

A GÊNESE HIDROTHERMAL DA OPALA NO ESTADO DO PIAUÍ

The Hydrothermal Genesis of Opal in the State of Piauí, Brazil

Érico Rodrigues Gomes^{1*}, Marcondes Lima da Costa² & Gisele Tavares Marques³

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí; erico.gomes@ifpi.edu.br ORCID: 0000-0002-1942-1396

² Universidade Federal do Pará; marcondeslc@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0134-0432

³ Universidade Federal do Pará; gisele.ufpa@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3122-259X

RESUMO: Existem dois conjuntos de teorias que propõem origens distintas para as opalas de Pedro II. Um grupo propõe origem similar às opalas australianas, resultantes de variações climáticas sob condições ambientais em clima árido. Este trabalho demonstra a gênese hidrotermal para estas opalas piauienses, que tem seu contexto geológico marcado pela associação rochas sedimentares, arenitos e rochas ígneas intrusivas, o diabásio. Tudo começa com a fragmentação do supercontinente Pangeia, formação do Oceano Atlântico e uma reativação do Lineamento Transbrasiliano cruzando a Bacia Sedimentar do Parnaíba, ocorrendo um magmatismo formador de soleiras alojadas abaixo dos arenitos. Este magma aqueceu a água contida nos poros do arenito, desenvolvendo células de convecção de fluidos, solubilizando a sílica dos grãos quartzosos dos arenitos e da camada externa da rocha ígnea, liberando muita sílica para formar as opalas. Com a diminuição da temperatura, a solução saturada em sílica torna-se uma solução gel supersaturada, precipitando opala nas fraturas, acima da camada de argila existente no contato entre as rochas sedimentares e o diabásio, e entre a fácies alterada e o diabásio não alterado. O conjunto de evidências geológicas, mineralógicas e geoquímicas encontradas associadas às opalas, são indicativos de que estas se originaram neste ambiente hidrotermal.

Palavras-chave: Opala Brasileira, Pedro II, Buriti dos Montes, Lineamento Transbrasiliano

ABSTRACT: There are two sets of theories that propose different origins for Pedro II's opals. One group proposes a similar origin to Australian opals, resulting from climatic variations under environmental conditions in an arid climate. This work demonstrates the hydrothermal genesis for these opals from Piauí, whose geological context is marked by the association of sedimentary rocks, sandstones and intrusive igneous rocks, diabase. It all starts with the fragmentation of the supercontinent Pangea, formation of the Atlantic Ocean and a reactivation of the Transbrasiliano Lineament crossing the Parnaíba Sedimentary Basin, occurring a magmatism forming sills lodged below the sandstones. This magma heated the water contained in the sandstone pores, developing fluid convection cells, solubilizing the silica from the quartz grains of the sandstones and from the outer layer of igneous rock, releasing much silica to form the opals. As the temperature decreases, the silica-saturated solution becomes a supersaturated gel solution, precipitating opal in the fractures, above the clay layer in contact between the sedimentary rocks and the diabase, and between the altered facies and the unaltered diabase. The set of geological, mineralogical and geochemical evidence found associated with opals are indicative that they originated in this hydrothermal environment.

Keywords: Brazilian Opal, Pedro II, Buriti dos Montes, Transbrasiliano Lineament

1. Introdução

O Brasil é uma das mais importantes e maiores províncias gemológicas do mundo, tradicional produtor de gemas de cor. Neste cenário, estão as jazidas de opalas preciosas de Pedro II e opala laranja de Buriti dos Montes (Piauí). Estas destacam-se pela sua maior resistência ao calor bem como pela sua dureza, em média mais elevada do que as suas congêneres mundiais, o que as tornam gemas muito apreciada pela indústria de jóias e colecionadores. Estas características únicas, provavelmente são resultantes do modo de formação destas opalas, num ambiente hidrotermal.

As ocorrências, garimpos e minas estudadas estão contidas na Bacia Sedimentar do Parnaíba (BSP). Esta possui uma área de 666.000 km² e encontra-se situada no Meio Norte do Brasil. É delimitada pelo Arcos Ferrer-Urbano Santos ao norte, bacia São Francisco ao sul e sudeste, Arco de Tocantins a noroeste. Reativações de feições estruturais herdadas do embasamento, como o Lineamento Transbrasiliano, com direção geral nordeste-sudoeste (regionalmente denominado de Sobral-Pedro II) e o Lineamento Picos-Santa Inês, este com direção geral noroeste-sudeste, influenciaram na subsidência da BSP e em sua evolução tectono-sedimentar, controlando as direções dos principais eixos deposicionais dos sedimentos e o magmatismo básico fissural (Góes *et al.* 1990; Góes & Feijó, 1994; Vaz *et al.*, 2007).

