Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>

A aplicação de imagens LANDSAT e magnetometria como suporte a estudos geocronológicos dos terrenos Paleo e Mesoproterozóicos do SW do craton Amazônico

Armando Dias Tavares Jr.¹ Mauro Cesar Geraldês¹, Neivaldo Castro², Miguel Angelo Mane¹, Marcelo dos Santos Salomão¹, Ciro Appi¹, Anderson da Costa Santos¹ 1. Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Brazil (geraldes@uerj.br; miguelmane@yahoo.com; salomao.mss@gmail.com; tavares@uerj.br; andcostasantos@gmail.com) 2. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Brazil (neivaldoac@hotmail.com) 3. Universidade Castelo Branco (paulamaria@castelobranco.br; aprado.patricia@gmail.com;

Artigo recebido em 22/07/2019 e aceito em 01/03/2020

RESUMO

Composições temáticas obtidas de imagens de satélite LANDSAT e magnetometria foram utilizadas para dar suporte aos trabalhos de geocronologia (termocronologia) e paleomagnetismo (paleogeografia) na região SW do craton Amazônico. A elaboração de imagens temáticas com caracterização de zonas homólogas permitiu a correlação destas áreas com terrenos com evolução geológica previamente caracterizados pelos métodos U-Pb e Sm-Nd. A delimitação dos terrenos permitiu o planejamento de coleta de amostras de forma selecionada entre áreas centrais e limítrofes dos terrenos. Desta forma os estudos termocronológicos permitem a identificação das idades de resfriamento e de colisão entre estes terrenos. Em adição a identificação de estruturas geradas pelas rochas intrusivas em sedimentos do Grupo Aguapeí permitiu a localização de pontos de amostragem de rochas máficas de idade conveniente para estudos paleogeográficos sobre craton amazônico ao final do Mesoproterozóico (D'Agrella et al., 2008, 2012; Elming et al., 2009). As imagens LANDSAT multi-bandas juntamente com os produtos magnetométricos se mostraram uma útil ferramenta na pesquisa geológica em regiões de difícil acesso e de extensa cobertura vegetal como é o craton Amazônico. Neste sentido a elaboração de imagens na escala 1:50.000 se mostrou adequada com a resolução (pixel) de 30 metros as quais podem ser utilizadas como suporte aos trabalhos geológicos de detalhe como no presente trabalho onde inexistem cartografia geológica básica.

Palavras-chave: Imagens de satélites, interpretação de imagens, geocronologia, magnetometria

The application of LANDSAT images and magnetometry as support for geochronological studies of paleo and mesoproterozoic terrains of the SW of the Amazonian craton

ABSTRACT

Thematic compositions obtained from LANDSAT satellite images were used together magnetometric survey to support the geochronology and paleogeography in the SW region of the Amazon craton. The elaboration of thematic images with characterization of homologous zones allowed the correlation of these areas with terranes with geological evolution previously characterized by U-Pb and Sm-Nd methods.

The delimitation of the terranes allowed the planning of sampling of selected form between central and bordering areas of the lands. In this way the thermochronological studies allow the identification of the ages of cooling and collision between these lands. In addition, the identification of structures generated by intrusive rocks in sediments of the Aguapeí Group allowed the location of sampling points of age - appropriate mafic rocks for paleogeographic studies on Amazon craton at the end of Mesoproterozoic.

The multi-band LANDSAT images combined with magnetometry proved to be a useful tool in geological research in regions with difficult access and extensive vegetation coverage such as the Amazon craton. In this sense, the elaboration of images in the scale 1: 50,000 was adequate with the resolution (pixel) of 30 meters which can be used as support basic geological mapping as reported in this work.

Keywords: Satellite images, image interpretation, geochronology, magnetometry

Introdução

A aplicação de imagens de satélite tem se mostrado uma importante ferramenta no suporte de estudos geológicos em áreas ínvias como a região amazônica. O uso destas imagens apresenta vantagens pela possibilidade de se obter informações periódicas de uma mesma área e pela possibilidade de se obter produtos diferentes através da aplicação de técnicas de tratamento como filtros e combinações de bandas. Em adição, o georreferenciamento destas imagens, acompanhado do uso de GPS, permite uma alta precisão nos produtos cartográficos obtidos através dos trabalhos de campo.

A inexistência de cartografia geológica básica em escala de detalhe em vastas regiões da Amazônia representa uma limitação na aplicação de técnicas analíticas de ponta como a geocronologia. No presente estudo uma imagem de satélite LANDSAT 7 (cena inteira) foi utilizada para a delimitação de terrenos Paleo e Mesoproterozóicos (Geraldês et al., 2000; Geraldês et al., 2001) caracterizados isotopicamente em estudos anteriores, com o objetivo de planejamento de futuros trabalhos incluindo programas de análises isotópicas do método Ar-Ar bem como para localização de diques máficos para estudos paleomagnéticos.

