar Topography Mission - SRTM.

Godoy (2014) apresenta os principais aspectos das geociências da região das águas termais com objetivos voltados à utilização da região dos principais aspectos do turismo das águas superficiais e termais.

Este trabalho visa coletar dados que permitam avaliar a utilização das águas e gerar informações que possam orientar a sua

exploração racional através de informações de apoio ao geoturismo associado aos recursos hídricos, com vistas à integração, tratamento e interpretação das informações de cunhos geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos e turísticos, possibilitando uma melhor compreensão das condições de armazenamento e recarga dos aquíferos da região.

HISTÓRICO SOBRE AS ÁGUAS TERMAIS

O Instituto Histórico e Geográfico do Rio de Janeiro em publicações de 1826 in Corrêa Netto (1920), descreve as primeiras referências sobre as fontes termais do estado de Mato Grosso, as “Fontes Termais de Palmeiras”, que se encontram situadas sobre o Granito São Vicente, próximo à Fazenda Palmeiras, à margem e no leito do córrego dos Veados ou Águas Quentes.

Em 1852, nos Annaes Brasilienses de Medicina in Corrêa Netto (1920) é descrita, associada às rochas do Batólito Granítico São Vicente, a primeira ocorrência de água termal do estado do Mato Grosso, que ocorre associada a granitos grosseiros a leste da serra de São Vicente, entre os morros da Bocaina, no pantanal de Mimoso, município de Santo Antônio de Laverger e denominadas as “Fontes

Thermaes da Bahia do Frade”.

A segunda descrição de água termal deu-se em 1877 em “Aguas Mineraes do Brazil” com ocorrência situada a nordeste do granito, no sítio Paulista, na Serra das Palmeiras, atualmente nas proximidades da Chapada dos Guimarães e denominada de “Fontes Thermaes de Palmeira”. As fontes da fazenda Palmeiras foram referenciadas em número de 11 fontes termais que passaram a ser conhecidas como “Fontes Termais de Águas Quentes (Palmeiras) in Corrêa Netto (1920). Em “Águas Mineraes do Brazil”, retomaram os estudos das águas termais e que foram denominadas de “Fontes Thermaes de Palmeiras” e da “Fontes Thermaes da Bahia do Frade”.

As águas termais identificadas como “Fontes Thermaes de S. Lourenço” foram denominadas inicialmente em 1907, pela Comissão Rondon. Em 1917, o coronel Rondon conseguiu reconhecer as seguintes fontes: Fontes Thermaes do Barreiro Grande; Fontes Thermaes do S. Lourenço; Fontes Thermaes do Bahia do Frade; Fontes Thermaes de Palmeiras (Corrêa Netto, 1920). Somente em 1920, o estudo das referidas fontes foi inicialmente realizado pela “Comissão Linhas Telegráficas Estratégicas de Mato-Grosso ao Amazonas”, para efetuar o estudo das Águas Termais de Mato Grosso, que resultou na publicação nº 61 “Aguas Thermaes de Mato-Grosso”.

A partir dos estudos elaborados na publicação 61, o governo do estado resolveu criar um balneário, junto às termas, com material da região (blocos de granitos), este perdura até os dias atuais. Deve-se a Correa Neto (1946) a publicação com a integração final dos dados obtidos até então no artigo denominado “Águas Termais de Mato Grosso”, com estudo in loco das fontes de Palmeiras, Bahia do Frade e Pouro. Guimarães & Almeida (1972) em notas sobre as Fontes Termais em

Mato Grosso fizeram referências sobre as Fontes Termais de Águas Quentes (Palmeiras).

O Projeto Águas Quentes constitui o primeiro trabalho de cunho geológico das fontes termais e foi desenvolvido em 1973, pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais para a Companhia de Desenvolvimento do Estado de Mato Grosso– CODEMAT, no balneário de São Vicente, município de Santo Antonio do Leverger. A partir de 1980, novas pesquisas foram realizadas nas fontes termais de Juscimeira. Das 11 fontes foram coletadas amostras para análise apenas das fontes do Paulista, do Feio e Dom Aquino, com temperaturas respectivamente 41,10, 40,65 e 38,60 °C, sendo que as demais se encontram submersas no córrego Águas Quentes (CPRM, 1973).

Abreu Filho e Thomé Filho (2000) em trabalho no município de Juscimeira detectaram que o aquífero geotermal existente situa-se numa área situada na porção central do município, abrangendo a sede do município e os distritos de Irenópolis e Santa Elvira.

Segundo Lacerda Filho et al. (2004) as Águas Minerais e Termais do estado de Mato Grosso abrangem uma área de aproximadamente 50.000 Km², envolvendo os municípios de Cuiabá, Chapada dos Guimarães, Campo Verde, Jaciara, Dom Aquino, Juscimeira, São Pedro da Cipa, Rondonópolis, Pedra Preta, São José do Povo, Poxoréo, General Carneiro e Barra do Garças.

Migliorini 1999 e Migliorini et al. (2006) confeccionaram um mapa hidrogeológico preliminar na escala de reconhecimento 1:10.000.000 das principais Províncias hidrogeológicas e apresentaram um diagnóstico preliminar das sete (7) principais Províncias Hidrogeológicas do estado de Mato Grosso, como subsídio ao gerenciamento e o uso racional dos recursos hídricos subterrâneos.

GEOLOGIA REGIONAL

Os municípios de Jaciara e Juscimeira situam-se na porção noroeste da Bacia do Paraná ocupando a porção centro-meridional de Estado do Mato Grosso, na borda sudeste do Cráton Amazônico. A oeste da área, nos contrafortes erosivos da serra de São Jerônimo e Coroados, delimitam-se a Planície

Matogrossense (Bacia do Pantanal) e o Planalto dos Guimarães, aflorando os contatos das rochas neoproterozóicas da Faixa de Dobramento Paraguai, constituída pelo Grupo Cuiabá e, as rochas granitóides associadas ao Batólito São Vicente (Figura 2).

