

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
Diretoria de Geologia e Recursos Minerais
Departamento de Recursos Minerais

**Análise Prospectiva para Elementos Terra
Raras Através da Modelagem
Geoestatística e Integração de Dados
Aeroradioelementos no Sudoeste de
Rondônia**

Autores:

Carlos Eduardo Santos de Oliveira
Edgar Romeo Herrera de Figueiredo Iza
Elias Martins Guerra Prado
Guilherme Ferreira da Silva
Anderson Alves de Souza

PORTO VELHO
2014



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
Diretoria de Geologia e Recursos Minerais
Departamento de Recursos Minerais

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
Edison Lobão
Ministro de Estado
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
Carlos Nogueira da Costa Junior
Secretário

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
Manoel Barretto da Rocha Neto
Diretor-Presidente
Roberto Ventura Santos
Diretor de Geologia e Recursos Minerais
Thales de Queiroz Sampaio
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial
Antônio Carlos Bacelar Nunes
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento
Eduardo Santa Helena
Diretor de Administração e Finanças
Francisco Valdir Silveira
Chefe do Departamento de Recursos Minerais

RESIDÊNCIA PORTO VELHO
Helena da Costa Bezerra
Chefe da Residência

Anderson Alves de Souza
Assistente de Produção de Geologia e Recursos Minerais

Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros
Assistente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Francisco de Assis dos Reis Barbosa
Assistente de Hidrologia e Gestão Territorial

Alex Santos Silva
Assistente de Administração e Finanças

Carlos Eduardo Santos de Oliveira
Edgar Romeo Herrera de Figueiredo Iza
Elias Martins Guerra Prado
Guilherme Ferreira da Silva
Anderson Alves de Souza

APRESENTAÇÃO

O presente relatório atende a solicitação do Projeto Terras Raras, coordenado pela Pesq. DSc. Lucy Takehara Chemale e é ambientado dentro do Departamento de Recursos Minerais da CPRM. O presente documento trata-se de um relatório contendo dados técnicos organizados para auxiliar o planejamento e tomada de decisões para o desenvolvimento de pesquisa mineral de Elementos Terras Raras (ETR) em Rondônia. Portanto, o objetivo geral deste trabalho é gerar informações prospectivas para indicação de áreas favoráveis à ocorrência de ETR no estado de Rondônia através da avaliação geoestatística, modelagem e integração de dados aerogamaespectrométricos.

O Serviço Geológico do Brasil (SGB / CPRM) no âmbito da Residência de Porto Velho possui uma equipe multidisciplinar capaz de desenvolver diversos projetos voltados para a pesquisa mineral por intermédio do conhecimento de integração de geotecnologias, o qual vem de encontro à linha de pesquisa implantada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia que também se aplica à área objeto de estudo.

1. INTRODUÇÃO

Diversos trabalhos executados desde a década de 1960 têm experimentado o desenvolvimento de técnicas e métodos de análise qualitativa e quantitativa utilizando dados aerogeofísicos para pesquisa mineral. Os trabalhos realizados em províncias minerais de outras regiões e a integração de diferentes tipos de dados (multifontes), têm se mostrado bastante práticos como ferramenta prospectiva na exploração mineral (Silva, 1999; Zacchi *et al.* 2010; Carrino *et al.*, 2011). Salles (2010) com o objetivo de prospecção uranífera emprega a técnica de modelagem geoestatística e integração de assinaturas aeroradiométricas. Baseado neste trabalho foi desenvolvido a metodologia para prospecção de ETR no sudoeste de Rondônia, uma vez que a região apresenta estudos anteriores em prospectos com bom potencial.

Esta metodologia tem como objetivo a identificação de novas áreas favoráveis por meio de modelagem espacial de dados aerogeofísicos. Para este estudo foram utilizados produtos gerados a partir de levantamentos aerogeofísicos do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM).

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de pesquisa está localizada na porção Sudoeste do estado de Rondônia, e descreve um polígono irregular de aproximadamente 51.577,41 km² que representa o Aerolevantamento Sudoeste de Rondônia (CPRM, 2010) (Figura 2.1).

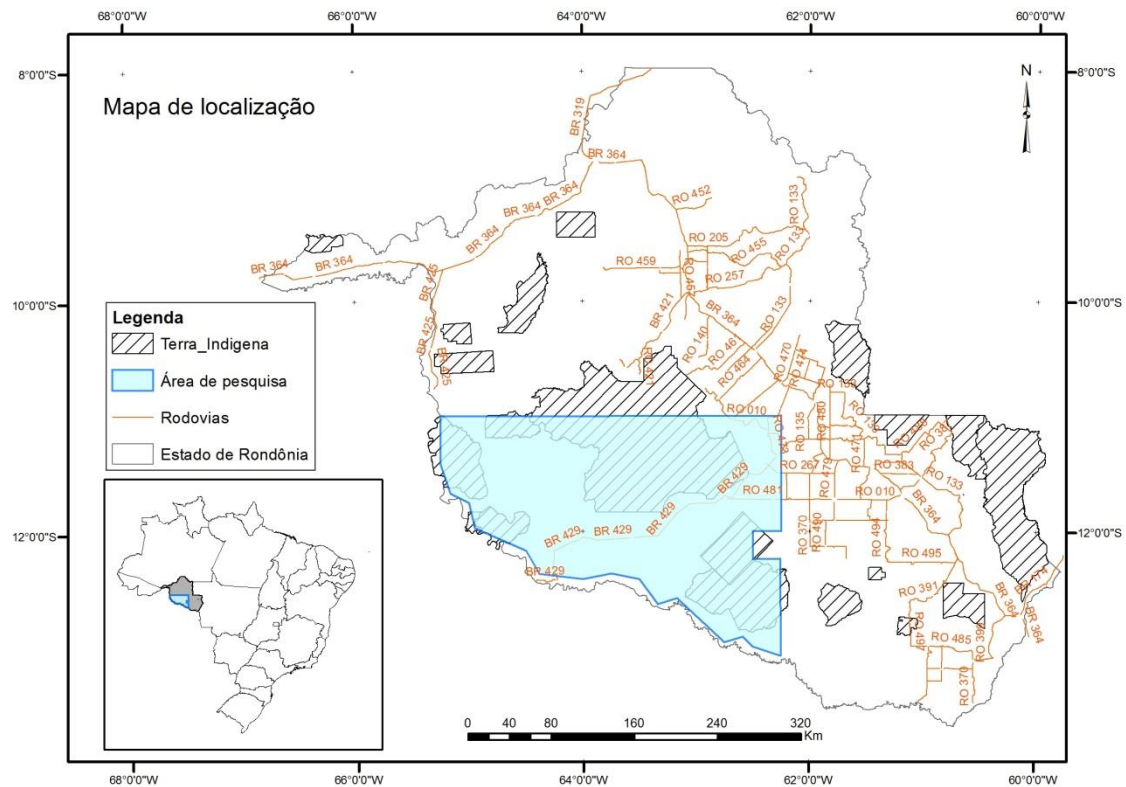


Figura 2.1 - Mapa de localização.