Material e métodos

A área de estudo compreende a região SW do craton amazônico (Figura 1), no Estado de Mato Grosso. Nesta região foram definidos terrenos acrescionários de idades Paleo e Mesoproterozóicas interpretadas como extensões das Províncias Rio Negro/Juruena e Rondoniano. Desta forma trabalhos anteriores com aplicação dos métodos U-Pb e Sm-Nd permitiram a identificação quatro terrenos com histórias geológicas distintas descritos a seguir.

Terreno Alto Jauru. Compreende dois agrupamentos de rochas, sendo o primeiro constituído por litotipos do orógeno Alto Jauru e orógeno Cachoeirinha. O orógeno Alto Jauru (Quadro 1) compreende uma sequência tipo greenstone belt constituída de três faixas de trend N-NW/S-SE (Monteiro et al., 1986; Leite et al., 1986; Ruiz, 1992; Pinho e Fyfe, 1994; e Pinho et al., 1997). Denominadas de leste para oeste de Cabaçal, Araputanga e Jauru, estas três faixas reúnem rochas ultrabásicas, lavas ácidas a intermediárias, rochas básicas com estruturas almofadadas e tufáceas, rochas vulcanoclásticas, e sedimentos químicos e clásticos intercalados metamorfisados na facies xisto-verde. Geraldês (2000) reportou idades U-Pb para rochas vulcânicas e intrusivas da faixa Cabaçal entre

1790 Ma a 1740 Ma, concordantemente com idades SHRIMP em zircões entre 1790 Ma a 1520 Ma, apresentadas por Pinho (1994) e Teixeira et al., (2011). Nestes últimos trabalhos são propostos arcos insulares para a geração das rochas do greenstone belt Alto Jauru.

Na região de Jauru ocorrem plútons intrusivos no greenstone belt (Saes et al., 1984; Carneiro et al., 1992; e Ruiz 1992). Trata-se de vários corpos graníticos, subordinadamente granodioríticos e tonalíticos, alongados, representantes do orógeno Cachoeirinha (Quadro 1). As idades U-Pb em zircão desta unidade situam-se entre 1,58-1,52 Ga (Geraldês et al. 2001; Ruiz et al., submetido) ao passo que as evidências isotópicas de Nd apontam para um ambiente de arco magmático possivelmente desenvolvido na margem continental representada pelas rochas paleoproterozóicas do orógeno Alto Jauru (Geraldês et al., 2000; Tassinari et al., 2000). Em adição ocorrem ainda neste terreno rochas intrusivas da suite bimodal Rio Branco, constituídas dos gabros e granitos rapakivíticos, de idade U-Pb entre 1470 Ma e 1424 Ma e interpretada como de origema anorogênica (Geraldês et al., 2001; Geraldês et al., 2004a).

Terreno Santa Helena. Este terreno compreende as rocha da Suíte Santa Helena composta por rochas granodioríticas e graníticas. Trata-se de um corpo batolítico com assinatura calcioalcalina gerado entre 1,45-1,42 Ga. Suas evidências isotópicas Sm-Nd (T_{DM} de 1,62 Ga) a 1,70 Ga e valores de $\epsilon_{Nd(t)}$ entre 3.1 e 2.5) indicam origem manto-derivada para as rochas mais primitivas e uma significativa contribuição crustal na formação das rochas graníticas (Van Schmus et al., 1998; Geraldês et al., 2000; Ruiz et al., 2004).

Terreno Rio Alegre. Adjacente à Suíte Santa Helena, o orógeno Rio Alegre tem seu limite leste dado pela zona de cisalhamento gerada durante o Evento Sunsás-Aguapeí (ca. 1000 Ma). Anomalias geofísicas desta zona reportadas por Menezes et al., (1993), sugerem tratar-se de uma zona de sutura reativada, representando o depocentro da bacia Aguapeí (Menezes et al., 1993; Matos et al., 2003; Matos et al., 2019 e Saes, 1999). O orógeno Rio Alegre é composto por rochas magmáticas (basaltos toleíticos, pillows, piroxenitos) e sedimentares (BIF's e cherts) (Matos, 1994) geradas em assoalho oceânico, intrudidas por rochas calcioalcalinas (tonalitos e granitos). As rochas vulcânicas apresentam idades U-Pb em zircão entre 1,51-1,50 Ga e as rochas intrusivas entre 1,48-1,46 Ga, todas com assinaturas isotópicas (Sm/Nd) características de rochas manto-derivadas, (Geraldês, 2000; Tassinari et al., 2000).

Figura 1. Localização da área estudada no SW do cratão amazônico. A área demarcada no centro da Figura corresponde a imagem LANDSAT 7 (cena inteira) da Figura 2.