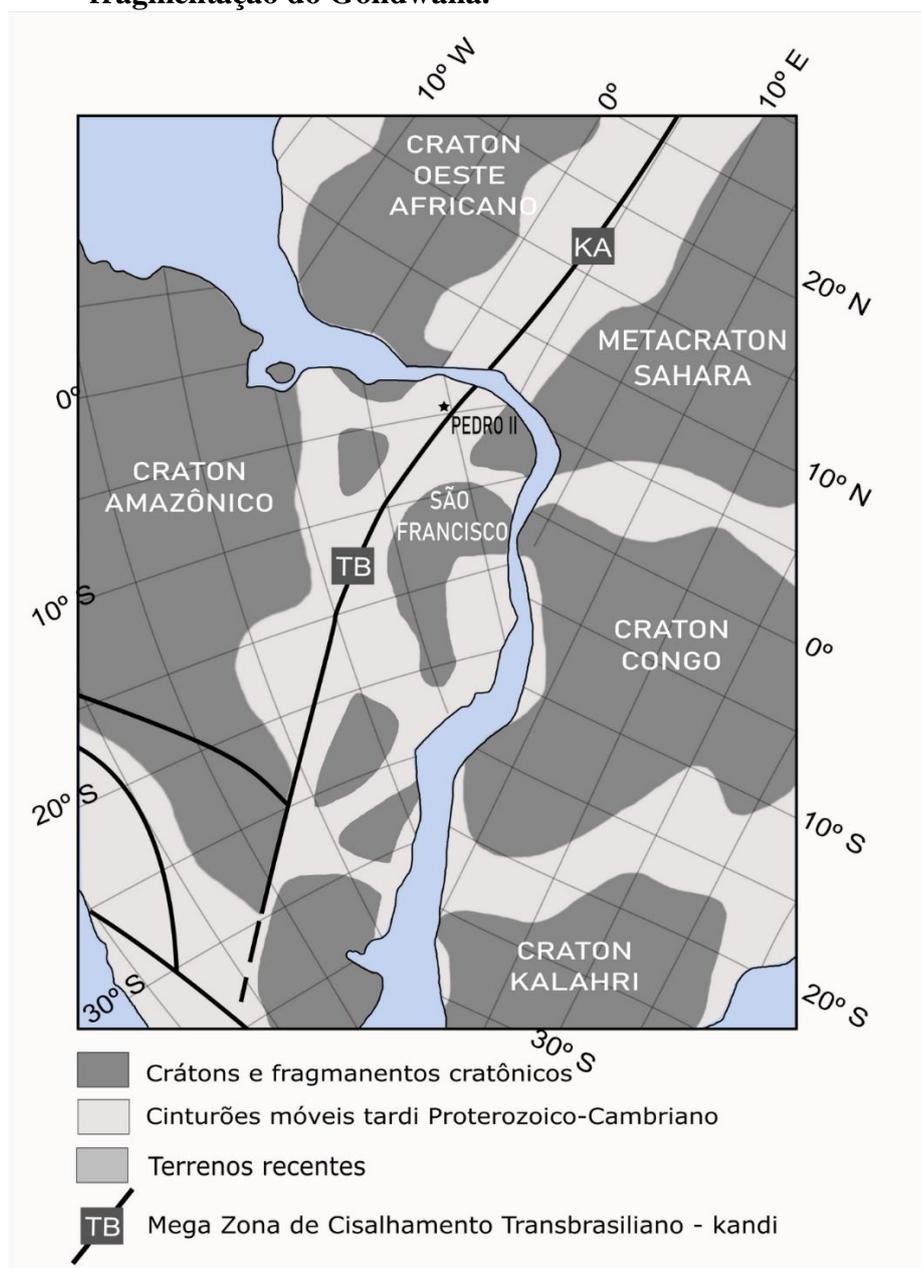
2. Desenvolvimento

2.1 O Lineamento Transbrasiliano

O Lineamento Transbrasiliano (LTB) é definido como uma megaestrutura geológica que atravessa rochas cisalhando-as em diversas reativações dúcteis e rúpteis ao longo de sua história. Exibe direção geral NE-SW, cerca de 5.000 km de extensão, 40 km de profundidade e até 300 km de largura. Tem início na Argentina, cruza o Paraguai e todo o território brasileiro, tendo sua continuação no continente africano em Beni, Togo e Argélia, atravessando o Saara numa extensão de aproximadamente 4.000 km, onde recebe a denominação de Lineamento Kandi (Schobbenhaus *et al.*, 1975; Cordani *et al.*, 2013; Julião, 2015; Ferreira *et al.*, 2019; Gadea, 2021; figura 01).

O LTB formou-se no final do Neoproterozoico, é a principal zona de sutura resultante da colisão do cráton Amazônico com o cráton São Francisco e outros blocos crustais meno-

Figura 01 – Destaca o Lineamento Transbrasiliano (na América do Sul) - Kandi (na África) numa reconstituição no início da fragmentação do Gondwana.



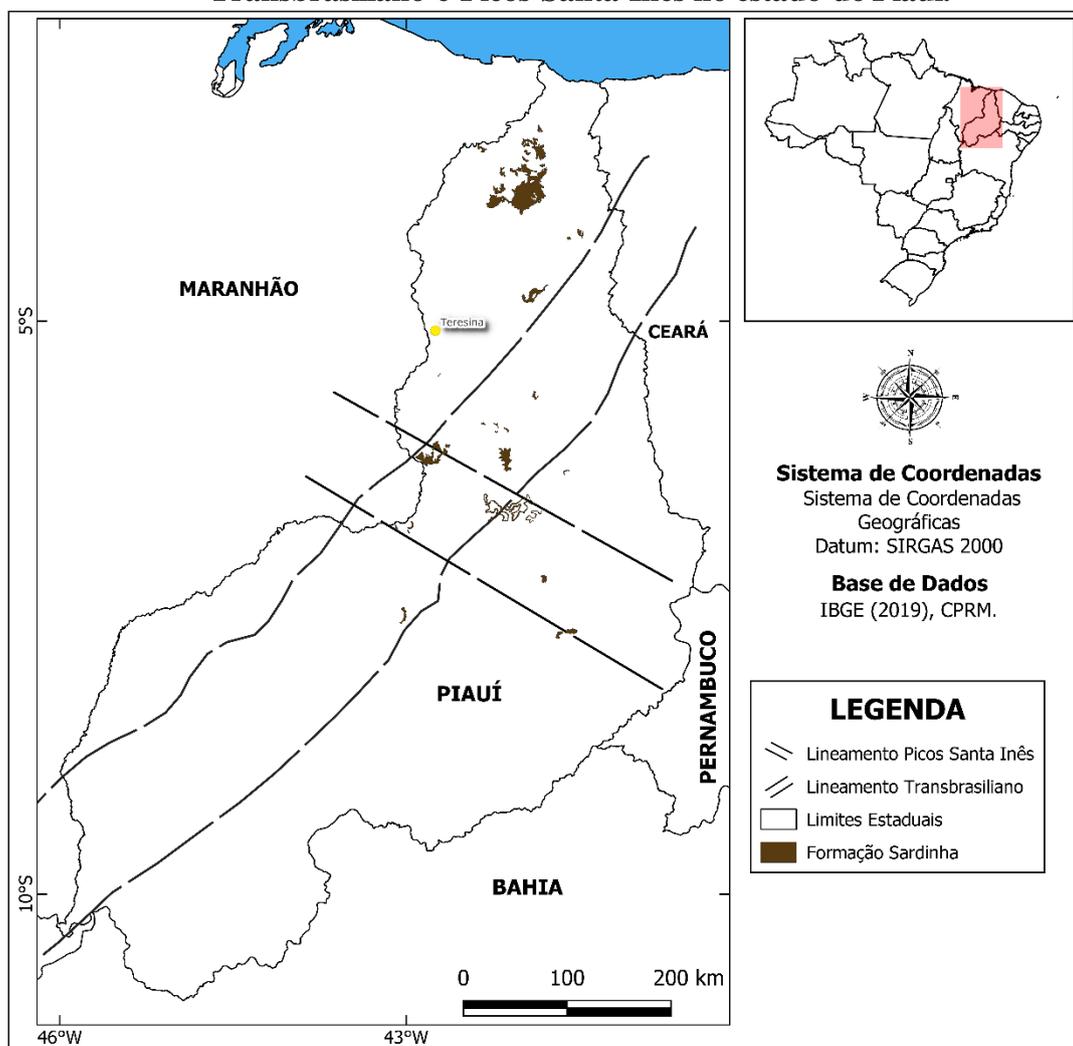
Fonte: Modificado de Cordani et al., 2013

res da Plataforma Sul-americana, durante a formação do supercontinente Gondwana. Teve influência na formação do arcabouço estrutural da BSP controlando através de reativações, o seu preenchimento sedimentar e magmático. (Gonzaga & Tompkins, 1991; Vaz et al., 2007; Castelo Branco & Pedrosa Junior, 2013; Cordani *et al.*, 2013; Santos et al., 2013; Julião, 2015).