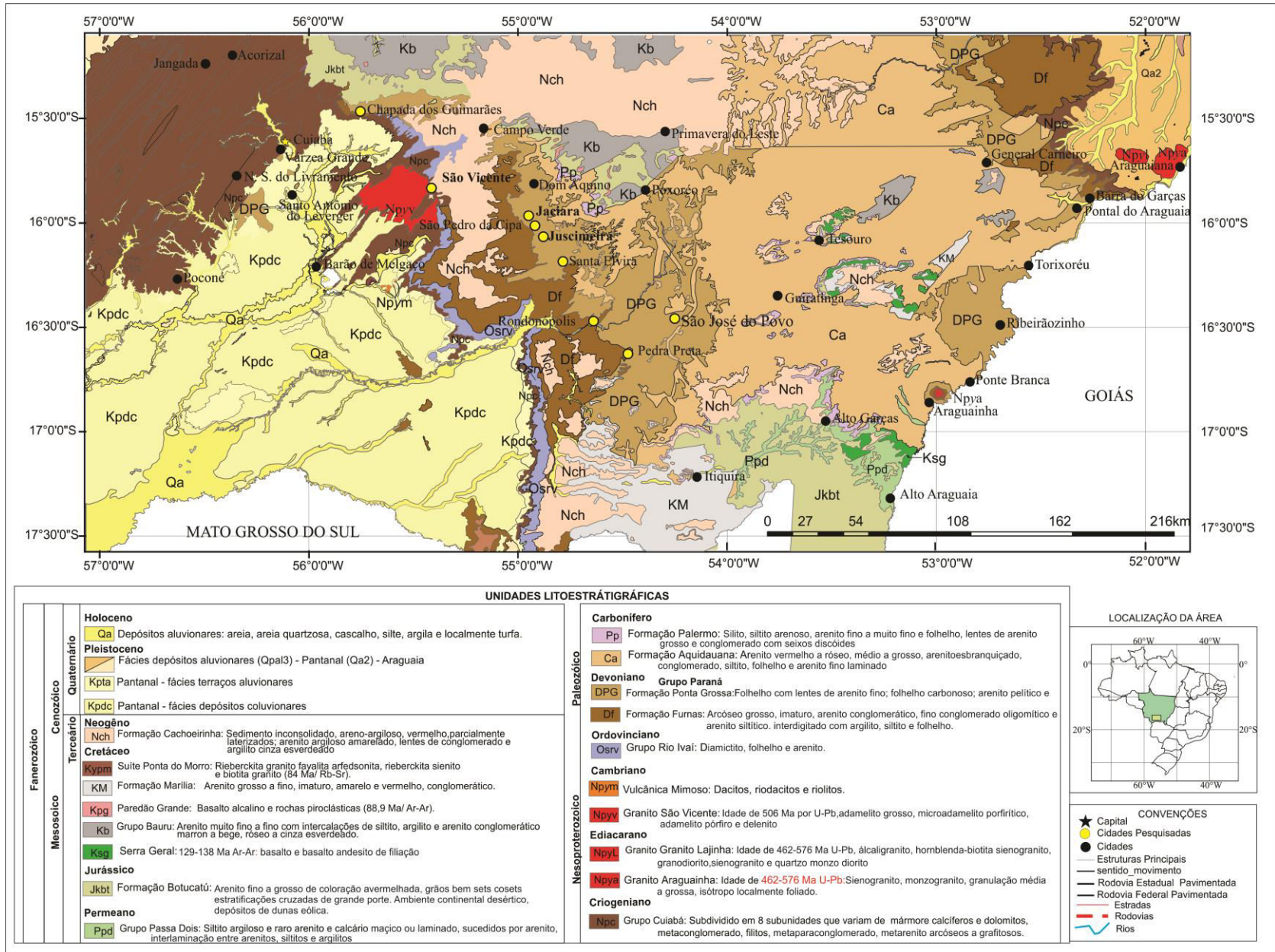


Figura 2. Mapa Geológico Regional. Modificado de Lacerda et al. (2004)

As rochas da Faixa de Dobramentos Paraguai foram individualizadas por Alvarenga & Trompette (1993) e, em três domínios tectônicos dispostos em longas e estreitas faixas paralelas denominadas de domínios Tectônicas das Coberturas de Antepaís, Tectônico Externo e Tectônico Interno. Nas proximidades da área de estudo ocorrem as rochas metassedimentares do Domínio Tectônico Interno composto pelos Grupos Cuiabá, pelas Vulcânicas de Mimoso e pelos corpos graníticos (batólitos e stocks) isotrópicos, tardi a pós-tectônicos.

O estágio mais antigo (Grupo Cuiabá) é formado por rochas metamórficas na fácies xisto verde, compostas por metapelitos intensamente dobrados, tendo na base quartzitos e metacalcários subordinados. As rochas da Faixa de Dobramento Paraguai apresentam na área uma linearidade litológica e tectônica dispostas em longas e estreitas faixas paralelas à borda do Cráton Amazônico e ocupam uma faixa estreita e descontínua com largura média em torno de 2 km com predominância de filitos e xistos e intercalações de metarenitos e metarcóseos (Godoy et al., 2010).

Intrusivos neste conjunto de rochas encontram-se rochas granitóides associadas à Província Granitóide Neoproterozóica do sudeste matogrossense que se encontram relacionadas à evolução das rochas da faixa de dobramento (Godoy et al., 2010). A Província Granitóide Neoproterozóica é constituída na região pelo Batólito Granítico São Vicente formado por intrusões rapakivíticas de dimensões batolíticas. O batólito é constituído por biotita granitos e muscovita-biotita granitos, isotrópicos, inequigranulares, porfiríticos, rapakivi ou não, localmente cataclástico. Observa-se em um grande número de diques e veios aplíticos e/ou pegmatóides (Godoy et al., 2010).

Dominando a região central e leste da área encontram-se as rochas sedimentares da Bacia do Paraná. Milani et al. (2007), reconheceram no registro estratigráfico da Bacia do Paraná seis unidades de ampla escala ou

supersequências na forma de pacotes rochosos sedimentares segmentadas e definidas: Rio Ivaí, Paraná e Gondwana, Gondwana II, Gondwana III e Bauru.

Dominando a área de estudo ocorrem as rochas sedimentares da Bacia do Paraná, associadas à Supersequência Paraná constituída por pacote arenoso inferior, denominado de Formação Furnas, composto por arenitos e conglomerados e, o outro, de composição pelítica, a Formação Ponta Grossa (Milani et al., 2007).

A Formação Furnas é representada por uma sucessão de arenitos quartzosos brancos, amarelados. Segundo Schneider et al. (1974) a Formação Furnas é constituída por arenitos branco e vermelhado e, subordinadamente róseos, de granulometria médios a grossos, caulínicos, por vezes micáceos com vários níveis conglomeráticos na base e intercalações de siltitos.

A Formação Ponta Grossa, nas proximidades da cidade de Jaciara compõem uma segunda cuesta na escarpa da bacia e é constituída por folhelhos, folhelhos-siltos cinza-escuros a pretos, localmente carbonosos e fossilíferos, com intercalações de arenitos cinza-claros, finos, argilosos e micáceos e intercalações raras de folhelho micáceo (Del'Arco et al., 1982).

A Supersequência Gondwana I (Milani, 1997) é constituída na área pela Formação Aquidauana do Grupo Itararé representada por uma sequência de depósitos glaciogênicos e pela presença subordinada de diamictitos associadas à uma deposição em ambiente fluvial-lacustre. Assenta-se de modo discordante erosivo sobre arenitos da Formação Furnas.

Nas áreas elevadas ocorrem os sedimentos da Formação Cachoeirinha constituindo as coberturas cenozóicas representadas por arenitos amarelados, médio a grossos, argilosos e níveis de conglomerados, além de argilito com grãos de areia esparsos (Schneider et al., 1974).

ASPECTOS FÍSICOS DA REGIÃO

Aspectos Geomorfológicos

As localidades de São Vicente, Jaciara e

Juscimeira encontram-se inseridas quase que totalmente na unidade do Planalto da Bacia

Sedimentar do Paraná, que na área é representado pelo Planalto dos Guimarães e Planalto dos Alcantilados. O Planalto dos Guimarães situa-se entre as cotas mais elevadas e caracteriza-se pela suavidade do modelado, predominando as amplas formas de topos tabulares e bordas marcadas por escarpas erosivas.

A borda oeste da área constitui um frente de cuesta, fortemente dissecado das serras dos Coroados ou São Jerônimo expondo as rochas sedimentares da Bacia do Paraná (formações Furnas e Ponta Grossa), rochas epimetamórficas do Grupo Cuiabá da Faixa de Dobramento Paraguai, o Granito São Vicente, definindo o Planalto Arruda – Mutum e, nas regiões baixadas, expõem-se os sedimentos da Bacia do Pantanal (Planícies e Pantanaís Matogrossense).