3. CONTEXTO GEOLOGICO

Quatro províncias proterozoicas constituem o cenário tectônico do SW do Craton Amazônico (e.g. Teixeira et al. 1989; Cordani e Teixeira, 2007; Bettencourt et al., 2010): Venturi-Tapajós (2.00-1.81 Ga), Rio Negro-Juruena (1.80 – 1.60 Ga), Rondoniano-San Ignacio (1.56 – 1.30 Ga) e Sunsás-Aguapeí (1.25 -1.00 Ga).

Atualmente são sugeridos dois modelos para a evolução geotectônica, onde uma construção teórica remete ao contexto geotectônico da Província Rondoniano-San Ignacio (1.56-1.30 Ga). O termo Rondoniano-San Ignacio primeiramente introduzido por Cordani et al. (1979) para designar um evento metamórfico deformacional no sudoeste do Cráton Amazônico. Posteriormente Teixeira & Tassinari (1984) e Teixeira et al. (1989) interpretaram a província como um grande cinturão móvel que se estende do norte de Rondônia até a região de San Ignacio, na Bolívia. O

termo Província Rondoniano San Ignácio foi proposto utilizando datações U-Pb e idades SHRIMP (Tassinari *et al.* 1996) para subsequentemente Tassinari *et al.* (2000), com datações e novos dados de campo propor a subdivisão da Província em: Terreno Rio Alegre (1.50 Ga), Orógeno Santa Helena (1.47-1.42 Ga) e Orógeno Rondoniano San Ignácio (1.40-1.29 Ga). Bittencourt *et al.* (2009) propuseram uma revisão do da Província Rondoniano-San Ignácio, destacando as principais orogenias e o arranjo tectônico desta região, separando em três principais terrenos e acrescentando o cinturão Alto Guaporé.

O projeto Sudoeste de Rondônia (Torres *et al.*, 1979) englobou o reconhecimento geológico da área de pesquisa na escala 1:250.000, acompanhados do cadastramento de ocorrências minerais e reconhecimento. A área compreende um contexto geológico impreciso devido à grande cobertura cenozoica da Bacia do Guaporé que corresponde a 60% do total da área. A leste são observadas rochas que fazem parte da sequência metavulcano-sedimentar Nova Brasilândia (Rizzoto, ANO??). Na porção norte da área é observado parte da Sequencia Nova Mamoré e rochas sedimentares da Formação Palmeiral. Em menor escala são observados corpos graníticos da Suíte Intrusiva Costa Marques, Granito Alto Saldanha (Figura 3.1).

Nova Mamoré

Para Bettencourt *et al.* (2009), a suíte metamórfica Nova Mamoré apresenta similaridades e idades compatíveis com o Complexo Colorado, por isso, no trabalho de revisão da Província Rondoniano-San Ignácio, este complexo foi relacionado ao Cinturão Alto Guaporé. Entretanto, esta afirmação destoa do contexto tectônico e do modelo evolutivo do cinturão proposto por Rizzotto e Hartmann (2012). A suíte é composta por uma sequência meta-sedimentar composta por paragneisses migmatíticas (pelíticas e psamíticas), gnaisses cálcio-silicáticos e xistos pelíticos.

Nova Brasilândia

A Faixa Nova Brasilândia é constituída por um grupo de rochas homônimo à faixa, pelas Suítes Intrusivas Rio Pardo e das rochas máficas Novo Mundo. O Grupo Nova Brasilândia foi proposto por Scandola e Rizzotto (1994), Rizzotto(1999) para designar a sequência meta-vulcano-sedimentar que ocorre ao longo de uma faixa WNW-ESSE, na porção central do estado de Rondônia. A interpretação de dados aeromagnéticos sugerem a continuidade da faixa para leste, recoberta por sedimentos das sequências Pacaás Novos e Uopianes. O Grupo é dividido em duas formações: Migrantinópolis e Rio Branco. A Formação Migrantinópolis é composta por rochas psamo-pelíticas, terrígeno-carbonáticas e granitos anatóticos. A Formação Rio Branco consiste de *sills* e *stocks* de metagabro, metagabro-norito, metadiabásio e anfíbolito com intercalações subordinadas de rochas calcissilicáticas e magnetita quartzitos.

Suite Costa Marques

Santos *et al.* (1979) propuseram o termo Grupo Costa Marques para representar uma seqüência vulcano-plutônica félsica comagmática da localidade homônima. Torres *et al.* (1979) denominaram de Complexo Costa Marques as rochas graníticas que sustentam as serras Grande e da Conceição, na planície do rio Guaporé. O termo Suíte Ígnea Costa Marques foi proposto por Scandolara *et al.* (1999) para reunir granitos subvulcânicos, granófiros, riolitos, riodacitos, traquitos e diques de lamprófiros que ocorrem principalmente nas margens do rio Guaporé, na localidade de Costa Marques.

Granito Alto Saldanha

O termo foi utilizado para reunir informalmente, na região da Serra do Colorado, corpos de rochas graníticas sob o termo Granito Serra do Colorado. Os litotipos desta unidade estão definidos por granitos equigranulares isotrópicos de cor rosa, granulação fina a médios. Subordinadamente ocorrem álcali-feldspato-granitos (alaskitos), álcali-feldspato-sienitos com riebeckita e aegirina-augita e quartzo-sienitos.

