

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 07/01/2027.

**PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO
EM GEOCIÊNCIAS
E MEIO AMBIENTE**

**INTEGRAÇÃO DE DADOS MAGNETOMÉTRICOS E
GAMASPECTOMÉTRICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS
COM ANOMALIA GEOQUÍMICA PARA OURO**

DANIELA KURANAKA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

Rio Claro - SP
2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro (SP)

DANIELA KURANAKA

**INTEGRAÇÃO DE DADOS MAGNETOMÉTRICOS E
GAMASPECTOMÉTRICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS
COM ANOMALIA GEOQUÍMICA PARA OURO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Moreira.

Rio Claro – SP
2026

K96i

Kuranaka, Daniela

Integração de dados magnetométricos e gamaespectométricos em bacias hidrográficas com anomalia geoquímica para ouro / Daniela Kuranaka. -- Rio Claro, 2026

75 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientadora: César Augusto Moreira

1. Exploração Mineral. 2. Ouro. 3. Gamaespectrometria. 4. Magnetometria. I. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Este estudo emprega métodos geofísicos como instrumento de apoio ao desenvolvimento e ao aprimoramento de técnicas de investigação aplicadas ao setor mineral, com vistas à identificação de áreas com potencial para novos depósitos e à possível implantação de atividades minerárias. A metodologia adotada caracteriza uma abordagem indireta, de baixo custo operacional e sem geração de impactos ambientais. Os resultados esperados têm potencial para contribuir para o desenvolvimento socioeconômico regional, que incluem a geração de emprego e renda em escala local. Diante a relevância dos recursos minerais para as cadeias produtivas em âmbito global, o presente trabalho alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, em especial aos ODS (8) Trabalho decente e crescimento econômico e ODS (9) Indústria, inovação e infraestrutura.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This study employs geophysical methods as a supporting tool for the development and improvement of investigation techniques applied to the mineral sector, aiming at the identification of areas with potential for new deposits and the possible implementation of mining activities. The adopted methodology characterizes an indirect approach with low operational cost and no environmental impacts. The expected results have the potential to contribute to regional socioeconomic development, including the generation of employment and income at the local scale. Considering the relevance of mineral resources to global production chains, the present study aligns with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), especially SDG (8) Decent Work and Economic Growth and SDG (9) Industry, Innovation and Infrastructure..

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro (SP)

DANIELA KURANAKA

INTEGRAÇÃO DE DADOS MAGNETOMÉTRICOS E
GAMASPECTOMÉTRICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM
ANOMALIA GEOQUÍMICA PARA OURO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão examinadora:

Prof. Dr. César Augusto Moreira
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Profa. Dra. Andrea Teixeira Ustra
IAG/USP/São Paulo (SP)

Profa. Dra. Alessandra de Barros e Silva Bongioio
Setor de Ciências da Terra/UFPR/Curitiba (PR)

Conceito: Aprovado.

Rio Claro (SP), 07 de julho de 2026.

DEDICATÓRIA

*À minha mãe, in memoriam, minha maior
inspiração, e ao meu pai, pelo apoio
constante em todos os momentos.*

AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2023/04732-8. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, agradeço pela oportunidade de realização do mestrado e pela formação acadêmica e científica proporcionada ao longo desta trajetória.

Ao meu pai, pelo apoio incondicional, incentivo e confiança durante toda esta caminhada. À minha mãe, in memoriam, por permanecer como minha maior inspiração e por todos os ensinamentos e valores que seguem presentes em minha trajetória.

Ao meu orientador, Dr. César Moreira, agradeço pela orientação, pelos ensinamentos compartilhados e pelo suporte científico ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

À Dra. Marina, minha amiga e orientadora, expresso minha profunda gratidão pela mentoria neste estudo, pelos valiosos conselhos, pelo incentivo constante e pelas cervejas compartilhadas, que tornaram os desafios desta jornada mais leves. Sua dedicação, generosidade e paixão pela ciência fizeram de você uma grande inspiração em minha trajetória acadêmica e pessoal. Muito obrigada por todo o apoio e confiança; serei eternamente grata.

Ao Professor Dionísio Uedro Carlos, pelo auxílio no processamento dos dados geofísicos.

À Sissa, Lenon e João Pedro de Oliveira, pelas contribuições acadêmicas, apoio nos trabalhos de campo, ensinamentos e colaboração ao longo desta pesquisa. À Dona Lila e ao Sr. Edson, pela acolhida e hospitalidade durante as atividades de campo. Ao proprietário da fazenda, Luciano Argento, pela disponibilidade e apoio à realização deste estudo.