Terreno Parágua. As rochas reportadas neste terreno compreendem tonalitos, granodioritos, granitos e gnaisses (Pinho 1994; Geraldles et al., 2002). Estas rochas não apresentam limites geocronológicos precisamente definidos de forma a indicarem uma história geológica policíclica. Os resultados analíticos U-Pb em zircões indicam idades variando entre 1423 ± 23 Ma e 1310 ± 34 Ma e T_{DM} de 1,69 Ga a 1,52 Ga (Geraldles et al., 2004b). Os valores de $\epsilon_{Nd(t)}$ de 3,6 a 0 indicam uma origem mantélica para estas rochas. O grupo de rochas observado neste Terreno tem similaridades com as associações litológicas descritas na Bolívia. Os resultados do estudo U-Pb realizado em zircões e Sm-Nd destas amostras permitem definir uma história geológica coerente e de continuidade entre os dois terrenos, descritos até o momento separadamente. Desta forma as rochas deste terreno podem representar uma extensão das rochas do Bloco Parágua descrito na Bolívia (Litherland et al., 1986), e o período de tempo entre 1423-1379 Ma pode representar o desenvolvimento do arco magmático San Ignácio e a idade 1310 ± 34 Ma pode indicar o metamorfismo regional e a

colisão entre o Bloco Parágua e o cratão Amazônico, definindo uma história geológica comum entre os dois terrenos, até agora definidos separadamente.

Coberturas cratônicas. A região SW do Cratão Amazônico passou por um processo de estabilização durante o final do Mesoproterozóico que proporcionou a deposição de espessos pacotes de rochas sedimentares do Grupo Aguapeí (Figueiredo et al., 1974; Souza e Hildret, 1980; Saes et al., 1984; e Menezes et al., 1993). O evento mais jovem na região compreende o cavalgamento Aguapeí, responsável pela milonitização e dobramento das rochas sedimentares do Grupo Aguapeí, deformação esta identificada por análises K/Ar no período de tempo entre 970-840 Ma (Geraldles et al., 1997; Tohver et al., 2006; Teixeira et al., 2010). Por fim intrusões graníticas do tipo S de idade U-Pb ca. 930 Ma representadas pelo granito São Domingos e Guapé podem indicar o processo de colapso do orógeno Sunsás-Aguapeí, confirmados por idades de zircões detríticos (Geraldles et al., 2014).

Quadro 1. Súmula das unidades geológicas do SW do Cráton Amazônico no Estado de Mato Grosso. As idades são U-Pb em zircão (método convencional) com exceção das idades da deformação do Grupo Aguapeí, obtidas pelo método K/Ar. dados de Geraldles et al., (2009).

Província Rio Negro/Juruena		Província Rondoniano/San Ignacio		Província Sunsas
Orógeno Alto Jauru	Orógeno Cachoeirinha	Orógeno Rio Alegre	Orógeno Santa Helena	Cavalcamento do Grupo Aguapeí
Tonalitos a granitos formados entre 1,79-1,75 Ga, gerados em arco magmático		Tonalitos e granitos formados entre 1,58-1,52 Ga, gerados em arco magmático		
		Basaltos, peridotitos BIF's e cherts gerados em crosta oceânica (~1,51 Ga)		
		Tonalitos, granodioritos, e granitos gerados em arco magmático (1,48-1,46 Ga)		
Magmatismo Intracontinental granitos e basaltos formados entre 1,47-1,43 Ga				Granodioritos a granitos formados entre 1,45-1,42 Ga, gerados em arco magmático
Deposição do Grupo Aguapeí	Deposição do Grupo Aguapeí	Deposição do Grupo Aguapeí	Deposição do Grupo Aguapeí	Deposição do Grupo Aguapeí
				Magmatismo anorogênico (~930 Ma)
				Deformação do Grupo Aguapeí (970-840 Ma)
Procedimentos analíticos				
Imagens de satélite				
As oito bandas da imagem LANDSAT 7 (cena 141) foram obtidas do INPE em formato digital <i>tiff</i> e georreferenciadas com 50 (cincoenta) pontos de controle. As bandas 1 a 7 apresentam resolução (pixel) de 30 metros e a banda 8 de 15 metros no terreno. Cada uma das bandas foi convertida através de leitura pelo software ER-MAPPER versão 5.3.		As imagens foram tratadas de forma a cancelar os pontos nulos no terreno e salvas em arquivos individuais em CD. A partir deste ponto iniciaram os procedimentos de combinações de bandas (em grupos de 3) e elaboração de imagens RGB.		
		As combinações de bandas com a elaboração de imagens RGB temáticas (TM) tiveram por objetivo a demarcação dos terrenos geológicos identificados em trabalhos de cartografia geológica anteriores e trabalhos		

geocronológicos como descrito no item Área de Trabalho. Em adição foram realizados procedimentos de filtragens e escolha de contrastes que permitiram a obtenção de imagens de alta resolução. Estes diferentes produtos foram utilizados para a caracterização de estilos de drenagem e de relevo que permitiram a definição de zonas homólogas coerentes com os Terrenos descritos anteriormente. Entre as tentativas de combinações de bandas (3 a 3) realizadas deu-se preferência à composição RGB 752 para a elaboração de imagens de áreas de interesse para procedimentos posteriores. A banda 8 é apresentada na Figura 2.