A GÊNESE HIDROTÉRMAL DA OPALA NO ESTADO DO PIAUÍ

Associadas com a tectônica distensiva responsável pela fragmentação do Supercontinente Pangea, reativações do LTB representadas pelas zonas de cisalhamento e falhas, serviram de condutos, controlando a ascensão de magmas basálticos encontrados por toda a BSP, os quais foram agrupados estratigraficamente na Formação Sardinha (Almeida et al., 1988; Thomaz Filho *et al.*, 2008). As rochas básicas são relacionadas a três pulsos magmáticos principais (Caldasso & Hama 1978; Góes *et al.* 1993). O mais antigo (entre 215 e 180 Ma.), é associado com os movimentos de abertura do Oceano Atlântico Norte. O segundo pulso (180 a 150 Ma.), aparentemente mais expressivo, relaciona-se com a abertura do Oceano Atlântico Equatorial. O terceiro pulso (de 150 a 110 Ma.), é relacionado com a abertura do Oceano Atlântico Sul. No Piauí, afloram como diques e soleiras desde o norte até a região central do estado (Figura 02).

Figura 02 – Distribuição dos afloramentos de diabásios e os Lineamentos Transbrasiliano e Picos-Santa Inês no estado do Piauí.

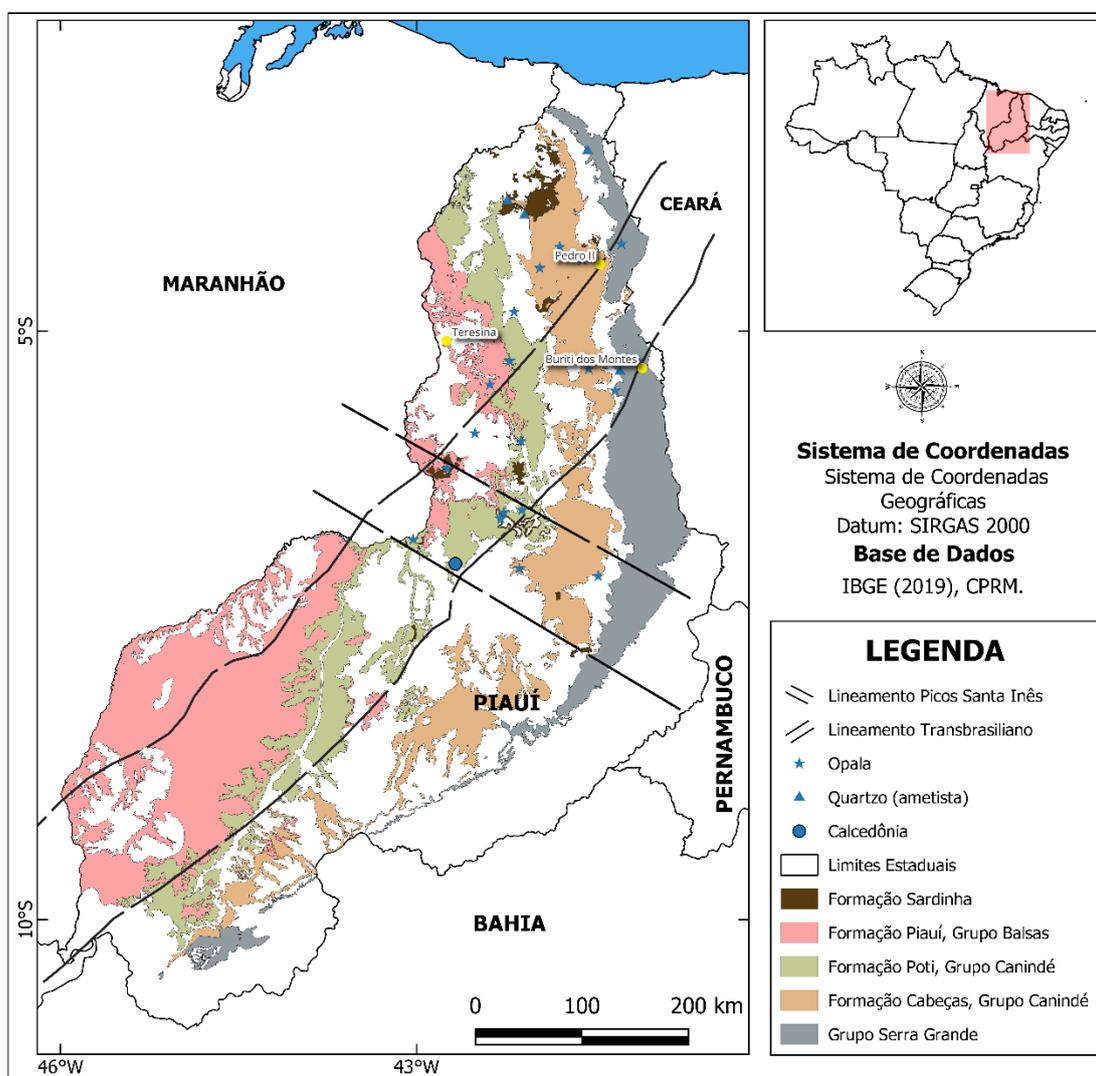


Fonte: Modificado de Gomes (1990) e Castro *et al.* (2016).

2.2 A Opala no Estado do Piauí

No estado do Piauí, o contexto geológico das diversas ocorrências primárias de opalas é marcado pela associação litológica arenito-diabásio, representada pelos arenitos do Grupo Serra Grande ou das Formações Cabeças ou Poti (Figura 03). E a presença das rochas intrusivas, as soleiras de diabásios, na base destas rochas sedimentares, integrante da Formação Mosquito. Estes arenitos formam os aquíferos homônimos, constituindo-se numa importante reserva de água subterrânea. Um cenário perfeito para a instalação e o desenvolvimento de um ambiente hidrotermal, com a região mineralizada com opala sob os domínios do Lineamento Transbrasiliiano.