As serras dos Coroados ou São Jerônimo definem uma feição elevada plana e em ativa fase de dissecação, onde os chapadões constituem os representantes remanescentes de sedimentos da Formação Cachoeirinha e sedimentos cenozóicos indiferenciados e, constituindo em uma área de grande importância para manutenção e infiltração de águas para os aquíferos.

A oeste do município, margeando o rio São Lourenço encontram-se escarpas íngremes do arenito Furnas, resultantes de tectonismo de gravidade associado a processos erosivos e constituem a depressão do rio, que expõem as rochas da Bacia do Paraná (formações Furnas e Ponta Grossa).

A região centro-leste da área está posicionada geomorfologicamente na unidade conhecida por Planalto dos Alcantilados que é constituído por um conjunto de topografia muito dissecada, formada por relevos recortados por escarpas e relevos residuais com vertentes abruptas, elaborado em litologias sedimentares das formações Aquidauana e Ponta Grossa. A área foi fortemente influenciada pela tectônica, o que originou patamares estruturais posicionados em diferentes níveis altimétricos e escarpas associadas às linhas de falha.

A Depressão de Rondonópolis corresponde a uma área situada abaixo da cota de 300 m caracterizada pela bacia do Alto Rio São Lourenço e constitui um subcompartimento

elaborado nos arenitos da Formação Aquidauana, associado com as áreas de maior aprofundamento da drenagem que entalham os arenitos da Formação Ponta Grossa e Furnas, resultado de escavação do médio e baixo curso dos rios São Lourenço e seus afluentes.

Aspectos Geológicos

As unidades geológicas mais antigas da área são as rochas do Grupo Cuiabá e acham-se distribuídas na área na borda oeste da escarpa da serra de São Jerônimo, nas serras de Barão de Melgaço, Bocaina e São Vicente, ocupando uma faixa estreita e descontínua sustentadas predominantemente por metarenitos e metarcóseos, filitos, ardósias e xistos.

Na serra de São Vicente associa-se o Batólito Granítico Neoproterozóico São Vicente com uma área aflorante de 437 km² constituído por biotita granitos e muscovita-biotita granitos, isotrópicos, inequigranulares e porfiríticos, localmente cataclástico, intrudido por inúmeros diques e veios aplíticos e/ou pegmatóides. A oeste do batólito entre os morros da Bocaina, no pantanal de Mimoso, município de Santo Antônio de Laverger ocorrem as águas denominadas as “Fontes Thermaes da Bahia do Frade”. Na parte central do Granito São Vicente, os biotitas granitos são cortados por grandes diques graníticos microporfiríticos aos quais estão associadas às águas denominadas de “Fontes Termiais de Palmeiras” que acompanham as águas no córrego das Águas Quentes.

A sudeste do corpo granítico situam-se ocorrências de águas termais de São Lourenço constituída por rochas sedimentares da Bacia do Paraná, principalmente apresentando composições arenosas, aflorando as formações Furnas e Ponta Grossa e Aquidauana, além de rochas terciárias da Formação Cachoeirinha e coberturas cenozóicas.

O conjunto de rochas sedimentares que afloram na área apresenta-se sub-horizontalizado, localmente basculado pela ação de falhamentos gravitacionais. Na área das Serra dos Coroados e São Jerônimo dominam nas partes mais elevadas os sedimentos Aquidauana e sobreposto às rochas da Formação Cachoeirinha. A região a leste das serras é dominada por um planalto rebaixado formado pela depressão no vale do rio São

Lourenço, que expõem principalmente as rochas da Bacia do Paraná (formações Furnas, Ponta Grossa).

Aspectos Estruturais

O arcabouço geotectônico da região passa necessariamente pela evolução da granitogênese e a estrutural neoproterozóica da Faixa de Dobramento Paraguai. A implantação da Bacia do Paraná deu-se na forma de depressões alongadas na direção NE-SW, segundo a estruturação do substrato pré-cambriano e apresentando estruturas reflexas ou reativações de antigas estruturas das rochas do embasamento: as oriundas do sul (NNE-SSW) são impostas pela orientação da Zona de Cisalhamento Sul Matogrossense, observada nesta direção pelo forte controle do rio São Lourenço e da serra São Jerônimo.

Nesta região, e intensificando para norte, impõem-se novas estruturas que se infletem para ENE-WSW, pela vergência de uma nova direção de deformação que corresponderia ao falhamento de Jaciara de direção NE-SW (Lineamento Transbrasiliano) que seria expresso principalmente no rompimento da serra do São Jerônimo, a norte e da serra de Campo Grande–Maracaju, a sul, observada na região da serra do Coroadó. Portanto, estas direções secundárias coincidem com os principais falhamentos, onde controlam

afluentes da bacia do rio São Lourenço. Estes fatores estruturais, regiões de flexuras e fraturamentos devidos a movimentos da crosta e associação de falhas e fraturas abertas em profundidade de abrangência regional de direção NE-SW, exercem forte controle no termalismo e resultam no aumento do grau geotérmico regional.

Aspectos Geofísicos

Na área nordeste foi identificada a existência de anomalias gravimétricas coincidindo em áreas de manifestações geotermiais, cujos significados exigem estudos mais específicos, mas abordados aqui como um processo que contribui com as manifestações geotermiais.

O mapa gravimétrico com Anomalia Bouguer (Figura 3) foi obtido a partir do mapa geológico do estado de Mato Grosso (Lacerda et. al, 2006). Nota-se que são expressivas anomalias gravimétricas observadas na área de dobramentos e do entorno do granito Brasileiro São Vicente em comparação àquelas fortemente negativas na área cratônica da bacia, definindo a região do Arco Estrutural de São Vicente, portanto uma maior abrangência deste conjunto de rochas graníticas em subsuperfície e conseqüentemente um maior fluxo térmico presente da área.

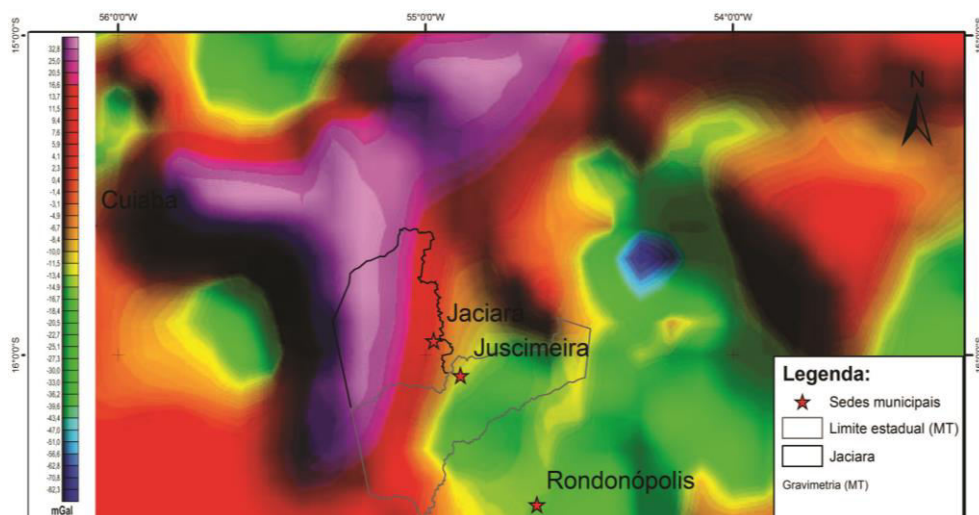


Figura 3. Mapa gravimétrico com Anomalia Bouguer. Modificado de (Lacerda et. al, 2006)

Aspectos Hidrogeológicos

A Bacia do Paraná é de grande importância para o armazenamento e exploração de água subterrânea e é ainda responsável pelo turismo hidrotermal no qual se destacam os municípios

de Jaciara e Juscimeira. As rochas sedimentares da Bacia Sedimentar do Paraná que afloram na área constituem aquíferos principais como: a Formação Furnas, Formação Ponta Grossa e sobreposta a estas unidades, encontram-se as

rochas da Formação Aquidauana (SIAGAS, 2013).