Aerogeofísica

Os mapas geofísicos foram elaborados a partir dos arquivos em formato XYZ disponibilizados pela CPRM e referentes ao projeto "Levantamento Aerogeofísico do Estado de Mato Grosso – Área 2/MT". As linhas de vôo N-S possuem espaçamento de 500m e as linhas de controle E-W com espaçamento de 10.000m. Os dados (magnetométricos) foram inseridos no software Geosoft e, em seguida, analisados, filtrados e processados para a produção do mapa da Amplitude do Sinal Analítico.

A Amplitude do Sinal Analítico (ASA) é um filtro de mapeamento de bordas de corpos e foi introduzido por Nabighian (1972) como uma ferramenta de estimativa de profundidade e de localização de fontes anômalas. Segundo Blakely (1996), o ASA resulta da combinação dos gradientes horizontal e vertical da anomalia magnetométrica e seus resultados dependem direção do campo magnético da Terra, da profundidade, da extensão e do ângulo de mergulho do corpo. As estruturas e os contatos geológicos são associados às descontinuidades físicas observadas no mapa magnetométrico da ASA.

Definição de áreas alvo

Os produtos na forma de imagens temáticas obtidos através das combinações das bandas e de contrastes foram utilizados para a elaboração de imagens em detalhe de regiões de interesse objetivando trabalhos de campo visando

coletas de amostras para estudos geocronológicos Ar-Ar e de estudos paleomagnéticos.

Os estudos de evolução crustal através do método Ar-Ar foi realizado com objetivo de se caracterizar a história termo-geológica da região. Desta forma foram a amostragem teve por objetivo a coleta de amostras no interior dos Terrenos descritos anteriormente (visando obter idades de resfriamento destes Terrenos) e, também, nas suas zonas limítrofes (visando obter idades de colisões destes Terrenos). Para se orientar esta amostragem duas imagens foram produzidas. A primeira compreende a região do vale do Rio Alegre na zona de contato entre os Terrenos Santa Helena, Rio Alegre e Parágua, conforme mostrado na Figura 1.

A primeira imagem em detalhe produzida foi uma TM 572 apresentada na Figura 3 em tons de cinza. Nesta área de detalhe foram coletadas três amostras no Terreno Parágua e duas amostras na zona de contato deste Terreno com o Terreno Rio Alegre. No interior do Terreno Rio Alegre três amostras foram coletadas e duas outras mostras foram coletadas na zona de contato com o Terreno Santa Helena. Neste último Terreno seis outras amostras foram coletadas. O mapa magnetométrico da Amplitude de Sinal Analítico referente a mesma área da imagem orbital do satélite Landsat7 permitem verificar as descontinuidades associadas aos contatos geológicos correspondente ao limite dos terrenos Paragua, Rio Alegre e Santa Helena. Como observado no Quadro 1, a evolução geológica de cada terreno ocorreu em diferentes idades e processos geológicos.

A segunda imagem em detalhe compreende a região a norte da cidade de Jauru, apresentada na Figura 5 em tons de cinza. Nesta área ocorrem rochas dos Terrenos Santa Helena e Alto Jauru. No primeiro Terreno foram coletadas três amostras e quatro outras na zona de limite com o Terreno Alto Jauru. Neste último Terreno foram coletadas seis outras amostras. O mapa magnetométrico da mesma área (Figura 6) mostra o limite entre os Terrenos Santa Helena e Jauru, além do limite da cobertura sedimentar cretácica correspondente a Formação Parecis.

Figura 2. Imagem LANDSAT 7 da área de estudo. Foi utilizada a banda 8, cujo pixel é de 15 metros.

A área alvo na região da cidade de Rio Branco, é apresentada na imagem de detalhe em tons de cinza apresentada na Figura 7. Nesta área as rochas sedimentares do Grupo Aguapeí são cortadas por diques e sills identificáveis nas imagens TM 572 produzidas e impressas na escala

1:50.000. A fotointerpretação destes diques (ver Figura 7) permitiu a definição de um enxame de diques intrudidos nos sedimentos do Grupo Aguapei, também observado no mapa magnetométrico apresentado an Figura 8.

Figura 3. Imagem de detalhe obtida na região do vale do Rio Alegre. As amostras foram coletadas no interior e nas zonas limítrofes dos Terrenos.

Figura 4. Mapa magnetométrico da Amplitude de Sinal Analítico, obtida na região do vale do Rio Alegre.

Figura 5. Imagem de detalhe obtida na região ao norte de Jauru. As amostras foram coletadas no interior e nas zonas limítrofes dos Terrenos.

Figura 6. Mapa magnetométrico da Amplitude de Sinal Analítico obtida na região ao norte de Jauru.