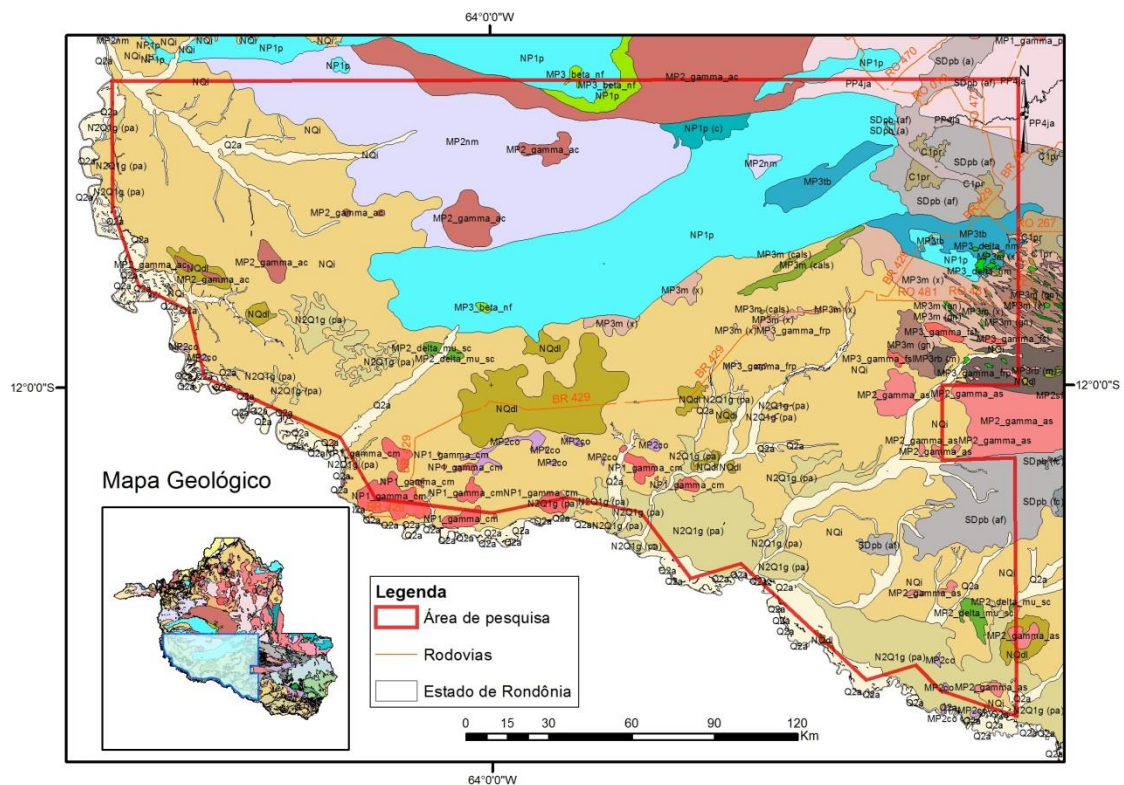


Figura 3.1 - Mapa Geológico do Sudoeste de Rondônia (adaptado de Quadros e Rizzotto, 2007).

4. DADOS AERORADIOMÉTRICOS

Os dados aeroradiométricos utilizados neste estudo foram adquiridos através do levantamento Projeto Aerogeofísico Sudoeste de Rondônia (CPRM, 2010). As linhas de voo tem direção N-S com espaçamento de 500m, enquanto as linhas de controle têm direção E-W com espaçamento de 10.000m, altura de voo sobre o terreno de 100 m e dados radiométricos com concentração de elementos. O espectrômetro utilizado foi o *Radiation Solutions modelo RS-500*, de 1024 canais espectrais, onde o espectro de cada um dos cristais detectores é analisado individualmente para determinação precisa dos fotopicos de potássio, urânio e tório. Uma correção linear é aplicada individualmente para cada cristal, mantendo o espectro permanentemente alinhado. As radiações gama detectadas são somadas e as leituras reduzidas a uma única saída de 256 canais espectrais. Essas leituras são realizadas a cada 1,0s, representando medições a intervalos de amostragem de aproximadamente 75m. O intervalo de energia varia de 3,0 à 6,0 Mev (janela cósmica). Neste levantamento foi completado com a supressão das contribuições primarias e ruídos, como a determinação do coeficiente de *background*, correção do espalhamento de *Compton* e da altitude de voo.

5. PROCESSAMENTO DOS DADOS AEROGEOFISICOS

Uma vez que os valores de concentração obtidos na aerogamaespectrometria são derivados de uma relação indireta da intensidade de radiação captada, transformada em equivalentes de concentração por modelos matemáticos, estes valores geralmente são de uso qualitativo e requerem certo processamento para eliminar incongruências geoquímicas (por exemplo, concentrações negativas). Porém, em um trabalho onde a forma da curva é relevante, é sensato optar pela preservação de parâmetros como o desvio padrão, sem manipulações estatísticas.

Neste contexto, o GDB do aerolevanteamento do Sudoeste de Rondônia foi processado de modo a manter a forma da curva, eliminando o menor número de amostras possível de modo que não se altere a população estatística final. Cada canal foi processado individualmente e os resultados são apresentados a seguir (Tabela 5-1).

Tabela 5-1 - Resumo estatístico dos dados dos canais de radioelementos antes e após o processamento

	Potássio (K, %)		Tório (Th, ppm)		Urânio (U, ppm)	
	Original	Processado	Original	Processado	Original	Processado
Amostras descartadas	-	370	-	17	-	307
Mínimo	-1,362	0,000	-2,911	0,020	-45,738	0,000
Máximo	9,242	9,600	593,965	595,970	248,350	252,350
Média	0,375	0,740	7,991	9,990	2,917	6,920
Mediana	0,151	0,510	6,648	8,650	2,403	6,400
Desv.Pad.	0,625	0,625	8,020	8,020	3,597	3,591

De modo geral, os histogramas dos canais processados apresentam a tendência de curvas monomodais assimétricas (Figura 5.1), o que resulta em variações no percentual de amostras restritas por cada Limiar Estatístico. De todo modo, os valores anômalos de maior concentração resultaram em restrição considerável em número de amostras, o que serve ao propósito inicial.

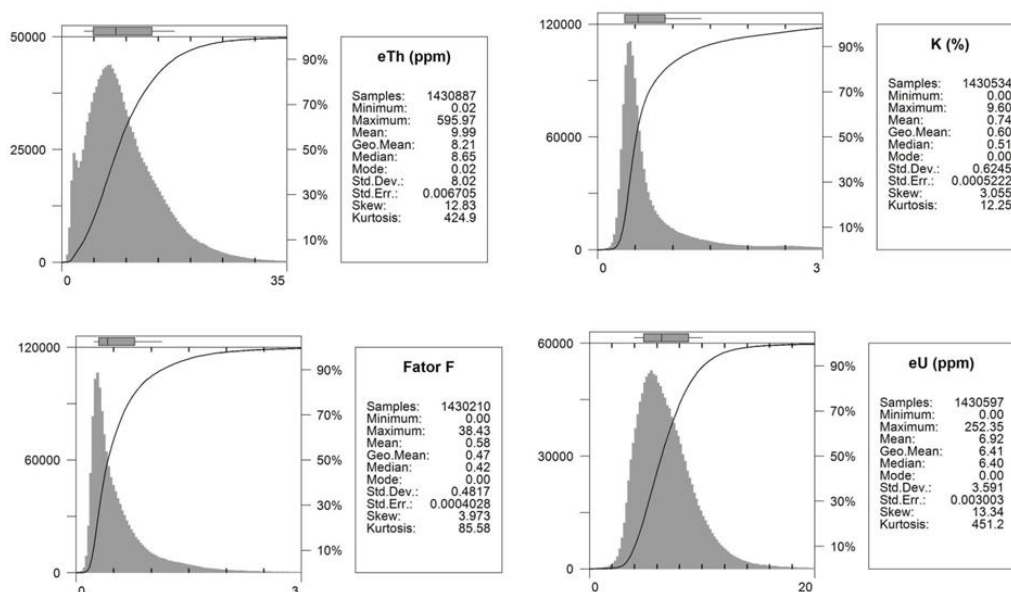


Figura 5.1 - Histogramas, *box-plot* e resumo estatístico de cada canal processado neste trabalho.