O Aquífero Furnas corresponde à unidade basal da Bacia Sedimentar do Paraná e possui excelentes condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas por apresentar porosidade, fraturamento e uma boa extensão. Os sedimentos da Formação Furnas apresentam boas vazões como um aquífero do tipo livre. Em condições de aquífero do tipo confinado de extensão regional, recobertos pelas rochas de Formação Ponta Grossa, constituem uma unidade aquífera de expressão e altas vazões, além de artesianismo e termalismo, pois mantém toda sua espessura preservada, tornando-a o principal reservatório de água subterrânea da região.

O Aquífero Ponta Grossa é do tipo livre em meio poroso, de extensão localizada e não possui boas condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas, apresentando um rendimento baixo. O Aquífero Aquidauana constitui aquífero do tipo livre, de extensão localizada, não possui boas condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas.

Aspectos Hidrotermais

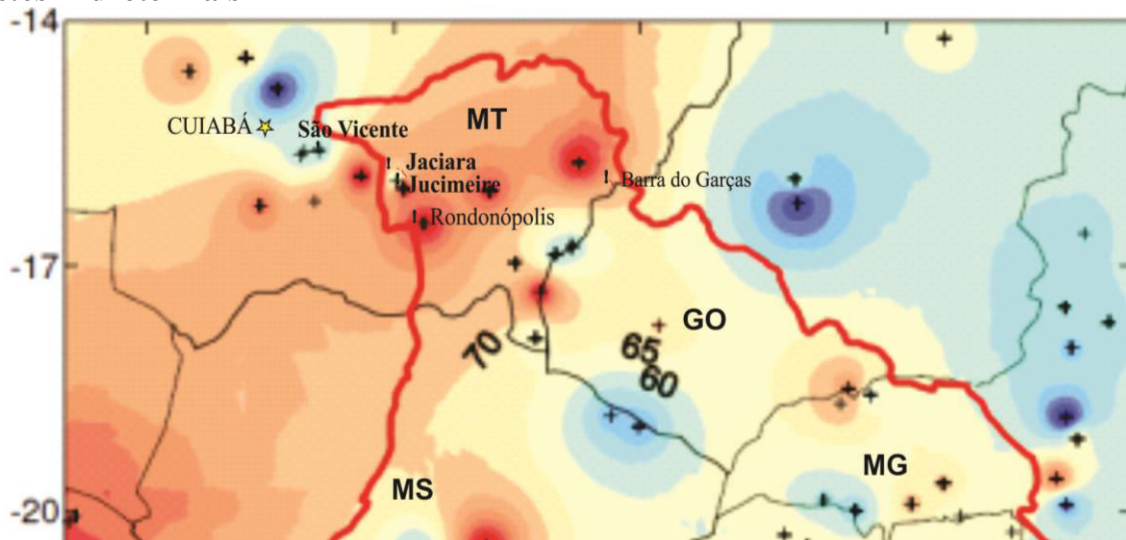


Figura 4. Distribuição regional de fluxo térmico da Bacia do Paraná. Dados geotérmicos da região das Águas Termais do Polo Turístico das Águas de São Lourenço. Mod. do Observatório Nacional (www.on.br)

Aspectos Composicionais das Águas

As águas subterrâneas das Termas de São Lourenço apresentaram resultados das análises físico-químicas e da composição química obtidos nas tabelas 1, 2 e foram classificadas como hipertermais com temperatura superior a 36°C. Os valores máximos de temperatura da água subterrânea foram registrados nos poços 2

O sistema geotermal da área é constituído por uma fonte de calor primário (gradiente de temperatura elevada regional), um local em subsuperfície de onde o calor pode ser extraído denominado de reservatório geotermal de fluidos termais (Formação Furnas).

Este reservatório cerca-se por rochas mais frias que estão hidráulicamente conectadas, ou seja, a presença de uma camada armazenadora dos recursos geotermiais junto com uma camada capeadora que mantém confinados os recursos na camada subjacente e um sistema de circulação que possibilitem o transporte de calor para superfície por meio de circulação de fluidos (água quente e vapor). Assim, a água pode circular desde rochas mais frias ao interior do reservatório (recarga), onde fluidos mais quentes fluem sob a influência do empuxo em direção à área de descarga.

Os resultados a seguir resultam da avaliação em escala regional de recursos geotermiais da Bacia do Paraná, da região noroeste da bacia, obtidos por pesquisadores do Observatório Nacional de Geofísica (www.on.br) e (Hamza, 1988), utilizados nas interpretações (Figura 4).

e 8 (42°C). A média dos valores de condutividade elétrica foi de 24, 4 e 41 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para as amostras coletadas nos granitos, Formação Ponta Grossa e Formação Furnas, respectivamente, sendo o maior valor caracterizado no poço 7 (40 $\mu\text{S}/\text{cm}$). A hidrólise é a reação mais importante que afeta o pH de águas naturais.

Tabela 1. Análises químicas das águas subterrâneas das Termas de São Lourenço.

| | Amostras de Água | Na Ppm | K ppm | Ca ppm | Mg ppm | Fe ppm | Si ppm | Al ppm | Zn ppm | Cu ppm | Ba ppm | Sr ppm | 1 | 2 | 3 | 4 | TD S | TSS | pH | 5 | 6 |
|-------------|---|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|------|----|-----|------|-----|------|----|------|
| São Vicente | Fonte Balduino (Thermas Águas Quentes) - M1 | 5,585 | 4,677 | 2,591 | 0,358 | 0,005 | 13,619 | <0,003 | 0,025 | <0,001 | 0,010 | 0,017 | AL | 0,18 | AL | 1,0 | 16 | 0 | 6,06 | 25 | 33,3 |
| | Fonte Paulista (Thermas Águas Quentes) - M5 | 5,939 | 4,803 | 1,767 | 0,308 | 0,011 | 14,276 | <0,003 | 0,015 | <0,001 | 0,008 | 0,014 | AL | 0,09 | AL | 0,3 | 14 | 1 | 5,98 | 21 | 30 |
| | Fonte do Almicar (Thermas Águas Quentes) - M7 | 5,723 | 4,731 | 2,393 | 0,340 | 0,010 | 13,795 | <0,003 | 0,015 | <0,001 | 0,008 | 0,016 | AL | 0,08 | AL | 0,4 | 15 | 3 | 6,25 | 23 | 33,3 |
| | Fonte Dom Francisco de Aquino Corrêa (Thermas Águas Quentes) - M8 | 5,701 | 4,784 | 2,423 | 0,343 | 0,009 | 13,794 | <0,003 | 0,014 | <0,001 | 0,008 | 0,016 | AL | 0,08 | AL | 0,4 | 15 | 0 | 6,15 | 24 | 49,1 |
| Jaciará | Thermas da Cachoeira da Fumaça - M4 | <0,276 | 0,379 | 1,139 | 0,141 | 0,003 | 4,828 | <0,003 | 0,020 | <0,001 | 0,004 | 0,001 | AL | 0,04 | AL | 0,3 | 3 | 5 | 4,95 | 4 | 6,6 |
| | Fonte Cachoeira Saia Branca - M6 | <0,276 | 0,122 | 0,144 | 0,045 | 0,008 | 4,371 | <0,003 | 0,012 | <0,001 | 0,002 | <0,001 | AL | 0,02 | AL | 0,3 | 2 | 1 | 5,05 | 4 | 5 |
| Juscineira | Thermas Mariah - M2 | 11,913 | 6,670 | 3,230 | 1,905 | 0,005 | 9,067 | <0,003 | 0,017 | <0,001 | 0,017 | 0,022 | AL | 0,07 | AL | 0,8 | 26 | 2 | 6,71 | 40 | 63,3 |
| | Thermas Alphaville - M3 | 8,052 | 6,884 | 3,580 | 1,936 | 0,005 | 9,796 | <0,003 | 0,013 | <0,001 | 0,018 | 0,025 | AL | 0,06 | AL | 0,3 | 23 | 1 | 6,77 | 35 | 41,6 |