Figura 7. Imagem de detalhe obtida na região de Rio Branco. Os diques fotointerpretados e utilizados para estudos de paleomagnetismo (D'Agrella et al., 2008, 2012; Elming et al., 2009) foram lançados.

Figura 8. Mapa magnetométrico da Amplitude de Sinal Analítico obtida na região de Rio Branco.

Discussão e conclusões

O aprimoramento das técnicas de sensoriamento remoto nas últimas décadas tem provocado um aumento no número de aplicações

principalmente de imagens da superfície terrestre obtidas por satélites multicanais. As imagens LANDSAT têm sido as mais utilizadas na área de pesquisa geológica, como por exemplo em regiões

de difícil acesso e de extensa cobertura vegetal como é o craton amazônico.

Neste sentido a utilização de imagens multi-bandas na região SW do craton amazônico mostrou-se uma útil ferramenta na pesquisa geológica e nas suas sub-áreas. Neste sentido a elaboração de imagens na escala 1:50.000 se mostrou adequada com a resolução (pixel) de 30 metros e 15 metros nas oito bandas obtidas através do satélite LANDSAT 7.

Neste trabalho, foram integrados os mapas magnetométricos de Amplitude de Sinal Analítico, imagens orbitais do satélite Landsat7 e informações sobre unidades litológicas com o objetivo de verificar, nos dados aerogeofísicos, as descontinuidades que podem ser associadas aos contatos geológicos/geomorfológicos

Apesar dos produtos da cartografia geológica serem insubstituíveis e merecedores de investimentos institucionais, as imagens de satélite podem ser utilizadas como suporte aos trabalhos geológicos, quando informações sobre os terrenos focos de detalhamento estejam disponíveis. No presente trabalho, conhecimentos anteriores da área de estudo (Figura 1) no que diz respeito a seus principais constituintes litológicos, bem como informações geocronológicas complementares, permitiram a utilização de imagens de satélites no suporte ao planejamento e execução de investigações, visando a melhor compreensão da evolução geológica da área de estudo aqui reportada.

Desta forma, as imagens de satélite foram utilizadas para identificar terrenos com evolução geológica parcialmente conhecidos e assim, obter informações complementares para a melhor aproximação dos limites entre as províncias geológicas, distinguindo os terrenos com diferentes evoluções geológicas. A identificação e demarcação destes terrenos (Figura 2) foi realizada através do estudo de texturas em áreas através da análise de padrões de drenagens e alinhamento de relevo. Em complemento, os mapas magnetométricos permitiram identificar os grandes alinhamentos regionais. Estes procedimentos de análise dos produtos obtidos pelo tratamento de imagens de satélites foram realizados objetivamente para a delimitação dos terrenos geológicos a ser aplicado na região de estudo com foco na caracterização dos períodos

de colisão ou justaposição destes terrenos previamente identificados através da aplicação dos métodos U-Pb e Sm-Nd. Este procedimento resultou na delimitação dos seguintes Terrenos: Santa Helena, Rio Alegre, Parágua e Alto Jauru.

Por consequência a utilização das imagens em escala 1:50.000 permitiram o suporte aos trabalhos de pesquisa geocronológica por duas formas. A primeira foi através do planejamento e dimensionamento dos trabalhos de campo com antecedência, de forma a minimizar custos e tempo. A segunda utilização foi no sentido de possibilitar uma amostragem diferenciada do centro dos terrenos e de suas bordas. Este aspecto é crucial para a interpretação dados geocronológicos uma vez que possibilita a definição de idades de resfriamento (Fernandes et al., 2009) dos terrenos (amostras do centro) e de idades de colisão entre os terrenos (amostras de borda).

Concluindo, as vantagens da utilização de imagens de satélite LANDSAT com composições temáticas (TM bandas 572 por exemplo) em trabalhos de técnicas de ponta como geocronologia (termocronologia) e paleomagnetismo (paleogeografia) podem ser assim enumerados:

1) A elaboração de imagens temáticas com caracterização de zonas homólogas através de contrastes de texturas permitiu a correlação destas áreas com terrenos com evolução geológica previamente caracterizados pelos métodos U-Pb e Sm-Nd.

2) A delimitação dos terrenos permitiu o planejamento de coleta de amostras de forma selecionada entre áreas centrais e limítrofes dos terrenos. Desta forma os estudos geocronológicos permitem a identificação das idades de resfriamento e de colisão entre estes terrenos.

3) A identificação de estruturas entre os terrenos geradas em períodos diferentes permitiu a localização mais precisa dos terrenos do craton amazônico ao final do Mesoproterozóico.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FINEP (CT-Infra 2013). MCG recebeu bolsa CNPq-PQ (Processo 301470/2016-2) para realizar esta pesquisa.