6. MÉTODOS

O Banco de Dados (GDB) do aerolevanteamento está estruturado em linhas de voo com pontos espaçados a cada 80 metros na direção da voo e espaçamento entre

as linhas de 500 metros entre si (LASA, 2010). O GDB foi trabalhado dentro da plataforma Geosoft – Oasis Montaj™ versão 8.2. A análise estatística inicial foi feita através da ferramenta de geoestatística e análise histogrâmica, também da plataforma Geosoft.

A seleção de valores anômalos de radioelementos seguiu a rotina adotada por Salles (2010), que parte da premissa que toda população de dados estatísticos tende a se aproximar de uma curva normal gaussiana. Deste modo, é possível separar os dados através da relação entre os parâmetros mediana (μ) e desvio padrão (σ) através de parâmetros chamados de “limiares” (Figura 6.1).

A relação entre os limiares estatísticos é dada pelas equações abaixo:

$$\text{Primeiro Limiar} \quad L1 = \mu \pm 1 \cdot \sigma$$

$$\text{Segundo Limiar} \quad L2 = \mu \pm 2 \cdot \sigma$$

$$\text{Terceiro Limiar} \quad L3 = \mu \pm 3 \cdot \sigma$$

O Primeiro limiar estatístico em uma curva normal gaussiana representa 68,2% dos dados, isolando amostras anômalas antes (16,4%, $\mu - \sigma$) e após (16,4% $\mu + \sigma$) as amostras restritas. O Segundo limiar isola amostras anômalas correspondentes a 2,3% antes e depois das amostras restritas pela relação mostrada acima. Já o Terceiro limiar isola amostras correspondentes a 0,1% antes e depois da mesma relação, sendo estes valores considerados extremamente anômalos.

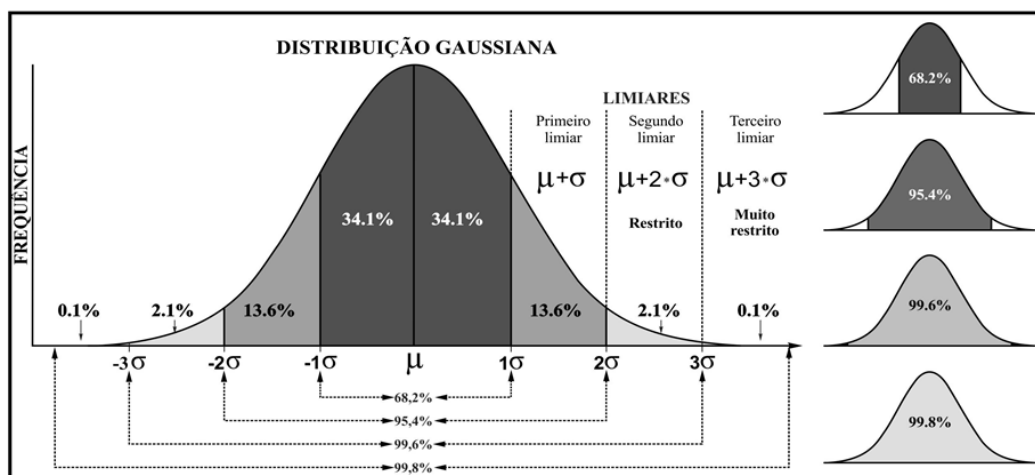


Figura 6.1 - Distribuição estatística e posição de limiares estatísticos com percentual de representatividade da população (SALLES, 2010).

Como a ocorrência de ETR está associada a valores de concentração alta de Urânio e Tório, as amostras anômalas de interesse para este trabalho correspondem somente às porções do lado direito da curva ($\mu + \sigma$), correspondentes aos altos valores (Tabela 1).

Tabela 6-1 - Parâmetros estatísticos dos Canais Utilizados

	Potássio	Tório	Urânio	Fator F
μ	0,510	8,650	6,400	0,420
σ	0,625	8,020	3,591	0,482
1ºLS	1,135	16,670	9,991	0,902
2ºLS	1,759	24,690	13,582	1,383
3ºLS	2,384	32,710	17,173	1,865

6.1. - Logica Booleana

A lógica booleana envolve a combinação de dados espaciais através regras lógicas ou expressões usadas para analisar, selecionar e processar dados. Os resultados ou respostas são relacionados simplesmente a presença/ausência de um determinado fenômeno (1 ou 0). Em se tratando de termos geológicos, ou com forte dependência destes, os resultados podem ser pouco representativos devido às heterogeneidades naturais. Desta forma os resultados tornariam a análise booleana restritiva no estudo de favorabilidade e na seleção de alvos prospectivos.

Bonham-Carter (1994) encontrou uma forma de aperfeiçoar a lógica booleana através do método Index Overlay que consiste basicamente em conferir pesos distintos para cada mapa, levando em consideração apenas o nível de importância do mesmo em função da hipótese considerada, assim os resultados seriam menos restritivos e incluiriam um espectro maior de resultados.

Nesta pesquisa foram considerados os valores apenas do terceiro limiar para os radioelementos, desta forma, restringindo as áreas consideradas anômalas e aumentando a probabilidade de êxito. O fluxograma da Figura 6.2 sintetiza o processamento efetuado.

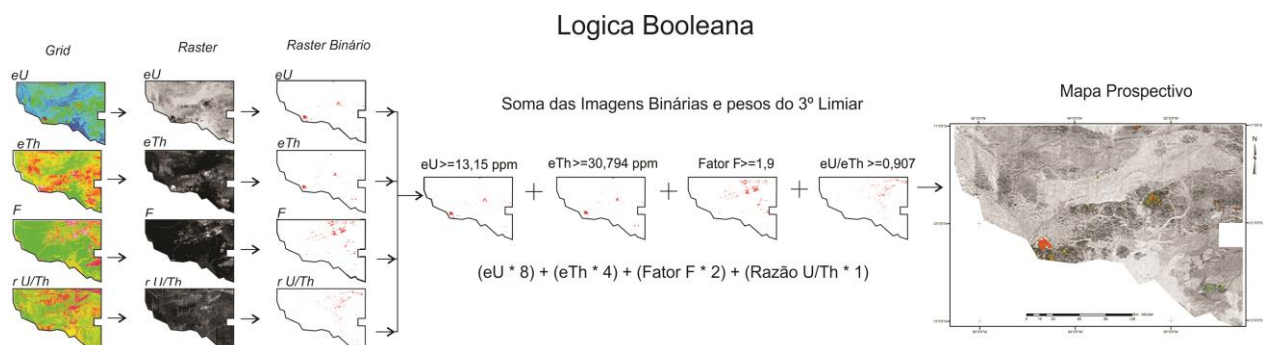


Figura 6.2 – Fluxograma da estratégia de integração dos produtos da Logica Booleana para os dado de aerogamaespectrometria.