Figura 03 – Mapa geológico contendo as unidades geológicas formadas pelos arenitos, diabásios e a localização das principais ocorrências de opalas, ametistas e calcedônia



Fonte: Modificado de Gomes (1990), Gomes (2002); Castro et al. (2016).

Até o presente, já foram identificadas ocorrências de opalas nos municípios de Alto Longá, Angical, Beneditinos, Barra d'Alcântara, Buriti dos Montes, Campo Maior, Capitão

de Campos, Castelo, Domingos Mourão, Floriano, Lagoa de São Francisco, Oeiras, Pedro II, Picos, Piripiri, São Félix do Piauí, São Miguel dos Tapuios, Tanque e Várzea Grande, sendo as mais importantes aquelas localizadas em Pedro II e Buriti dos Montes.

Assim como as opalas, neste ambiente hidrotermal também são encontradas com frequência no território piauiense, quartzo (hialino, ametista, citrino, esfumado, morion e leitoso), sendo mais conhecidas as ametistas dos municípios de Batalha, Esperantina, Cocal e Castelo do Piauí, além de calcedônia, como a jazida da Fazenda Calçadinha, em Nazaré do Piauí (Oliveira, 1988; Carvalho et al., 2010; Costa et al., 2016; Queiroz et al., (2019).

Os diversos estudos realizados com calcedônias, quartzos e opalas apontam para esta última, duas hipóteses que têm dividido as opiniões dos pesquisadores a respeito da gênese da opala de Pedro II: uma associada a processos intempéricos e outra, relacionada aos processos hidrotermais.

2.3 A Origem da Opala do Piauí

Quanto à origem das opalas, para Oliveira *et al.*, (1979) e Vidal *et al.*, (2018), o diabásio teria funcionado como *trap* impermeável para as águas subterrâneas, promovendo a dissolução da sílica do arenito e do próprio diabásio. A precipitação da opala seria controlada pelas oscilações climáticas. Rosa (1988), justificou a concentração de opalas nobres como resultante de uma grande circulação de água saturada em sílica, em função de mudanças climáticas associadas à fase de peneplanização correspondente ao Ciclo de Erosão Velhas.

Nem & Urbano Filho (1974) postularam que as opalas seriam resultantes da precipitação das soluções finais do diabásio. Martins Jr. (1983) associa as opalas com as soluções finais resultantes dos diabásios e às temperaturas elevadas em ambiente altamente confinado, gerando assim as condições necessárias para mobilizar a sílica das rochas adjacentes, principalmente do arenito. Oliveira & Soares Filho (1983) afirmam que as opalas têm sua origem correlacionada às soluções silicosas emanadas das intrusões básicas. Gomes (1990) e Gomes & Costa (1992; 1994; 2001a, 2001b, 2007), Gomes (2002), Marques *et al.*, (2013) e Sachs *et al.*, (2015) sustentam que a gênese da opala na região de Pedro II, está associada a um ambiente hidrotermal relacionado à intrusão dos diabásios nas rochas siliciclásticas da Formação Cabeças. Estas rochas, sob ação termal do diabásio, teriam tido seus silicatos desestabilizados, liberando a sílica que formou a opala.

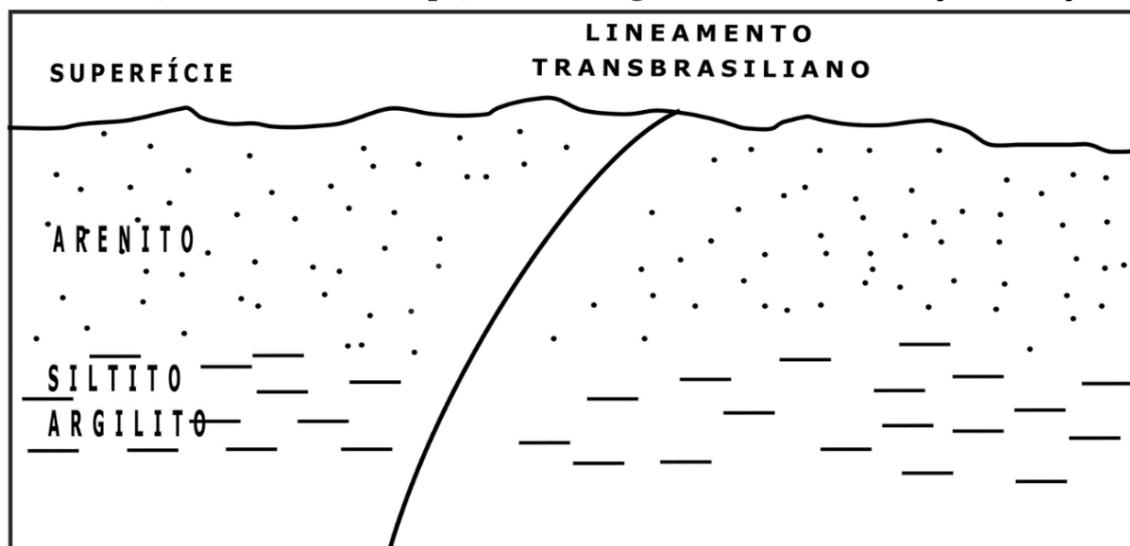
2.4 O Arenito da Formação Cabeças

Esta unidade foi provavelmente uma sequência favorável para formação de soluções hidrotermais, posto que até hoje o seja. O aquífero Cabeças constitui-se num dos principais aquíferos da Bacia Sedimentar do Parnaíba - juntamente com o aquífero Serra Grande e o aquífero Poti-Piauí - tendo boas porosidade e permeabilidade, os quais oscilam em função da maior proximidade com o “sill” básico, quando são até maciços, podendo atingir, na região de Pedro II, uma espessura silicificada de até 20m (Martins Jr., 1983).

Estes arenitos afloram uma faixa contínua na borda Leste da Bacia Sedimentar do Parnaíba e, em menor extensão à Sudoeste da referida bacia sedimentar (Figura 03).

O arenito Cabeças é constituído fundamentalmente de quartzo, com granulação variando de fina a grossa, em tonalidades creme e esbranquiçada. Este, grada para níveis e/ou lentes de siltitos, de cores variegadas e argilitos vermelhos, na base, também quartzosos. Esta composição é assim, favorável a uma ambiência rica em sílica (Figura 04).

Figura 04 – Representação esquemática das rochas sedimentares encontradas em Pedro II, com arenitos no topo, siltitos e argilitos na base (Formação Cabeças).