Legenda: 1. Cloreto, 2 Fosfato, 3. Sulfato (mg/L), 4. Nitrato, 5 Condutividade 5(µs/cm), 6. Alcalinidade (mg/L de CaCO₃)

A influência geológica é marcante em relação aos valores de pH caracterizados, ou seja, os valores médios encontrados para as águas subterrâneas foram de 6,1 para os granitos, 5,0 para a Formação Ponta Grossa e 6,8 para a Formação Furnas. Os processos de intemperismo químico são os principais responsáveis pelo aumento dos valores de alcalinidade nas águas subterrâneas e fluviais em relação às águas de chuva. Nas amostras analisadas, os valores médios de alcalinidade foram de 31,4, 5,8 e 52,4 mg/L para os granitos, Formação Ponta Grossa e Formação Furnas. O maior resultado de (63,3 mg/L) foi obtido do poço 2 e o menor foi do poço 6 de (5,0 mg/L).

Os valores de fosfato encontrados para as águas subterrâneas foram iguais a 0,1 mg/L, com exceção do poço 1, com 0,2 mg/L. Em relação ao sulfato, todas as amostras ficaram abaixo do limite de detecção da técnica

utilizada para sua quantificação, ou seja, <1 mg/L, bem abaixo do valor máximo permitido da Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde que é de 250 mg/L.

Os valores encontrados para o íon cloreto indicam que nenhuma amostra ultrapassou o valor limite recomendado pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 (BRASIL, 2011), ou seja, 250 mg/L para o cloreto, pois para todas as amostras, o valor da concentração deste íon ficou abaixo do limite de detecção de 0,01 mg/L do método usado neste trabalho.

| Poço | Prof. (m) | Temp (°C) | Cond (µS/cm) | pH | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | PO ₄ ³⁻ | N-NO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Si ⁴⁺ |
|------|-----------|-----------|--------------|-----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | | 38 | 25 | 6,1 | 33,3 | <1,0 | 0,2 | 1,0 | <0,01 | 5,6 | 4,7 | 2,6 | 0,4 | 13,6 |
| 2 | | 42 | 21 | 5,9 | 30,0 | <1,0 | 0,1 | 0,3 | <0,01 | 5,9 | 4,8 | 1,8 | 0,3 | 14,3 |
| 3 | | 37 | 23 | 6,2 | 33,3 | <1,0 | 0,1 | 0,4 | <0,01 | 5,7 | 4,7 | 2,4 | 0,3 | 13,8 |
| 4 | | 36 | 24 | 6,2 | 29,1 | <1,0 | 0,1 | 0,4 | <0,01 | 5,7 | 4,8 | 2,4 | 0,3 | 13,8 |
| 5 | 300 | 38 | 4 | 4,9 | 6,6 | <1,0 | 0,1 | 0,3 | <0,01 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 4,8 |
| 6 | 300 | 38 | 4 | 5,0 | 5,0 | <1,0 | 0,1 | 0,3 | <0,01 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 4,4 |
| 7 | <350- | 38 | 40 | 6,7 | 63,3 | <1,0 | 0,1 | 0,8 | <0,01 | 8,9 | 6,7 | 3,2 | 1,9 | 9,1 |
| 8 | <350- | 42 | 35 | 6,8 | 41,6 | <1,0 | 0,1 | 0,3 | <0,01 | 8,1 | 6,8 | 3,6 | 1,9 | 9,8 |

Tabela 2. Resultados dos parâmetros físico-químicos e resultados dos ânions (mg/L) obtidos para a avaliação da qualidade de água subterrânea.

O nitrato, por sua vez, é o poluente de ocorrência mais frequente nas águas subterrâneas. Em concentrações superiores a 10 mg/L N-NO₃⁻ pode causar metahemoglobinemia e câncer. O valor máximo de nitrato encontrado nas análises das águas subterrâneas foi de 1,0 mg/L (Poço 1). Nenhum poço apresentou valores acima do valor máximo permitido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 (BRASIL, 2011), ou seja, 10 mg/L.

Para o Na⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ os maiores valores foram obtidos nas amostras de águas subterrâneas coletadas na Formação Furnas, seguidas pelos granitos e, posteriormente, as da Formação Ponta Grossa. Todos os valores

obtidos de sódio ficaram bem abaixo do valor limite permitido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 (BRASIL, 2011) de 200 mg/L. A média de silício para as águas subterrâneas foi de 13,8, 4,6 e 9,5 mg/L para as amostras coletadas nos granitos, Formação Furnas e Formação Ponta Grossa, respectivamente. A dureza das águas subterrâneas é uma medida baseada no teor de cálcio e magnésio.

A média dos valores de dureza para as águas subterrâneas foi de 7,1 mg/L para os granitos, variando de 0,7 mg/L (Formação Ponta Grossa) a 16,3 mg/L (Formação Furnas). De acordo com o proposto por Sawyer et al. (2000), conforme a tabela 3, estas águas

subterrâneas podem ser classificadas como moles, não prejudicando o abastecimento público devido a baixa dureza.

Tabela 3. Classificação de dureza das águas (Sawyer et al., 2000).

| Dureza (mg/L de CaCO ₃) | Classificação das águas |
|--|-------------------------|
| 0 - 75 | Mole |
| 75 - 150 | Moderadamente dura |
| 150 - 300 | Dura |
| Maior que 300 | Muito dura |

De maneira a classificar quimicamente as águas subterrâneas, utilizou-se o diagrama de Piper (1944) e conforme o diagrama na figura

5, todas as amostras são classificadas como sódicas-potássicas bicarbonatadas.

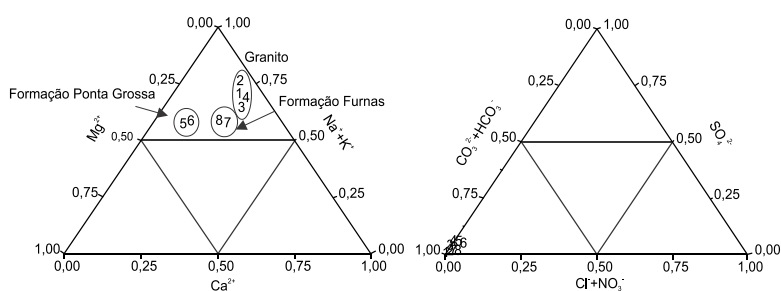


Figura 5. Diagrama de Piper para as águas subterrâneas.