6.2. – Logica Fuzzy

A Logica Fuzzy foi concebida para modelar atributos de evidências em classes de dados espaciais, inicialmente proposto por Zadeh (1965). O conjunto fuzzy é definido pela seleção de funções de pertinência que permitem o escalonamento de dados iniciais em graus de variação entre dois extremos contidos em um conjunto de dados, desta forma a variabilidade entre 0 (ausência de pertinência) e 1 (pertinência absoluta). A utilização intrínseca de uma função de pertinência fuzzy (*small, large, categórico, ente outros*) permite a reorganização de dados categóricos diversos em mapa de possibilidades fuzzy (Bonham-Carter, 1994). Os operadores fuzzy utilizados frequentemente são E, OU, Produto Algébrico, Soma Algébrica e *Fuzzy Gamma*, podendo ser observado de forma extensa no trabalhos de Ann *et al.*(1991) e Bonham-Carter (1994). Segundo Carrino *et al.* (2011) o operador *fuzzy gamma* é interessante por contrabalançar os efeitos minimizantes do produto algébrico fuzzy com os efeitos maximizantes do operador soma algébrica fuzzy, característico pela minimização da influencia tendenciosa para seleção de alvos (Bonham-Carter, 1994) (eq. 01).

Eq. 01:

$$\mu \text{ gama} = (\mu \text{ soma})^\gamma * (\mu \text{ produto})^{1-\gamma}$$

O Fluxograma da Figura 6.3 exemplifica de forma simples as etapas de processamentos adotadas neste trabalho.

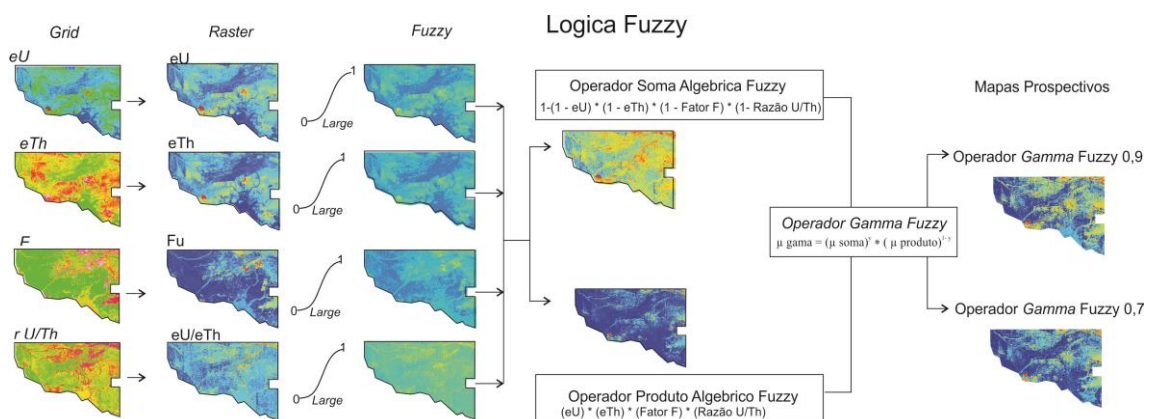


Figura 6.3 – Fluxograma da estratégia de integração dos produtos da Lógica Fuzzy para os dados de aerogamaespectrometria.

7. RESULTADOS

7.1. – Análise de Dados Aeroradiométricos

Após as correções dos canais, foram gerados os mapas aerogamaespectrometria (Figura 7.1) de U e Th, equivalentes em ppm, fator F e da razão U/Th. Os mapas de distribuição de U e Th podem indicar por conseguinte áreas anômalas na concentração deste elemento, decorrente de uma análise qualitativa dos teores. Neste caso é possível correlacionar com o contexto geológico desta área, destacando a maior concentração em corpos de granitoides. Entretanto, o contraste de *background* pode indicar uma falsa anomalia positiva em determinada área. De forma geral, litotipos com perfil laterítico bem desenvolvido, mostram alta concentração de tório e baixa porcentagem de teor de K.

Os mapas das razão eU/eTh mostram comportamentos geoquímicos não uniforme para determinados corpos de granitoides. É observado aumento da razão em drenagens de primeira ordem e em superfícies de taludes. O mapa do parâmetro F (Efimov, 1978; Gnojek e Prichystal, 1985; Pires, 1995) ressalta simultaneamente a abundância do K e da razão eU/eTh.

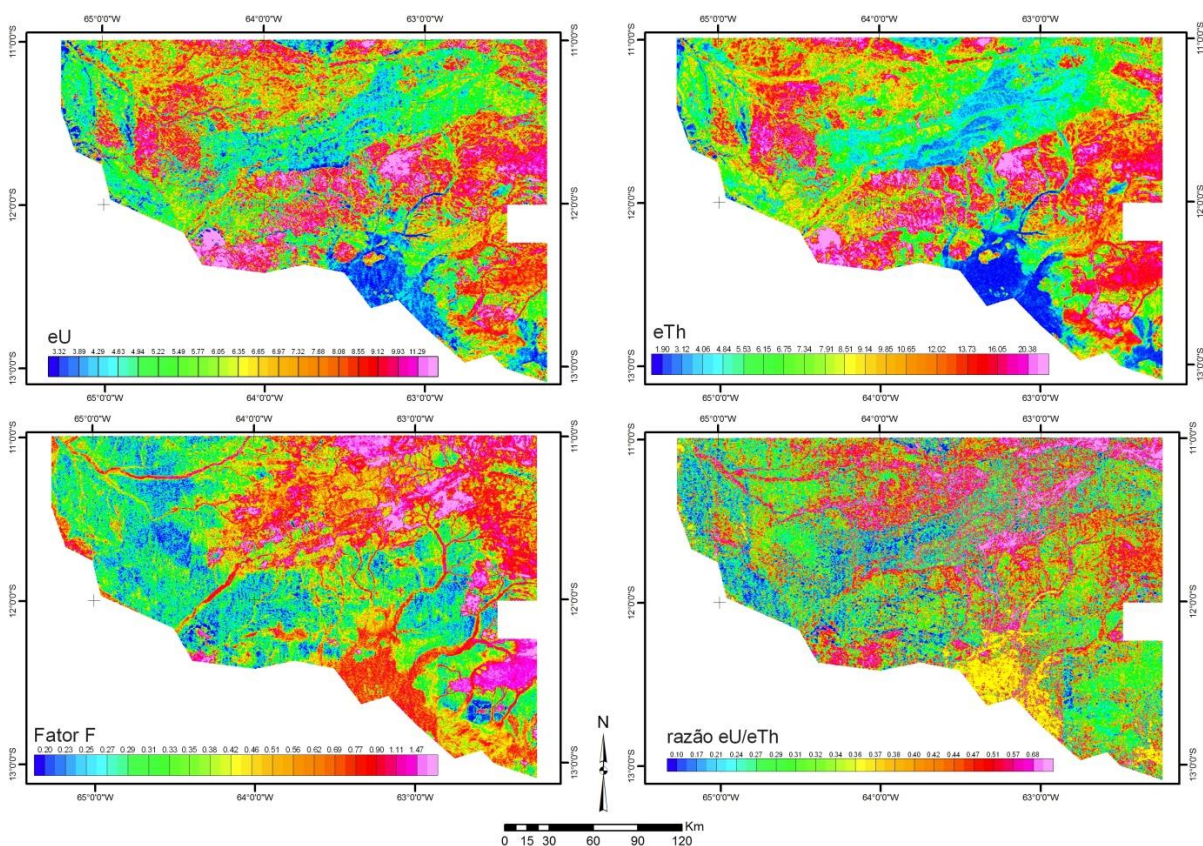


Figura 7.1 - Mapas de aerogamaespectrometria do conjunto de dados.