Fonte: Modificado de Gomes (1990)

2.5 A Intrusão do Magma Básico

As rochas básicas (diabásio) que ocorrem na região de Pedro II, estão inseridas no evento magmático de caráter intrusivo, com amplitude regional (Figura 02). Este evento é relacionado aos efeitos da separação das Placas Sul-Americana e Africana, que teria reativado o Lineamento Transbrasiliiano, regionalmente denominado Sobral-Pedro II,

através do qual, ascendeu o magma de composição basáltica. O referido magma veio alojar-se, preferencialmente, na zona de fraqueza existente entre as fácies pelítica e psamítica do Grupo Canindé, na forma de “sills” e diques, por toda a Bacia Sedimentar do Parnaíba. Na região de Pedro II, alojou-se na base do arenito da Formação Cabeças.

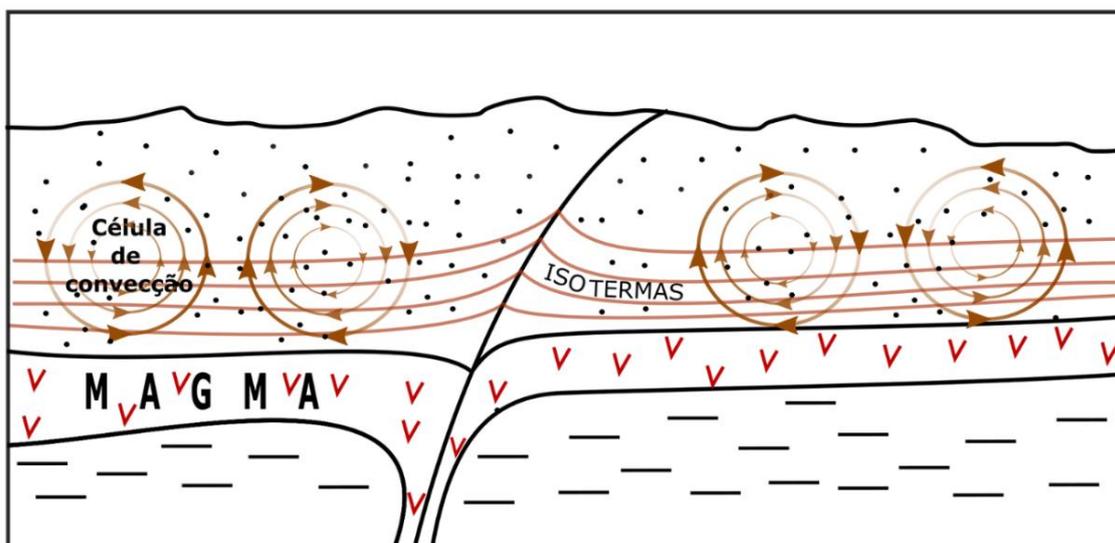
2.6 Os Efeitos da Intrusão do Magma Básico no Arenito

Na referida bacia sedimentar, no âmbito da Formação Cabeças é frequente a ocorrência de arenitos metamorfisado pelo efeito termal, nas proximidades do contato com o diabásio intrusivo (PETROBRÁS, 1963). O desenvolvimento de uma auréola de metamorfismo termal, com recristalização da rocha encaixante, é uma consequência da intrusão de magmas em níveis crustais superiores, onde as rochas encaixantes são mais frias.

A intrusão, a qual desenvolve uma anomalia termal, pode aquecer os fluidos existentes na rocha encaixante e/ou transferir fluidos para as mesmas, em suas proximidades, podendo a temperatura alcançar centenas de graus Celsius. A anomalia térmica, então, se dispersa por transmissão de calor, via condução e, principalmente, pelas células de convecção de fluidos – o processo dominante – e meio saturado com fluidos.

Na região de Pedro II, o “emplacement” do “sill” básico, ocorreu em níveis crustais superiores, tendo como consequência, o aquecimento dos fluidos existentes em suas proximidades, no arenito Cabeças. Isto, originou as células de convecção de fluidos, que podem ter atingido uma amplitude de até 20m, sugerida pela intensa silicificação do arenito. O efeito provocado pelo contraste termal, entre o corpo intrusivo e o arenito encaixante, bem mais frio, resultou na formação de uma zona de arrefecimento rápido, na porção mais externa do diabásio, a qual apresenta granulação mais fina que o interior do corpo (Figura 05).

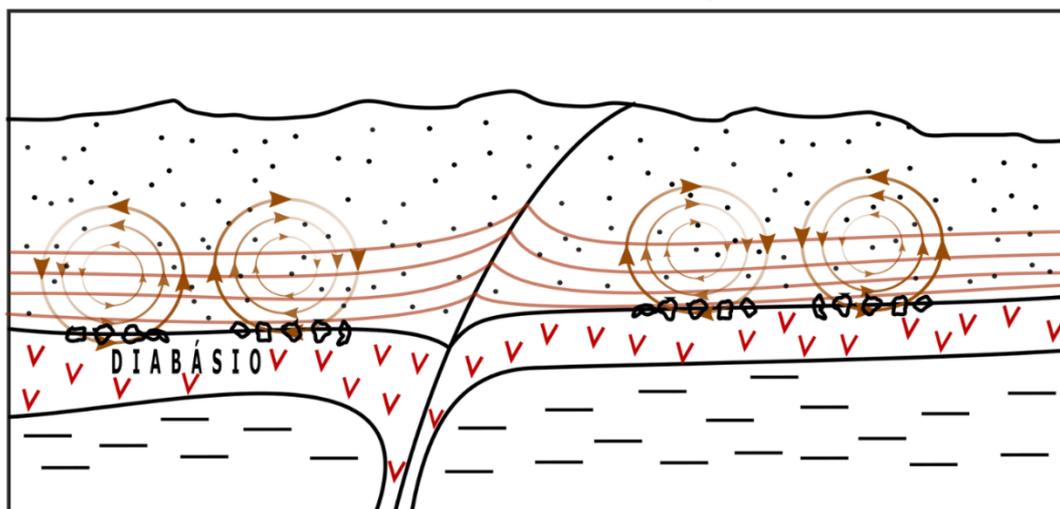
Figura 05 – Representação esquemática da intrusão do magma na base do arenito, aquecendo os fluidos existentes na rocha sedimentar. Observar o desenvolvimento de células de convecção de fluidos hidrotermais. As linhas paralelas ao topo da soleira do magma são as isotermas que dispersam o calor para a rocha hospedeira.