Para verificar a especificação hidroquímica foi usado o programa *Phreeq C* (Parkrurt & Appelo, 1999). De acordo com o equilíbrio químico das amostras de águas subterrâneas coletadas nos poços, obtido com o uso do programa *Phreeq C* todas as amostras

encontram-se no campo das caulinitas - Al₂Si₂O₅(OH)₄, conforme a figura 6, indicando que o principal processo intempérico atuante nos minerais primários das rochas nessa região é a hidrólise parcial, ou monossilização.

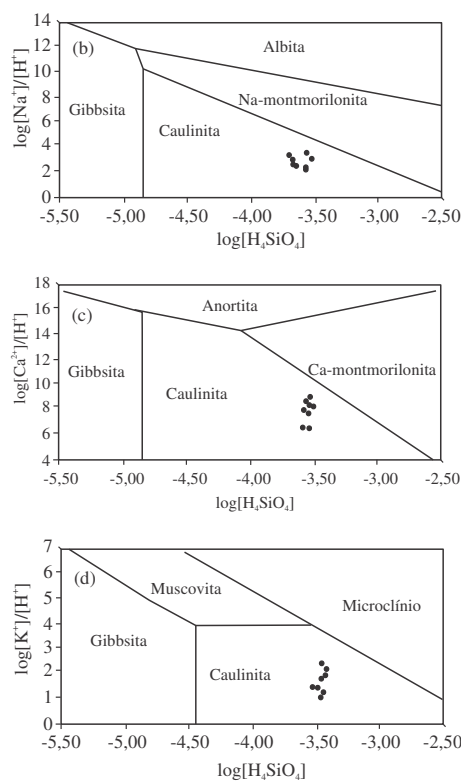


Figura 6. Diagrama de estabilidade à 25°C NaO-Al₂O₃-Si₂O-H₂O (a), CaO-Al₂O₃-Si₂O-H₂O (b) e K₂O-Al₂O₃-Si₂O-H₂O (c) para as amostras de água subterrânea.

Esse processo ocorre pela hidrólise parcial da rocha mãe, com parte do Si⁴⁺ permanecendo no perfil de alteração e Na⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ sendo eliminados. Assim, o K⁺ e o Ca²⁺ e Na⁺ são lixiviados pela hidrólise do microclínio e do oligoclásio. A hidrólise da biotita lixivia K⁺ e Mg²⁺. Quartzo e caulinita não são susceptíveis aos processos de intemperismo químicos atuantes na área de estudo, ou seja, não sofrem alteração química, indicando que a presença de Si⁴⁺ nas águas subterrâneas deve-se a hidrólise dos microclínio, oligoclásio e biotita.

Fontes de cálcio, magnésio e alcalinidade estão relacionadas à dissolução dos carbonatos [calcitas – CaCO₃ e dolomitas – CaMg(CO₃)₂] presentes nas rochas sedimentares das formações Ponta Grossa e Furnas.

Além disso, as rochas magmáticas e sedimentares da área de estudo não apresentam minerais que possuem Cl⁻, F⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ ou PO₄³⁻ nas suas fórmulas estruturais, sendo esperada pouca entrada desses elementos/compostos nas águas subterrâneas coletadas devido à interação água-rocha, como indicado pelos resultados aqui apresentados.

TERMALISMO NO GRANITO SÃO VICENTE

As fontes termiais das Thermas de Águas Quentes em São Vicente referidas como “Fontes Termiais de Águas Quentes Palmeiras”. São formadas por 11 fontes termiais, das quais 3 fontes foram coletadas amostras para análise, encontrando-se as demais submersas no córrego Águas Quentes.

O grau geotérmico corresponde ao fator para explicar o aquecimento de águas com temperatura inferior a 50°C, a qual requereria um descenso de cerca de 500—600 m abaixo da superfície. As águas apresentam baixo conteúdo de sais minerais dissolvidos, temperaturas entre

39°C a 41°C e radioatividade local de 50 CPS. São classificadas como fontes termiais (hipertermiais) radioativas e suas águas como oligominerais.

A fonte termal encontra-se associada principalmente na parte central da intrusão do batólito granítico da Serra de São Vicente e a água das fontes provém da infiltração de águas superficiais, ao longo de fraturas do corpo ígneo, já que os granitos são quase impermeáveis. A manutenção de alta vazão faz supor uma área de recarga abrangente, a partir das rochas sedimentares sotopostas e pelo solo

da reserva florestal de Águas Quentes. A perda de calor deve ser relativamente baixa, razão da baixa de raras ocorrências de fontes frias na área, propiciando a infiltração profunda das águas meteóricas e, pouca mistura de águas de profundidades rasas.

Os aspectos estruturais do maciço granítico são controlados através de um sistema de falhas e fraturas de direção NE-SW subvertical, às vezes preenchidas por diques de granito pórfiro rapakivi e que apresenta uma maior redução da granulação e uma maior silicificação para as bordas. Estas feições texturais e estruturais são distintas das rochas graníticas encaixantes e, que parecem ter transformado este corpo em um conduto bastante hermético em profundidade (Figura 7).

Os diques permitem a existência de uma grande captação lateral, ao longo deste, facilitando o processo de captação e circulação

de águas subterrâneas. O controle e captação das fontes são definidos por um grande anfiteatro erosivo do corpo ígneo, apresentando, na parte central do corpo, o córrego Águas Quentes controlado por zonas de fraturamento e com uma direção perpendicular ao dique, fato este que caracteriza a intersecção desta zona de fraqueza com o dique ter formado num conduto ideal para surgências das águas.

Próximo da superfície, juntas de alívio propiciaram lateralmente ao dique o surgimento de pequenas fontes de menores expressões. As variações de temperatura entre as águas das fontes parecem indicar que ocorra em alguns casos contaminação de águas superficiais, mais frias, e recém-infiltradas. Visto que as águas das fontes resultam da infiltração através de fraturas de rochas duras, sem uma grande filtragem natural, a poluição e contaminação revestem-se de importância.