7.2. – Modelagem Booleana

Na modelagem quantitativa booleana foi aplicado o conceito prospectivo proposto por Salles *et al.* (2010) para prospecção uranífera no depósito de U-ETR de *Mary Kathleen*, Austrália. Foram selecionados os mapas por meio da equação $\mu \pm 3\sigma$, que restringiu os dados acima do terceiro limiar. Esta técnica tem proposição restritiva, onde demilitou-se áreas prospectivas integrando os quatro mapas através do operador booleano *AND*. Desta forma os alvos para prospecção foram determinados por meio da correlação destes mapas (Figura 7.2).

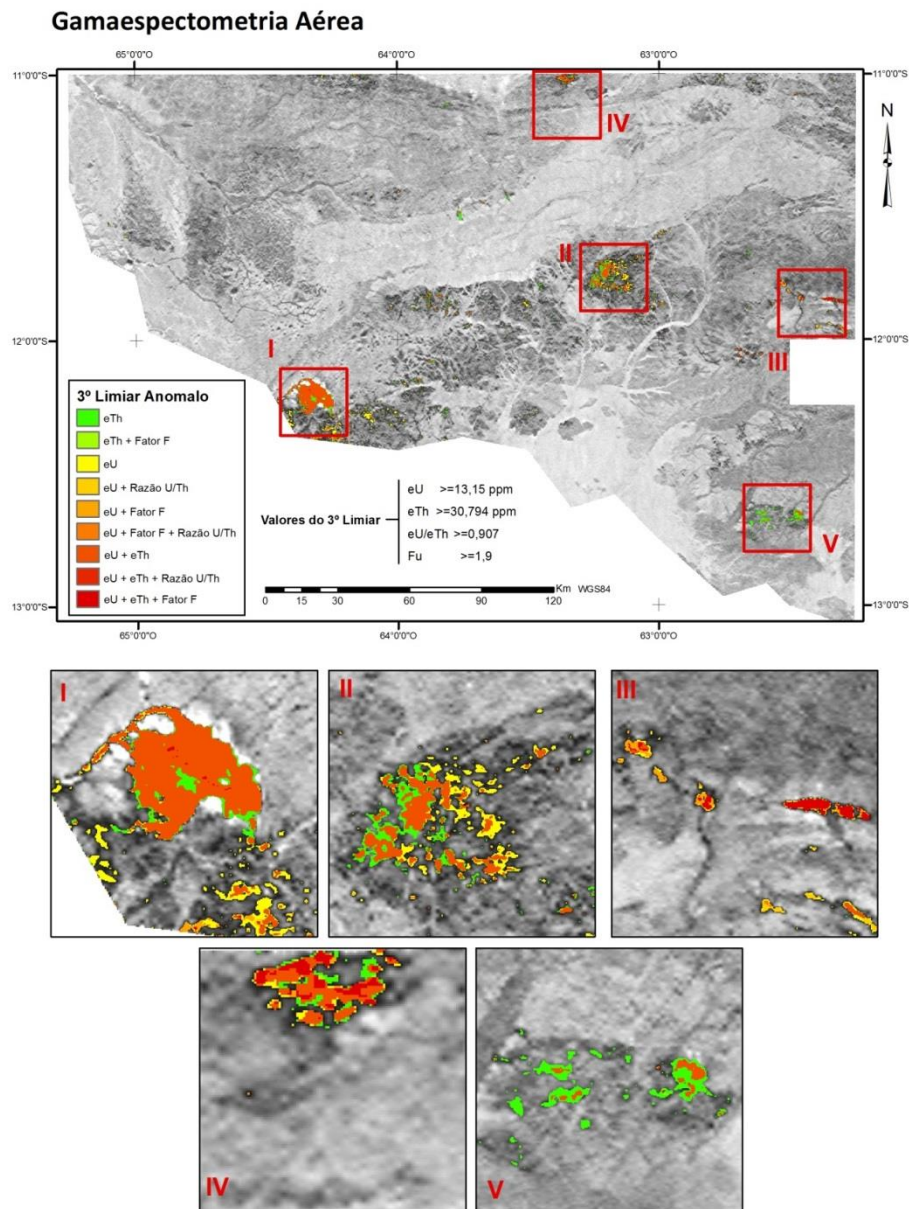


Figura 7.2 - Mapa prospectivo de integração do terceiro limiar anômalo.

As áreas anômalas mapeada pelo terceiro limiar foram de 85,48 km² (eU), 94,03 km² (Th), 17,34 km² (eU + eTh + Fator F) e 0,63 km² (eU + eTh + Razão U/Th).

Um destes alvos prospectivos coincide com uma área conhecida anômala para ETR (alvo I).

7.3. - Modelagem Fuzzy

Na modelagem Fuzzy foram categorizadas os mapas pela pertinência da função *Large* e posteriormente integrados pela Soma Algébrica e o Produto Algébrico Fuzzy. Os mapas prospectivos apresentados abaixo com cenário mais otimista (Figura 7.3) e menos otimista (Figura 7.4).