Fonte: Modificado de Gomes (1990)

A pressão do fluido convectivo (σ_1), atuando no contato do diabásio com o arenito, pode tornar-se igual a pressão confinante (σ_2), desenvolvendo um denso fraturamento hidráulico, sem direção predominante (brechiação) quebrando a rocha em fragmentos irregulares.

Figura 06 – Fraturamento hidráulico no contato das rochas sedimentares com a soleira de diabásio, intensificando a alteração hidrotermal.



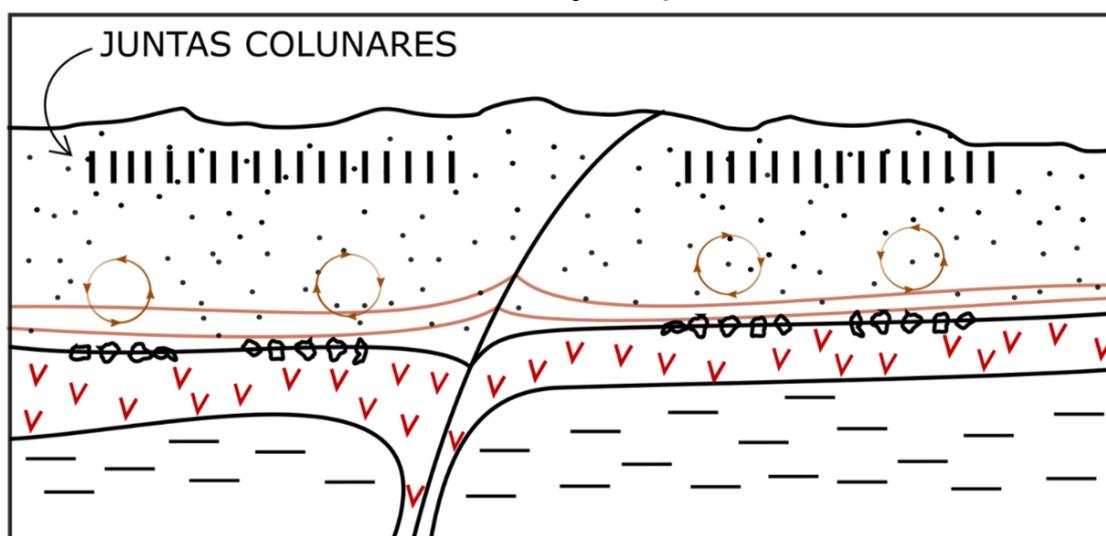
Fonte: Modificado de Gomes (1990)

Uma consequência direta desta brechiação é o aumento da permoporosidade do sistema, onde o diabásio é também alterado hidrotermalmente, e de forma ainda mais intensa, num determinado intervalo de tempo, em resposta ao maior fluxo convectivo, circulando através de toda a sequência. Isto proporcionou, num momento seguinte, ao crescimento da pressão de fluido convectivo, que interagindo nas litologias, as microfalhou

e fraturou, aumentando ainda mais a permoporosidade. Não pode ser desconsiderada a possibilidade de que parte destas fraturas e falhas, possam vir a estar relacionadas a um reativamento do Lineamento Transbrasiliano.

O resfriamento deste “sill” de diabásio, bem como do sistema hidrotermal como um todo, é acompanhado pelo fenômeno da contração das rochas, tendo como consequência deste processo, a formação de diáclases, no diabásio e no arenito. Estas, geralmente desenvolvem-se numa direção perpendicular ao plano de resfriamento resultando, no caso de corpos intrusivos tabulares, na formação de juntas colunares na rocha encaixante, o que é evidenciado nos arenitos de Pedro II (Figura 07).

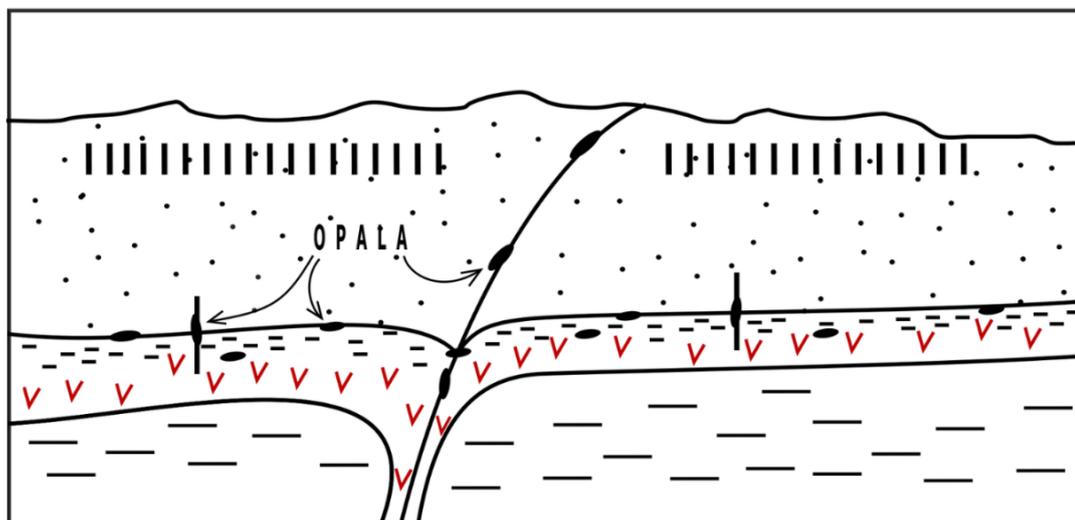
Figura 07 – Figura esquemático representado o processo de resfriamento do sistema hidrotermal e a formação de juntas colunares no arenito.



Fonte: Modificado de Gomes (1990)

Estes fatores proporcionam uma maior dispersão da anomalia termal, tendo associado, uma tendência à diminuição da razão de circulação dos fluidos, concomitantemente ao decréscimo da anomalia térmica. A sílica dissolvida no fluido, resulta da dissolução dos grãos de quartzo do arenito e da alteração hidrotermal da fácies mais externa da soleira de diabásio, onde desenvolve-se a assembléia de minerais: tremolita-actinolita, hornblenda, titanita, biotita, clorita, opacos; serpentina, carbonato, epidoto, sericita e albita (inclusive com a formação de albititos), esmectitas (nontronita) e caolinitas. Ocorre a formação dos nódulos de manganês e ferro, preenchendo fraturas. Na sequência, tem início a precipitação da opala, preenchendo os espaços abertos existentes no arenito, argilito e no próprio diabásio (Figura 08).