Ao Dr. Iata e ao Dr. Zaine, expresso minha gratidão pelo apoio, pelos valiosos conselhos, pelos momentos de convivência e descontração e, sobretudo, pela amizade construída ao longo desta trajetória.

Aos amigos e colegas, especialmente Danielle, Gabby, Aninha, Pedro, Marcello, Bin, Luan, Gian, João, Pororoca, Murilo, Pia, Lucão e Leo, agradeço pelo companheirismo, pelas trocas de conhecimento e pelo apoio durante esta trajetória. Meus agradecimentos ao Unespetro, em especial Marcinha, Carlos, Ivan, Arai, Gilberto, Oleg e Paulina.

RESUMO

O ouro ocupa posição central na economia global, como reserva de valor, ativo estratégico e insumo essencial para diversos setores industriais e tecnológicos. Na exploração mineral, a prospecção geoquímica delimita bacias hidrográficas anômalas e indica regiões com potencial para mineralizações auríferas. A integração desses dados com métodos geofísicos, permite identificar contrastes litológicos e estruturais relacionados a sistemas mineralizantes, que contribuem para definição de áreas prioritárias para investigação. A identificação de pintas de ouro em sedimentos de corrente da bacia hidrográfica do Cerro da Cria, em Vila Nova do Sul (RS), no Escudo Sul-Riograndense, revelou o potencial regional para depósitos primários. Baseado neste estudo geoquímico prévio, o presente trabalho realizou levantamentos gamaespectrométricos e magnetométricos semi regionais em escala de bacia hidrográfica, acompanhado por levantamentos de drone (para geração de Ortofoto e MDE) medidas estruturais em campo, com o objetivo reconhecimentos de alvos exploratórios. Os resultados radiométricos evidenciaram enriquecimento em K, Th e U no setor nordeste da bacia, dos quais o K pode ser relacionado a zonas de alteração hidrotermal. Esse mesmo domínio apresenta alta Amplitude de Sinal Analítico (ASA), relacionado a remobilização de óxidos em sulfetos por evento de cisalhamento regional. Os produtos magnetométricos revelaram lineamentos e fraturas orientadas principalmente em NE–SW e E–W, que segmentam o Granito Cerro da Cria e serviram como vias preferenciais para circulação hidrotermal e remobilização geoquímica. A associação entre estrutura regional, alta magnetização e concentração potássica definiu uma assinatura de provável área de ocorrência de ouro primário e fonte dos materiais reconhecidos nas drenagens por prospecção geoquímica. A combinação de elementos estruturais com dados geofísicos e de drone possibilitou uma ampla varredura de uma bacia hidrográfica com potencial para ouro, de forma versátil e com ampla densidade amostral, que resultou na seleção de alvo passível de estimativa de teores e reserva por amostragem direta.

Palavras-chave: exploração mineral, ouro, zona de cisalhamento, gamaespectrometria, magnetometria, modelo digital de elevação, depósito primário

ABSTRACT

Title in english: Geophysical modeling in a drainage basin with a gold geochemical anomaly, Cerro da Cria region, Vila Nova do Sul, Rio Grande do Sul (Brazil)

Gold plays a central role in the global economy as a store of value, a strategic asset, and an important raw material for industrial and technological applications. In mineral exploration, geochemical prospecting delineates anomalous drainage basins and highlights areas with potential for gold mineralization. Integrating these data with geophysical methods enables the identification of lithological and structural contrasts associated with mineralizing systems, thereby supporting the delineation of priority targets for further investigation. The recognition of gold anomalies in stream sediments from the Cerro da Cria basin, in Vila Nova do Sul (RS), Rio Grande do Sul, within the South Brazilian Shield, indicates regional potential for primary gold deposits. Building on this previous geochemical study, we conducted semi-regional gamma-ray spectrometry and magnetometry surveys at the drainage basin scale, complemented by drone surveys (to generate orthophotos and DEMs) and field structural measurements, to identify primary exploration targets. Radiometric results indicate enrichment in K, Th, and U in the northeastern sector of the basin, with elevated K potentially related to hydrothermal alteration zones. The same domain shows a high Analytic Signal Amplitude (ASA), interpreted as reflecting enhanced magnetization linked to remobilization during a regional shear event. Magnetometry derived products reveal lineaments and fractures predominantly oriented NE–SW and E–W, which segment the Cerro da Cria Granite and likely acted as preferential pathways for hydrothermal circulation and geochemical remobilization. The special association among regional structures, high magnetization response, and elevated potassium concentrations defines a geophysical/geochemical signature consistent with a prospective primary gold source area and with the provenance of anomalous stream-sediment materials identified by geochemical prospecting. Overall, integrating structural elements with geophysical and drone data provided an efficient, high-density assessment of a gold prospective drainage basin and led to selection of a target suitable for follow-up direct sampling aimed at grade estimation and resource evaluation.