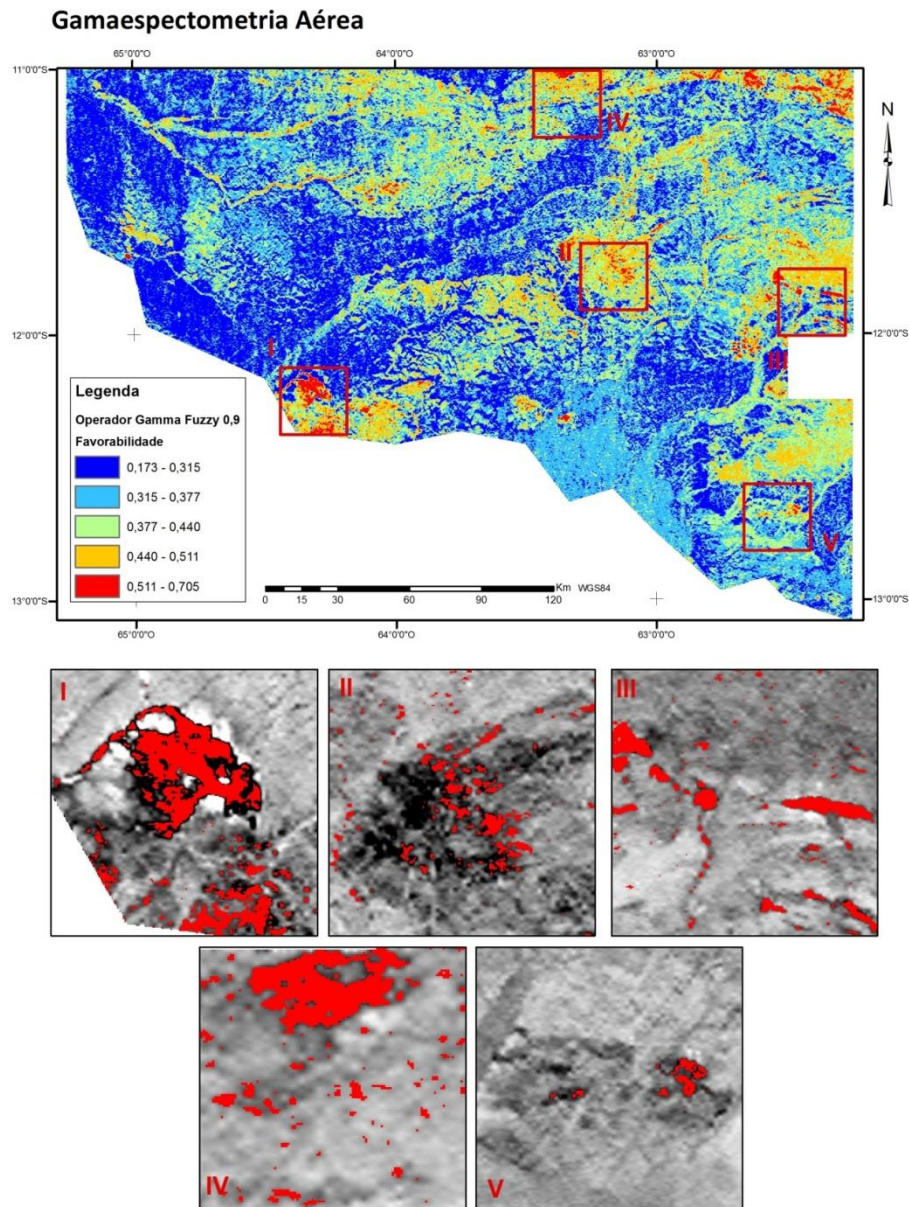


Figura 7.3 - Mapa previewal pelo Operador *Gamma* 0,9.

Gamaespectrometria Aérea

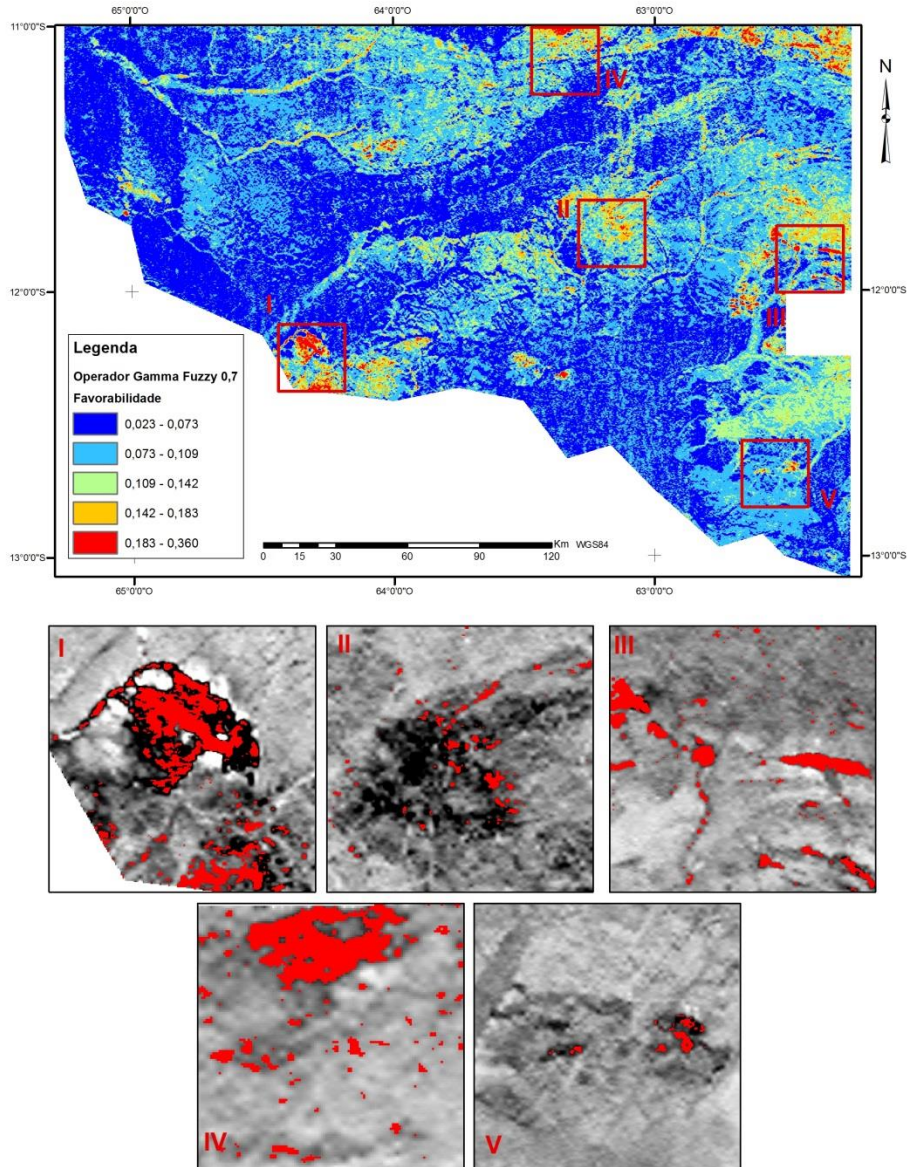


Figura 7.4 - Mapa previewal pelo Operador *Gamma* 0,7

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os mapas gerados a partir dos modelos prospectivos booleano e *Fuzzy* estão em meio de uma área caracteristicamente de pouco conhecimento geológico, sendo a análise prospectiva através destes modelos, uma ferramenta essencial na pesquisa prévia de ETR.

A modelagem booleana permitiu a determinação de 5 áreas como alvos em potencial para ETR, incluindo inclusive o corpo granítico da Suíte Intrusiva Costa Marques (alvo I), já conhecidamente anômalo para ETR. Outros corpos graníticos foram identificados como áreas prospectivas:

a) Suíte Intrusiva Rio Pardo, fácies São Luiz (alvo III), quartzo-monzonito a sienito deformados pelo evento Sunsás, contexto tectônico do Nova Brasilândia.

b) Granito Alto Saldanha (alvo V), monzo a sieno-granitos parcialmente encoberto por sedimentos cenozoicos da bacia do Guaporé

Os alvos II e IV não são associados a nenhum litotipo, porém sua morfologia sugere a característica de corpos intrusivos de menor tamanho, não cartografados em trabalhos de mapeamento anteriores.

Os mapas derivados a partir da lógica *Fuzzy* geraram possibilidades prospectivas regulares, e coincidentes com o modelo booleano. Ainda possibilitou o mapeamento de alvos não evidenciados pelo método booleano nos mapas prospectivos de cenário mais otimista e menos otimista.