Referências

Bettencourt, J.S., Tosdal, R. M. ; Leite, Jr. W. R. e Payolla, B.L., 1999, Mesoproterozoic rapakivi granites of Rondônia Tin Province, southwestern

border of Amazonian craton, Brazil-I. Reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. *Precambrian Research* 95:41-67.
Brueckner, H.K., Medaris, L.G., Bakun-Czubarow, N. (1991) Nd and Sr age and isotope patterns from

- Variscan eclogites of the eastern Bohemian Massif. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*. 163:169-196.
- Brueckner, H.K., Cunningham, D. Alkimi, F.F. and Marshak, S., 2000, Tectonic implications of Precambrian Sm/Nd dates from the southern São Francisco craton and adjacent Araçuaí and Ribeira belts, Brazil. *Precambrian Research*, 99:255-270.
- Carneiro, M.A.; Ulbrich, H.H.G.J. e Kawashita, K., 1992, Proterozoic crustal evolution at the southern margin of the Amazonian Craton in the State Mato Grosso, Brazil: evidence from Rb/Sr and K/Ar data. *Precambrian Research* 59: 263-282.
- Cliff, R.A, 1985, Isotopic dating in metamorphic belt. *Journal of the Geological Society*, 142:97-110.
- Cordani, U.G.; Tassinari, C.C.G.; Teixeira, W.; Basei, M.A.S.; e Kawashita, K., 1978, Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. Segundo Congresso Geológico Chileno. Arica, Chile. *Anais*. p.137-148.
- D'Agrella-Filho, Manoel S.; TOHVER, Eric; Santos, João O.S.; Elming, Sten- ke; Trindade, Ricardo I.F.; Pacca, Igor I.G.; Gerald, M. C., 2008, Direct dating of paleomagnetic results from Precambrian sediments in the Amazon craton: Evidence for Grenvillian emplacement of exotic crust in SE Appalachians of North America. *Earth and Planetary Science Letters* , v. 267, p. 188-199.
- D'Agrella-Filho, Manoel S. ; Trindade, Ricardo I.F. ; Elming, Sten- ke ; Teixeira, W.; Yokoyama, E.; Tohver, Eric; Gerald, M. C.; Pacca, I.G ; Barros, M. A. S.; Ruiz, A. S., 2012, The 1420Ma Indaiá Mafic Intrusion (SW Amazonian Craton): Paleomagnetic results and implications for the Columbia supercontinent. *Gondwana Research* , v. 22, p. 956-973.
- De Paolo, D.J., 1988, Neodymium Isotope Geochemistry. Springer-Verlag. Mineral and Rocks 20:181p.
- Elming, S.; D'Agrella-Filho, M. S.; Page, L. M.; Tohver, E.; Trindade, R. I. F.; Pacca, I. I. G.; Gerald, M. C.; Teixeira, W., 2009, A palaeomagnetic and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ study of late precambrian sills in the SW part of the Amazonian craton: Amazonia in the Rodinia reconstruction . *Geophysical Journal International* (Print), v. 178, p. 106-122.
- Fernandes, C. J. ; Kuyumjian, R. M; Pulz, G.M.; Gerald, M. C. ; Pinho, F. E. C., 2006, Geologia estrutural e idade Ar/Ar do depósito de ouro Pau-a-Pique, Faixa Móvel Aguapé, sudoeste do Estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 36, p. 3-15.
- Gerald, M. C. (1996). Estudos geoquímicos e isotópicos das mineralizações auríferas da região de Pontes e Lacerda, MT. Dissertação (Mestrado), UNICAMP, Campinas.
- Gerald, M. C., 2000, Geocronologia e Geoquímica do Plutonismo Mesoproterozóico do SW do Estado de Mato Grosso (SW do Cráton Amazônico). Tese (Doutorado), USP, São Paulo.
- Gerald, M.C., Figueiredo, B.R., Tassinari, C.C.G., and Ebert, H.D., 1997, Middle Proterozoic vein-hosted gold deposits in the Pontes e Lacerda region, southwestern Amazonian craton, Brazil. *International Geology Review* 39, 438-448.
- Gerald, M. C.; Teixeira, W.; Van Schmus, W. R., 2000, Isotopic and chemical evidence for three accretionary magmatic arcs (1.79-1.42 Ga) in the SW Amazonian Craton, Mato Grosso State, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 30, n.1, p. 99-101, 2000.
- Gerald, Mauro C ; Van Schmus, W. R. ; Condie, K. C. ; Bell, S. ; Teixeira, W.; Babinski, M., 2001, Proterozoic geologic evolution of the SW part of the Amazonian Craton in Mato Grosso state, Brazil. *Precambrian Research* , v. 111, p. 91-128, 2001.
- Gerald, M. C.; Teixeira, W.; Valladares, C., 2008, Contribuição ao estudo do magmatismo Paleo e Mesoproterozóico do SW do Cráton Amazônico através da aplicação de isótopos estáveis de O, H e S.. *Acta Amazonica* (Impresso), v. 38, p. 159-167, 2008.
- Gerald, M.C. ; Teixeira, W. ; Heilbron, M. C. P. L., 2004. Lithospheric versus asthenospheric source of the SW Amazonian craton A-types granites: the role of the Paleo and Mesoproterozoic accretionary belts for their coeval continental suites. *Episodes* , v. 27, p. 1-5,
- Gerald, M. C.; Bettencourt, J. S. ; Teixeira, W.; Matos, J. B., 2004, Geochemistry and isotopic constraints on the origin of the mesoproterozoic Rio Branco anorogenic plutonic suite, SW of Amazonian craton, Brazil: high heat flow and crustal extension behind the Santa Helena arc. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 17, p. 195-204,
- Gerald, M.C. ; Nogueira, C. C. ; Vargas-Matos G.L. ; Matos, R. ; Teixeira, Wilson; Valencia, V. ; Ruiz, J., 2014, U-Pb detrital zircon ages from the Aguapé Group (Brazil): Implications for the geological evolution of the SW border of the Amazonian Craton. *Precambrian Research*, v. 1, p. 1-26,
- Goodwin, L; Renne, P., 1991, Effects of progressive mylonitization on Ar retention in biotites from the Santa Rosa mylonite zone, California, and thermochronologic implications. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 108:283-297.
- Hanes, J.A., 1991, K-Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology: Methods and Applications. L. In:

- Heaman and J.N. Ludden (eds) Short Course Handbook on Applications of Radiogenic Isotope Systems to Problems in Geology. Mineralogical Association of Canada. p.27-58.
- Leite, J.A.D., 1989, Contexto geológico e geoquímica das lavas máficas da Sequência Vulcano-Sedimentar Quatro Meninas, Município de Indiavaí, MT. Porto Alegre. UFRGS. Dissertação de Mestrado. 82p.
- Leite, J.A.D.; SAES, G.S.; Ruiz, S., 1986, Anatomia e Interpretação das Lavas Basálticas subaquosas da Sequência Vulcano-Sedimentar Quatro Meninas, Araputanga, M.T. *In*: 34 Cong. Bras. de Geol.; Bol. de Res. e Brev. Com. p. 99.
- Litherland, M.; Annels, R.N.; Appleton, J.D.; Berrange, J.P.; Bloomfield, K.; Burton, C.C.J.; Darbyshire, D.P.F.; Fletcher, C.J.N.; Hawkins, M.P.; Klink, B.A.; Llanos, A.; Mitchell, W.I.; O'Connors, E.A.; Pitfield, P.E.J.; Power, G. e Werb, B. C., 1986, The Geology and Mineral Resources of the Bolivian Precambrian Shield. British geological Survey. Overseas Memoir 9. London, Her Majesty's Stationery Office. 140 p.
- Kligfield, R; Hunziker, J; Dall, R; Meyer., 1986, Dating of deformation phases using K-Ar and Ar/Ar techniques: results from the Northern Apennines. *Journal of Structural Geology*, 8(7):791-798.
- Matos, J.B., 1994, Contribuição à geologia da parte meridional do Cráton Amazônico: Região do Rio Alegre, M.T. Dissertação (Mestrado), São Paulo IG-USP.
- Matos, J.B. e Ruiz, A.S., 1991, Contribuição à geologia da Folha Santa Rita. Mato Grosso. *Anais do III Simp. de Geol. do Centro Oeste*. p. 122-130.
- Matos, J.B. e Schorscher J.H.D., 1997, Tendências geoquímicas da Sequência Vulcano-sedimentar do Rio Alegre-MT. *Anais do VI Simpósio de Geologia do Centro Oeste*. Cuiabá, Outubro de 1997. P.26-28.
- Matos, J. B.; Schorscher, J. H. D.; Geraldês, M. C. ; Souza, M. Z. A. ; Ruiz, A. S., 2004, Petrologia, geoquímica, e geocronologia das rochas do orógeno Rio Alegre, SW do craton Amazônico, Mato Grosso. *Revista de Geologia - USP, São Paulo*, v. 4, n.1, p. 75-90, 2004.
- Matos, R.; Teixeira, Wilson; Geraldês, M. C. ; Bettencourt, J. S., 2009, Geochemistry and Nd-Sr isotopic signatures of the Pensamiento Granitoid Complex, Rondonian-San Ignacio Province, eastern Precambrian shield of Bolivia: petrogenetic constraints for a Mesoproterozoic magmatic arc setting.. *Geologia USP. Série Científica*, v. 9, p. 89-117, 2009.
- Menezes, R. G. de; Lopes, I. e Bezerra, J.R.L., 1993, Folha Pontes e Lacerda 1:100.000. Carta Geológica e Texto Explicativo. Programa de Levantamentos Básicos. CPRM-DNPM. 176p.
- Monteiro, H.; Macedo, P.M. de; Silva, M.D. da; Moraes, A.A. de; Marchetto, C.M.L., 1986, O greenstone belt do Alto Jauru. *In*: 34 Congr. Bras. de Geol. Goiânia. vol. 2: p. 630-646.
- Pinho, M.A. de S.B., 1990, Geologia, Petrologia, e Geoquímica das Rochas Ocorrentes ao Longo do Rio Aguapeí- Sudoeste do Cráton Amazônico-Pontes e Lacerda-MT. Dissertação (Mestrado), UFRGS, Porto Alegre.
- Pinho, F.E.C., 1996, The origin of the Cabaçal Cu-Au deposit, Alto Jauru Greenstone Belt, Brazil. Doctoral Dissertation. The University of Western Ontario, London, Ontario, Canada. 211p.
- Pinho, F.E.C., Fyfe, W.S. e Pinho, M.A.S.B., 1997, Early Proterozoic evolution of the Alto Jauru greenstone belt, southern Amazonian craton, Brazil. *International Geology Review*, 39:220-229.
- Renne, P.R.; Mattinson, J.M.; Hatten, C.W.; Somin, M.; Onstott, T.C.; Milton, G. e Linares, E., 1989, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and U/Pb evidence for Late Proterozoic (Grenville age) continental crust in north-central Cuba and regional tectonic implications. *Precambrian Research* 42:325-341.
- Ruiz, A.S., 1992, Contribuição à Geologia do Distrito da Cachoeirinha, MT. São Paulo. IG-USP. Dissertação de Mestrado. 98p.
- Ruiz, A. S. ; Geraldês, M. C.; Matos, João B.; Teixeira, W.; Van Schumus, W. R.; Schmitt, R. S., 2004, The 1590-1520 Ma Cachoeirinha magmatic arc and its tectonic implications for the Mesoproterozoic SW Amazonian craton crustal evolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências (Impresso)*, v. 76, n.3, p. 807-824, 2004.
- Saes, G.S., 1999, Evolução Tectônica e Paleogeográfica do Aulacógeno Aguapeí (1.2-1.0 Ga) e dos Terrenos do seu Embasamento na Porção Sul do Cráton Amazônico. Doctoral Dissertation. USP. São Paulo. pp. 135.
- Saes, G.S.; Leite J.A.D. e Wesca, R.K., 1984, Geologia da Folha Jauru (SD-21-Y-C-III): Uma Síntese dos Conhecimentos. *In*: 33 Congr. Bras. de Geol. Rio de Janeiro. vol. 5: p.2193-2204.
- Tassinari, C.G., Bettencourt, J.S., Geraldês, M.C., Macambira, M.J.B., and Lafon, J.M., 2000, The Amazon craton. *In* Cordani, U., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., and Campos, D.A., eds., Tectonic evolution of South America, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, 41- 95.
- Teixeira, W.; Tassinari, C.C.G.; Cordani, U.G.; Kawashita, K., 1989, A Review of the Geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic Implications. *Precambrian Research* 42:213-227.