Figura 08 – Com o resfriamento do sistema hidrotermal, ocorreu a precipitação da opala nas fraturas do arenito relacionadas com o Lineamento Transbrasiliano; em fraturas no diabásio; entre as rochas sedimentares e o diabásio e; entre a fácies alterada do diabásio e a rocha sã.



Fonte: Modificado de Gomes (1990)

2.7 O Ambiente Hidrotermal

Os fluidos presentes neste processo hidrotermal, seriam oriundos da rocha encaixante (o arenito), mobilizados pela excitação térmica da intrusão ígnea; podendo ter-se, em menor escala, o fluido hidrotermal propriamente dito, relacionado ao estágio final de cristalização da rocha básica, o diabásio.

Associado ao processo de circulação de fluidos, ocorre uma irreversível interação química entre o fluido hidrotermal e os minerais constituintes das rochas. Evidências de campo e laboratório, indicam que o contato entre silicatos e soluções aquosas aquecidas, provocam reações químicas que levaram à formação de assembléias minerais típicos de ambiente hidrotermal. Refletem as novas condições de temperatura, pressão, composição química e mineralógica das rochas envolvidas, a composição química do fluido hidrotermal e, o tempo necessário para o equilíbrio.

As deduções das condições de Temperatura e Pressão dentro da crosta, atuantes neste processo hidrotermal, são baseadas nos dados de estabilidade da assembléia de minerais, resultantes da ação da solução aquecida, principalmente na mineralogia primária do diabásio. Essencialmente, ocorre: desestabilização da augita para tremolita-actinolita, hornblenda, titanita, alguma biotita e clorita, com exsudação de opacos; além da olivina para serpentina. Contemporaneamente, tem lugar a saussuritização do plagioclásio, com geração de

carbonato, epídoto, sericita e albita. Esta última, associada com a titanita, constituíram o albitito, vindo a alojar-se em fraturas; e a formação de calcedônia e quartzo, os quais podem ocorrer nos veios juntos com a opala.

Esta assembléia de minerais hidrotermais, por ser característica da fácies albita-epidoto “hornfels”, a mesma é aqui, utilizada como geotermômetro e geobarômetro. Em função destes parâmetros, acredita-se que a temperatura reinante durante este processo hidrotermal, seria da ordem de 300°C, com pressão em torno de 1 kbar.

3. Considerações Finais

Os dados relatados indicam que a opala encontrada no município de Pedro II tem uma origem hidrotermal, levando em consideração:

- ✓ o contexto geológico da mineralização, marcado pela associação entre a soleira de diabásio com os arenitos, sugere que o “emplacement” destes corpos básicos, através das fissuras pré-existentes, tenha sido o fator controlador da distribuição destas gemas no estado do Piauí.
- ✓ a paragênese da mineralização, definida por: por tremolita-actinolita, serpentina, titanita, biotita, clorita, epídoto, serpentina, topázio, turmalina, carbonato, albita, hematita, óxidos de Mn, pirita, caulinita, nontronita, barita, quartzo, calcedônia, opala-A, opala-C e opala-CT;

Dados essenciais ao modelo genético proposto para as opalas de Pedro II (Gomes, 1990) e Buriti dos Montes (Gomes, 2002) foram apresentados por Marques *et al.*, (2013; 2015), baseados em características físico-químicas das inclusões fluidas reveladas na microtermometria, assembléia mineralógica associada à opala, assinatura geoquímica das opalas, morfologia e mineralogia de suas inclusões sólidas, comprovando a gênese das opalas piauienses no ambiente hidrotermal.

A atividade termal resultante das manifestações subvulcânicas básicas em contato com os sedimentos arenosos paleozóicos da Bacia Sedimentar do Parnaíba, ativou o ambiente hidrotermal especial para formação de opalas, tendo distribuição regional. As ocorrências de quartzo (hialino, ametista, citrino, fumê, orion e leitoso), muito comuns em toda a região centro e norte do estado do Piauí, assim como as calcedônias, também são resultantes desta ambiência rica em sílica.

Referências bibliográficas

ALMEIDA, F.F.M. de; CARNEIRO, C.D.R.; MACHADO JR, D. de L.; DEHIRA, L. K. Magmatismo pós-Paleozóico no nordeste oriental do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 451- 462, 1988.

CALDASSO, A. L. S.; HAMA, M. **Posicionamento estratigráfico das rochas básicas da Bacia do Parnaíba**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. Anais... Recife: SBG-Núcleo NE. v. 2. p. 567-578, 1978.

CARVALHO, L.M., BATISTA, I.H., FREITAS, L.C. B., CUNHA, F.L.B. 2010. Recursos Minerais. In: PFALTZGRAFF, P.A.S. (ed.). **Geodiversidade do estado do Piauí**. Recife, CPRM, p. 25-36

CASTRO, D.L. de, BEZERRA, F. H., FUCK, R. A., VIDOTTI, R. M. Geophysical evidence of pre-sag rifting and post-rifting fault reactivation in the Parnaíba basin, Brazil. **Solid Earth**, 7, 529–548, 2016.

CASTELO BRANCO, R.M.G. & PEDROSA JUNIOR, N. C. **Magmatismo Kimberlítico e suas Relações com o Lineamento Transbrasiliano: considerações geofísicas baseadas em dados aeromagnetométricos**. (Laboratório de Geofísica, Universidade Federal do Ceará). Thirteenth International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 2013.

CORDANI, U., PIMENTEL, M., GANADE, C. & FUCK, R. The Significance of the Transbrasiliano-Kandi corridor for the amalgamation of Western Gondwana. **Brazilian Journal of Geology**, 43(3): 583–597, 2013.

GADEA, M. Lineamiento Transbrasiliano en Paraguay. **Bol. Mus. Nac. Hist. Nat. Parag.** Vol. 25, nº 1 (Jun. 2021): 10 0-100 1680-4031/2021 Museo Nacional de Historia Natural del Paraguay. Publicado online: 14.vi.2021 50–62, 2021.

GOÉS, A. M. de O.; SOUZA, J. M. P. de; TEIXEIRA, L. B.– Estágio Exploratório e Perspectivas Petrolíferas da Bacia do Parnaíba. **Bol. Geociência**, PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 4 (1): 55 -64, 1990.

GÓES, A. M. de O.; TRAVASSOS, W. A. S.; NUNES, K. C. **Projeto Parnaíba - Reavaliação da Bacia e Perspectivas Exploratórias**. Belém: PETROBRÁS/DENOR, 1993.