Dessa forma, considerando o tamanho dos alvos gamaradiométricos e os padrões de resposta apresentados, sugerem-se etapas de campo que possam ratificar os modelos apresentados seguindo o grau de importância/prioridade de cada alvo, na seguinte ordem: I, II, III, IV e V.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BETTENCOURT, J. S. et al. The Rondonian-San Ignacio Province in the SW Amazonian Craton: an overview. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 29, p. 28-46, 2010.

Bonham-Carter G.F., 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists: modeling with GIS*. Oxford, Pergamon, 398p

Carrino, T.A., Silva, A.M., Botelho, N.F., Silva, A.A.C., 2011. Logica Fuzzy e Técnica SAM para Modelagem Previsional do Ouro no Setor Oeste da Província Mineral do Tapajós Usando Dados Aerogeofísicos e de Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geofísica* 29(3): 535-554

Cordani, U.G., Teixeira, W., 2007. Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton. In: Hatcher, R.D., Jr., Carlson, M.P., McBride, J.H., Martínez Catalán, J.R. (Eds.), *4-D Framework of Continental Crust*. Geological Society of America Memoir, 200, pp. 297–320

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2010. Projeto Aerogeofísico Sudoeste de Rondônia – Relatório Final do Levantamento e Processamento de dados magnéticos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Lasa Engenharia e Prospecções; Prospectores Aerolevantamentos e Sistemas, 2006. 27v.

IAEA, 2003. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. International Atomic Energy Agency. Vienna, Austria. 179 pp.

QUADROS, M. L. do E. S.; RIZZOTTO, G. J. (Orgs.). *Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado de Rondônia*. Escala 1:1.000.000. Porto Velho: CPRM, 2007. 116 p. il. Programa Geologia do Brasil.

RIZZOTTO, G. J. *Petrologia e geocronologia do Complexo Máfico-ultramáfico Trincheira, sudoeste do Craton Amazônico: implicações tectônicas do mesoproterozóico*. 2012. 193 p. Tese (Doutorado em Ciências)-Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

RIZZOTTO, G. J. et al. Tectonic evolution of the southern margin of the Amazonian Craton in the late mesoproterozoic based on field relationships and zircon U-Pb geochronology. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 86, n. 1, p. 57-84, 2014.

RIZZOTTO, G. J.; DEHLER, N. M. Arcabouço estrutural da faixa Alto Guaporé e o regime tectônico do ectasiano na borda SW do Craton Amazônico. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 11.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS, 5, 2007, Natal. Anais. Natal: SBG, 2007. p. 130-132.

RIZZOTTO, G. J.; HARTMANN, L. A. Geological and geochemical evolution of the Trincheira Complex, a mesoproterozoic ophiolite in the southwestern Amazon Craton, Brazil. *Lithos*, v. 148, n. 1, p. 277–295, 2012.

RIZZOTTO, G. J. (Org.). *Geologia e recursos minerais da folha Pimenteiras SD.20-X-D: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais da folha Pimenteiras*. Porto Velho: CPRM, 2010. 136 p.

RIZZOTTO, G. J. et al. The Mesoproterozoic Guaporé suture in the SW Amazonian Craton: geotectonic implications based on field geology, zircon geochronology and Nd-Sr isotope geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences*, v.48, p. 271-295, 2013.

Salles, R. R. 2010. Depósito Metamórfico-Hidrotermal de U-ETR Mary Kathleen, noroeste de Queensland, Austrália: uma investigação baseada em assinaturas hiperespectrais e aeroradiométricas. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas – UniCAMP, Instituto de Geociências. 121 pp.

SANTOS J. O. S. et al. Age and autochthonous evolution of the Sunsás orogen in West Amazon Craton based on mapping and U-Pb geochronology. *Precambrian Research*, v. 165, p. 120-152, 2008.

SANTOS, J. O. S. et al. A new understanding of the provinces of the Amazonian Craton base on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, v. 3, p. 453-488, out. 2000.

SCANDOLARA, J. E. (Org.). *Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia: texto explicativo e mapa geológico do Estado de Rondônia*. Escala 1:1.000.000. Brasília: CPRM, 1999. 97 p.

SCANDOLARA, J. E.; RIZZOTTO, G. J. Paulo Saldanha, Folha SC.20-Z-C-V, Estado de Rondônia, escala 1:100.000: geologia e metalogênese. Brasília: CPRM, 2001. 1 CD-ROM.

SCANDOLARA, J. E. A evolução proterozóica de Rondônia, principais eventos e cronologia dos movimentos tectônicos. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 6., 1999, Manaus. *Boletim de Resumos Expandidos*. Manaus: SBG-Núcleo Norte, 1999. p. 255-258.

SCANDOLARA, J. E. et al. *Mapa geológico do Estado de Rondônia*. Escala 1:1.000.000. Porto Velho: CPRM, 1999.

SCANDOLARA, J. E. *Geologia e evolução do terreno Jamari, embasamento da faixa Sunsás/Aguapeí, centro-leste de Rondônia, sudoeste do Cráton Amazônico*. 2006. 383 p. Tese (Doutorado)-Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, A. M. *Integração de dados geológicos e geofísicos utilizando-se uma nova técnica estatística para seleção de alvos para exploração mineral, aplicada ao greenstone belt Rio das velhas, Quadrilátero Ferrífero*. 1999. 195 p. Tese (Doutorado)- Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

TASSINARI, C. C. G. et al. The Amazonian Craton. In: CORDANI, U. G. (Ed.) et al. *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro: 31 st International Geological Congress, 2000. p. 41-95.

TASSINARI, C. C. G. et al. Geochronological systematics on Basement Rocks from the Rio Negro-Juruena Province (Amazonian Craton) and Tectonic Implications. *Intern. Geol. Rev.*, n. 38, p. 161-175, 1996.

TEIXEIRA, W. et al. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implications. *Precambrian Research*, v. 42, p. 213-227, 1989.

TEIXEIRA, W. et al. *Decifrando a terra*. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. 623 p. il.; color.

TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G. Caracterização geocronológica da Província Rondoniana e suas implicações geotectônicas. In: *SYMPOSIUM AMAZONICO*, 2., 1984, Manaus, AM. *Anais*. Brasília: DNPM, 1984. p. 89-101.

TORRES, Lucio Carlos de Azevedo et al. *Projeto Sudoeste de Rondonia. Reconhecimento geológico e Geoquímico: relatório final*. Porto Velho: CPRM, 1979. 7v. v. 1

Zacchi, E.N.P., Silva, A.M., Rolim, V.K., 2010. Análise Integrada de Dados Multifonte e Sua Aplicação no Mapeamento Geológico das Formações Ferríferas da Serra de Itapanhocanga, Alvorá de Minas, MG. *Revista Brasileira de Geofísica* (2010) 28(4): 643-656

Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control*, v.8, p338-353. Disponível em: <http://www.bisc.cs.berkeley.edu/BISCProgram/default.htm>