- Teixeira, W.; Geraldles, M. C. ; D Agrella-Filho, M. S. ; Santos, J.O.S. ; Sant'Ana Barros, M.A. ; Ruiz, A. S. ; Corrêa da Costa, P. C., 2011, Mesoproterozoic juvenile mafic ultramafic magmatism in the SW Amazonian Craton (Rio Negro-Juruena province): SHRIMP U Pb geochronology and Nd Sr constraints of the Figueira Branca Suite. *Journal of South American Earth Sciences* , v. 32, p. 309-323.
- Teixeira, W. ; Geraldles, M. C. ; Matos, R.; Ruiz, A. S. ; Saes, G. ; Vargas-Mattos, G., 2010, A review of the tectonic evolution of the Sunsás belt, SW Amazonian Craton. *Journal of South American Earth Sciences* , v. 29, p. 47-60,
- Tohver, E. ; Teixeira, W.; van der Pluijm, B. ; Geraldles, M. C. ; Bettencourt, J. S.; Rizzotto, G., 2006, Restored transect across the exhumed Grenville orogen of Laurentia and Amazonia, with implications for crustal architecture. *Geology* (Boulder, Colorado.), EUA, v. 34, n.8, p. 669.
- Van Schmus, W.R; Geraldles, M.C., Kozuch, M., Fetter, A.H., Tassinari, C.C.G. and Teixeira, W., 1998, U/Pb and Sm/Nd constraints on the age and origin of Proterozoic crust in southwestern Mato Grosso, Brazil: Evidence for a 1450 Ma magmatic arc in SW Amazonia. *International Symposium on Tectonics, Ouro Preto-MG, Brazil, Abstract Volume*, 121-125.
- Vasconcelos, P., Kawashita, K., Onoe, A.T., Soares, A.J. e Teixeira, W., 2001, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology at the Institute of Geosciences, USP (1): Instrumentation and analytical procedures. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*.
- West, D, Jr e Lux, D., 1993, Dating mylonitic deformation by the Ar/Ar method: An example from Norumbega Fault zone, Maine. *Earth and Planetary Science Letters* 120:221-237.