GÓES, A. M. O; TRAVASSOS, W. A.; NUNES, K. C. **Projeto Parnaíba: reavaliação da bacia e perspectivas exploratórias**. Belém: Petrobrás, 1992. Relatório interno.

A GÊNESE HIDROTHERMAL DA OPALA NO ESTADO DO PIAUÍ

GOMES, E. R. **Contribuição à Mineralogia, Geoquímica e Gênese das Opalas de Pedro II, Piauí.** 1990. 94 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) Departamento de Geoquímica e Petrologia / Centro de Geociências/ UFPA, Belém, 1990.

GOMES, E. R. **Mineralogia e Gemologia da Opala Laranja de Buriti dos Montes (Piauí, Brasil).** Belém: Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 89p. (Dissertação de Mestrado), 2002.

GOMES, E. R. & COSTA, M. L. da. 1992. **Contribuição à Gênese das Opalas de Pedro II (Piauí).** In: CONG. BRAS. GEOL., 37., São Paulo. *Anais ...* São Paulo, SBG. v.2, p.116., 1992.

GOMES, E. R. & COSTA, M. L. da. **Contribuição à gênese das opalas de Pedro II (Piauí).** Revista da Sociedade Brasileira de Geoquímica, Belém, v. 8, n. 1, p. 79-98, 1994.

GOMES E.R. & COSTA M.L. **Inclusões sólidas na opala laranja de Buriti dos Montes, Piauí.** Anais do Simpósio de Geologia do Nordeste, 19: 214, 2001a.

GOMES E.R. & COSTA M.L. **O Fogo do Piauí: uma Opala Laranja com 23.000 ct.** Anais do Simpósio de Geologia do Nordeste, 19: 215, 2001b.

GOMES E.R. & COSTA M.L. **Opalas do Piauí, Pedro II – Buriti dos Montes (Parte II).** Diamond News, 8: 54-59, 2007.

GONZAGA, G.M., TOMPKINS, L. A. **Geologia do Diamante.** In: Schobbenhaus, C., Queiroz, E.T., Coelho, C.E.S (coords.), Principais Depósitos Minerais do Brasil, DNPM/CPRM, Brasília, v. IV(A), p. 53-116, 1991.

JULIÃO, A. A Fratura Mãe. **Geologia.** FAPESP. São Paulo. Edição 236, pp:56-57, 2015.

MARQUES, G. T.; COSTA, M. L.; GOMES, E. R. **Modelo genético para as opalas do Piauí.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA, 3., 2013, Gramado. Boletim de resumos. Gramado1 CD-ROM, 2013.

MARQUES, G. T.; COSTA, M. L.; GOMES, E. R. Orange opals from Buriti dos Montes, Piauí: solid inclusions as genetic guides. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 68 (1), 053-059, jan. março, 2015.

MARTINS JR., F. L. **Aspectos genéticos das opalas preciosas de Pedro II, Piauí, Brasil.** Fortaleza, MBL - Mineração Brasileira Ltda, 10 p. (Relatório Interno), 1983.

NEN, L. H. B. de S. & URBANO FILHO, C. – 1974 – **A Opala Brasileira no Piauí**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. Resumos... Porto Alegre, SBG, Bol. N°1, p. 593 – 595.

OLIVEIRA, J.C. (ed.). **Recursos Gemológicos dos Estados do Piauí e Maranhão**. Teresina, CPRM, 36 p. (Informe de Recursos Minerais. Série Pedras Preciosas, n° 04), 1998.

OLIVEIRA J.C., CARDOSO C.E.T., QUINHO J.S., AMORIM H.J. **Projeto Opala em Pedro II (Relatório Final)**. DNPM/CPRM, Recife, 1979.

PETROBRÁS. **Perfis Compostos dos Poços Perfurados na Bacia Sedimentar do Parnaíba**. (Relatório Interno), Belém. DENOR/PETROBRÁS, 1963.

QUEIROZ, A.F. dos S., COSTA, M. L. da, GOMES, E.R. **Ocorrências de Quartzo Leitoso e Esfumaçado na Região de Batalha, Estado do Piauí, Brasil**. BOMGEAM. Ano 6 (1), 2019.

ROSA, D. B. **Les gisements d'opales nobles de la region de Pedro II dans l'état de Piauí, region nord-est du Brésil**. 230 p. Tese (Doutorado)– Universidade de Nancy, Nancy, 1988.

SACHS, L.L.B., BATISTA, I.H., BRAGA, I.F., AMARAL, E.S. **Projeto avaliação dos depósitos de opalas de Pedro II: estado do Piauí** /– Teresina: CPRM, 88 p.: il.; 30 cm. – (Informe de Recursos Minerais. Série pedras preciosas), 2015.

SANTOS, R.I.D., CASTRO, D.L. de; BEZERRA, F.H.R., VIDOTTI, R.M., FUCK, R. A., DANTAS, E.L., LIMA, T.P.C. de. **Influência do Lineamento Transbrasiliano na formação do arcabouço estrutural da Bacia Parnaíba**. 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

SCHOBHENHAUS FILHO, C., CAMPOS, D.A., DERZE, G.R., ASMUS, H.E. (coords.) **Texto Explicativo. Folha Goiás SD.22**. In: Schobbenhaus Filho, C. (coord.) Carta Geológica do Brasil Milionésimo. Brasília, DNPM, 1975.

FERREIRA, L., VIDOTTI, R.M.; ABREU, C.J.de; MAROTTA, G.S.; DANTAS, E.L. Água Bonita pull apart basin and its relationship to Transbrasiliano Lineament. **Journal of South American Earth Sciences**. Volume 89, Pages 63-75, January 2019.

THOMAZ FILHO, A., MIZUSAKI, A.M.P., ANTONIOLI, L. Magmatismo nas bacias sedimentares brasileiras e sua influência na geologia do petróleo. **Revista Brasileira de Geociências**. 38(2 - suplemento): 128-137, junho de 2008

VAZ, P.T., REZENDE, N.das G. de A. da, WANDERLEY FILHO, J.R., TRAVASSOS, W.A.S. Bacia do Parnaíba. **Bol. Geociências**, Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, maio/nov. 2007

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p.89 – 106, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748. DOI:10.29327/261865.3.3-6

A GÊNESE HIDROTÉRMICA DA OPALA NO ESTADO DO PIAUÍ

VIDAL, F.W.H., MORAIS, M. G.N. de O., FREIRE, L.C., SANTOS, C.A.M. **As opalas de Pedro II no Piauí e o arranjo produtivo local**. CETEM/MCTI, Rio de Janeiro. 53p., 2018. (Série Rochas e Minerais Industriais, 23).