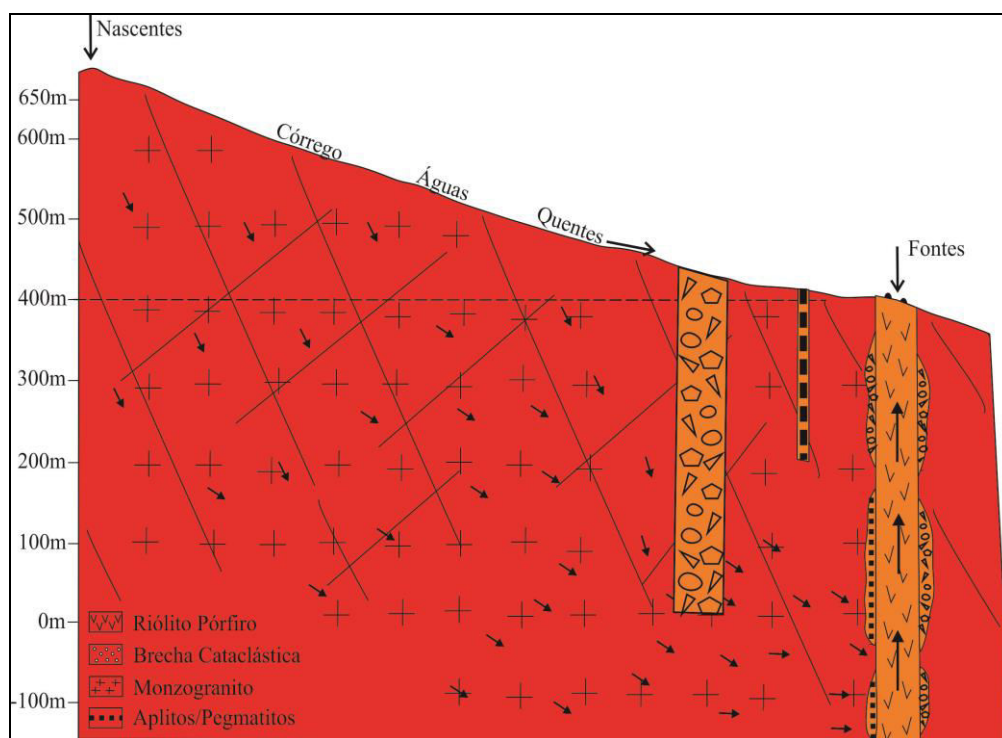


Figura 7. Perfil Esquemático da geologia da batólito São Vicente. Modificado (CPRM, 1973).

TERMALISMO EM JACIARA E JUSCIMEIRA

Os poços cadastrados não possuem uma distribuição que permita saber os limites reais da área de ocorrência hidrotermal e concentram-se numa área relativamente pequena e com informações técnicas deficientes, nos municípios Jaciara, Juscimeira e os distritos de Irenópolis e Santa Elvira.

Na porção do aquífero da Formação Furnas

em que este se apresenta confinado pelos sedimentos impermeáveis da Formação Ponta Grossa, os poços, até então perfurados apresentam vazões relativamente elevadas, quando não há um rebaixamento por poços próximos. As temperaturas foram medidas na boca dos poços, e variaram entre 41° e 51°C.

O termalismo desse aquífero tem como

causa o grau geotérmico, a região apresenta um alto fluxo térmico com valores superiores a 100 mW/m^2 , associado às falhas e fraturas, abertas em profundidade, representadas pelo sistema de falhamentos de abrangência regional de direção N-S e NE-SW, que interceptam nesta região.

Estudos com base em poços perfurados pela PETROBRÁS indicam o grau geotérmico de $1^\circ\text{C}/34,48\text{m}$ (ou $29^\circ\text{C}/\text{km}$) para a Bacia Sedimentar do Paraná. Admitindo-se uma temperatura da água, na recarga, próxima a média anual do ar de 26°C , e a temperatura de 51°C como representativa da profundidade de percolação da água, o incremento de cerca de 26°C , se daria na faixa de profundidade entre 840 m e 880 m. Este hipertermalismo ocorre em associação com a velocidade de circulação da água que permite o seu aquecimento nas zonas profundas e com uma velocidade de ascensão superior à taxa de resfriamento devido ao equilíbrio térmico com as zonas mais rasas, sob influência da tectônica registrada na região (sistemas de falhas/fraturas). O fluxo das águas subterrâneas do aquífero apresenta o controle a

partir de um *trend* regional NNE-SSW imposto pela da zona de fraturamento São Lourenço.

Admitindo o topo da Formação Furnas a 290 m e espessuras ao redor de 400 m, a circulação de água a estas temperaturas se daria na zona formada pela base dos sedimentos e o topo do embasamento formado pelas rochas do Grupo Cuiabá. A partir de mapa hidrogeológico, nota-se que a região mostra rochas favoráveis à acumulação de água, formando aquíferos contínuos.

As áreas de afloramento desse aquífero, mais próximas e em cotas mais altas, estão a oeste, representadas pela Serra São Jerônimo e, para o compartimento leste da zona de falhamento unidades de recarga da formação Ponta Grossa. Supondo-se que haja uma comunicação hidráulica através da continuidade lateral do arenito Furnas, entre esses blocos mais elevados e a parte confinada mais baixa, onde ocorrem os poços surgentes, supõe-se que o efeito de surgência se deve a recarga em cota mais elevada (Figura 8).

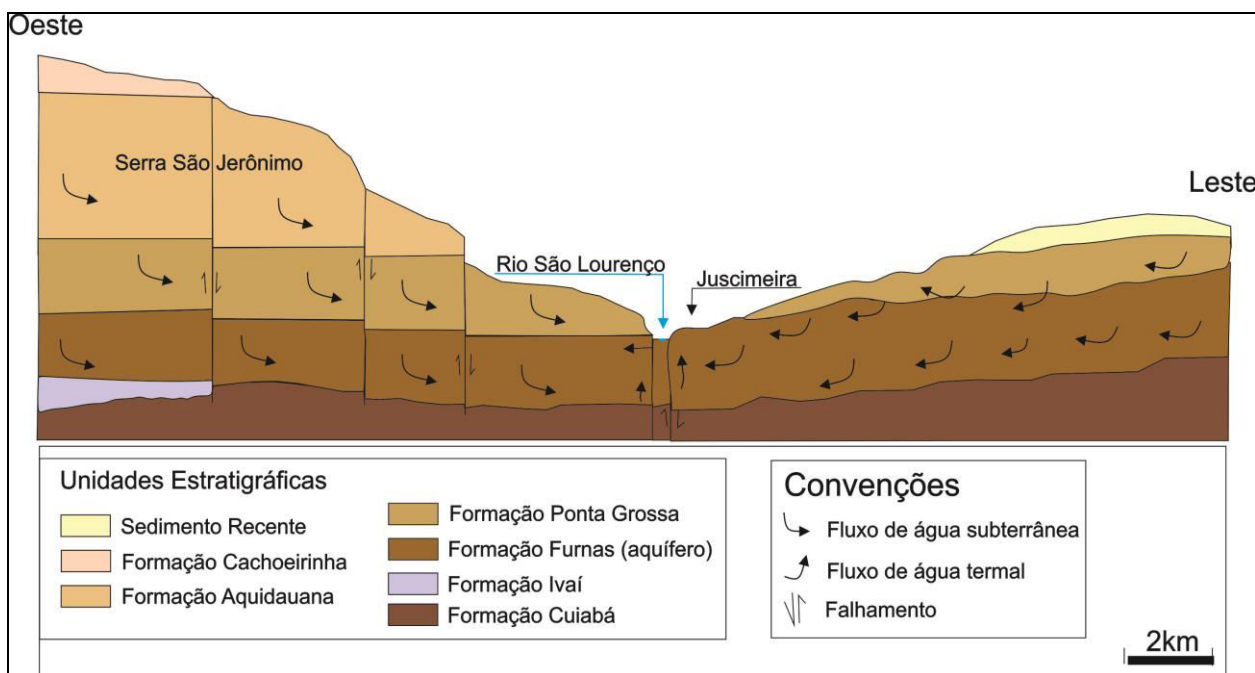


Figura 8. Perfil Esquemático da região de Juscimeira. Mod. de Abreu Filho & Thomé Filho (2000).

CONCLUSÕES

O hidrotermalismo da área é resultado da interação de diversos fatores: das expressivas anomalias gravimétricas observadas no entorno do granito São Vicente, que definem uma maior abrangência do batólito em subsuperfície, do

maior fluxo térmico presente da área e das grandes flexuras regionais, falhas e fraturamentos; além de uma expressiva área de recarga com grande quantidade de rochas arenosas favoráveis à acumulação e

permeabilidade para que águas meteóricas recarreguem os aquíferos, possibilitando assim, que o aquífero do arenito Furnas, confinado pelos sedimentos impermeáveis da Formação Ponta Grossa, mantenham-se mais térmicos.

A fonte termal de São Vicente encontra-se associada à intrusão do batólito granítico da Serra de São Vicente e a água que brota nas fontes provém da infiltração de águas superficiais ao longo de juntas e dique magmáticos do corpo granítico até profundidades consideráveis para ganharem energia térmica e voltar aquecida à superfície.

O grande potencial de Águas Quentes do Balneário de São Vicente para fins turísticos constitui um importante segmento na economia do estado, mas visto que as águas das fontes resultam da infiltração através de fraturas de rochas duras, sem uma grande filtragem natural, como acontece em rochas sedimentares, a poluição e contaminação revestem-se de especial importância.

As rochas da Formação Furnas são um aquífero que pode fornecer boas vazões, principalmente quando ele está recoberto pelas rochas da Formação Ponta Grossa, sendo que o aquífero seja confinado, apresentando altas vazões, além de artesianismo e termalismo. É um dos principais aquíferos do estado do Mato Grosso, possui excelentes condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas por apresentar porosidade primária (porosidade intragranular) e porosidade secundária (porosidade nas fraturas).

As águas minerais superficiais estão geneticamente condicionadas ao aquífero

Furnas e afloram sob a forma de surgência, preferencialmente na zona de contato com a Formação Ponta Grossa. Além das fontes que se encontram em operação comercial, uma grande faixa de direção E-W contendo dezenas de surgências de águas termais.

As águas termais são águas de chuvas que penetram no solo e descem em profundidade a partir de grandes fraturamentos e através do contato com as rochas, são mineralizadas e aquecidas pelo gradiente geotérmico da área. A área apresenta um grande sistema de circulação da água da chuva, que infiltra e abastece o aquífero termal a partir: de um padrão intenso de grandes falhamentos e a leste a recarga do aquífero ocorre a partir de unidades superiores às formações Ponta Grossa e Aquidauana. A recarga do aquífero a oeste ocorre principalmente pelas unidades superiores à formação Furnas na Serra de São Jerônimo, que são de extrema importância para as águas termais, pois é naquele setor que se processa o maior volume de recarga das águas.

Os níveis de águas quentes apresentados mostraram significativas reduções na área, resultado do uso abusivo da água quente, e o mais importante, a abertura de novos poços de água quente, sem autorização e controle do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), além da falta de registro e regularização dos poços já existentes. Assim, pode-se perceber a importância de se conhecer, pelo menos minimamente, a origem das águas quentes, bem como está o seu estágio de exploração, no sentido de um monitoramento desse importante recurso natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU FILHO, W. & THOMÉ FILHO, J.J. PRIMAZ. Programa de Integração Mineral no Município de Juscimeira. CPRM. Goiânia, 48p., 2000.
2. ALVARENGA, C.J.S. de & TROMPETTE, R. Evolução Tectônica brasileira da Faixa Paraguai: A estruturação da região de Cuiabá. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 4, p. 18-30, 1993.
3. COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (CPRM). Projeto Águas Quentes (Relatório Final), 46 p., 1973.
4. CORRÊA NETTO, O. Aguas Thermaes de Mato-Grosso. Comissão Linhas Telegraphicas Estrategicas de Mato-Grosso ao Amazonas. Rio de Janeiro, nº 61, anexo 5, parte 2, 84 p., 1920.
5. CORRÊA NETTO, O. Aguas thermaes de Mato-Grosso. Comissão Linhas Telegraphicas Estrategicas de Mato-Grosso ao Amazonas. Rio de Janeiro, nº 62, , parte 2, 1946.
6. DEL'ARCO, J.O.; SILVA, R.H.; TARAPANOFF, I.; FREIRE, F.A.; PEREIRA, L.G.M.; SOUZA, S.L.; LUZ, D.S.; PALMEIRA, R.C.B.; TASSINARI, C.C.G. **Geologia**. MME/SG. Projeto RadamBrasil, Levantamento dos Recursos Naturais. Folha SE. 21 – CORUMBÁ e parte da Folha SE. 20. Rio de Janeiro, v. 27, p. 25-160, 1982
7. GODOY, A.M.; PINHO, F.E.C.; MANZANO, J.C.; ARAÚJO, L.M.B. de; SILVA, J.A. FIGUEIREDO, M. Estudos isotópicos das rochas granitóides neoproterozóicas da Faixa de Dobramento Paraguai. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n. 3, p. 380 – 391, 2010.
8. GODOY, L.P. **Potencial (Geoparque) do Polo Turístico Das Águas De São Lourenço**. Rio Claro: 2014, 192p. (Tese de Doutorado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, 2014..
9. GUIMARÃES, G. & ALMEIDA, L.F.G. de. Águas termais no estado de Mato Grosso. Cuiabá: DNPM, 1972.
10. HAMZA, V.M. Mapas Geotermais do Brasil.

Relatório nº 27.069. São Paulo IPT. 1988.

11. LACERDA FILHO, J.W.; ABREU FILHO, W.; VALENTE, C.R.; OLIVEIRA, C.C.; ALBUQUERQUE, M.C. **Geologia e Recursos Minerais do estado de Mato Grosso**. Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados de Geologia do Brasil. Convênio CPRM/SICME-MT, MME. 235 p., 2004.
12. MIGLIORINI, R.B. **Hidrogeologia em Meio Urbano. Região de Cuiabá e Várzea Grande - MT**. São Paulo: 1999, 145p. (Tese de Doutorado apresentada no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
13. MIGLIORINI, R.B.; BARROS, M.S.; 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**. Recursos Hídricos de Mato Grosso, eds Fernandes, C.J e Viana, R.R., v.3, p. 37-50, 2006. Universidade Federal do Mato Grosso.
14. MILANI, E.J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Tese (Doutoramento). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 255 p. 1997.
15. MILANI, E.J.; MELO, J.H.G.; SOUZA, P.AULO A.de, FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. BACIA DO PARANÁ. **Revista de Geociências Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.
16. PARKHURST D.L. & APPELO C.A.J. User's guide to PHREEQC (Version 2) – **A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations**. Denver, U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report, 312 p. 1995.
17. PIPER, A.M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. **Transactions American Geophysical Union**, v. 25, p. 914-928, 1944.
18. SAWYER, C.N.; McCARTY, P.L.; PARKIN, G.F. **Chemistry for sanitary engineers**. New York: McGraw-Hill, 4^o ed., 634 p., 2000.
19. SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. Anais do... São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, p. 41-65, 1974.
20. SIAGAS. Sistema de Informação de Águas Subterrâneas. (base de dados na internet). Brasil: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais - CPRM. Serviço Geológico do Brasil. (atualizado em maio de 2010). Disponível em: <http://www.siagas.cprm.gov.br>. Acesso em: 17 de abril de 2013.

Manuscrito recebido em: 19 de Março de 2015

Revisado e Aceito em: 10 de Setembro de 2015