Keywords: mineral exploration, gold, shear zone, gamma-ray spectrometry, magnetometry, digital elevation model, primary gold deposit

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo.....	18
Figura 2: Área de estudos e localização dos pontos de coleta do trabalho de CPRM (2000).....	19
Figura 3: À esquerda mapa do Gondwana Ocidental com a indicação dos crátons e das faixas móveis da Província Mantiqueira. À direita, detalhamento da Província Mantiqueira com sua compartimentação.....	21
Figura 4: Domínios Geotectônicos do ESRG com as principais Zonas de Cisalhamento: 1 – Itajaí Perimbó, 2 – Major Gercino, 3 – Santana da Boa Vista, 4 – Dorsal de Canguçu, 5 – Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandi Del Y, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande.....	22
Figura 5: Mapa geológico da Bacia Camaquã, com destaque para a área de estudo.....	23
Figura 6: Mapa Geológico da área de estudo com as principais unidades aflorantes.....	26
Figura 7: Representação do decaimento radioativo para as séries do urânio, actínio e tório.....	32
Figura 8: Características do campo magnético da Terra.....	36
Figura 9: Fluxograma de processamento dos dados gamaespectrométricos.....	44
Figura 10: Fluxograma de processamento de Magnetometria.....	44
Figura 11: A) DJI Mavic 3T drone e Stonex S980 RTK; B) Stonex S860 DGPS; C) Gamaespectrométrico RS-332; D) Magnetômetro GSM-19.....	45
Figura 12: Mapa com pontos de aquisição geofísica e mapeamento geológico.....	46
Figura 13: Imagem de satélite da área de estudo com destaque para a Zona de Cisalhamento Cerro da Cria.....	47
Figura 14: A) Estereograma de foliação e B) Estereograma de juntas.....	48
Figura 15: A) Ortofoto e B) Modelo Digital de Elevação.....	49
Figura 16: Mapa 2D de interpolação da concentração de K (%). A linha preta delimita as zonas de maior concentração de K% na área de estudo.....	50
Figura 17: Mapa 2D de interpolação da concentração de eTh ppm. A linha preta delimita as zonas de maior concentração de eTh ppm na área de estudo.....	50
Figura 18: Mapa 2D de interpolação da concentração de eU ppm. A linha preta delimita as zonas de maior concentração de eU ppm na área de estudo.....	51
Figura 19: Mapa de concentrações de potássio, tório e modelo digital de elevação. Com destaque para as anomalias radiométricas de K Unturned e eTh no MDE.	52
Figura 20: Mapa 2D de interpolação do CMT.....	53

Figura 21: Mapa 2D de interpolação do ASA. A linha preta delimita as áreas com valores elevados de ASA na área de estudo.....	54
Figura 22: Mapa 2D de interpolação do Dy. A linha tracejada branca delimita as áreas com maiores concentrações de Dy na área de estudo.....	54
Figura 23: Mapa magnetométrico de ASA e CMT. Com destaque para as anomalias magnéticas no MDE.....	55
Figura 24: Modelo Digital de Elevação (MDE) sobreposto com anomalias de potássio e Amplitude Analítica do Sinal (ASA), com a falha de Cerro da Cria e a localização da ocorrência de ouro. As setas indicam a possível rota de transporte inferida do ouro, de áreas de maior altitude em direção à rede de drenagem.....	57

LISTA DE EQUAÇÃO

Equação (1): Lei do decaimento radioativo	30
Equação (2): Atividade radioativa	30
Equação (3): Decaimento alfa	30
Equação (4): Decaimento beta negativo	30
Equação (5): Energia do fóton gama	31
Equação (6): Equilíbrio secular	31
Equação (7): Atenuação da radiação gama	33
Equação (8): Conversão de contagens em concentração radioelementar	33
Equação (9): Magnetização total da rocha	37
Equação (10): Magnetização induzida	37
Equação (11): Amplitude do Sinal Analítico (ASA)	39
Equação (12): Derivada Horizontal em Y (DY)	40
Equação (13): Derivada Horizontal Total (THDR)	40
Equação (14): Derivada Horizontal em X (DX)	41
Equação (15): Derivada Vertical (DZ)	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO	17
3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	18
4. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	20
4.1. Escudo Sul-Riograndense (ESRG)	20
4.2 Compartimentação do Escudo Sul-Riograndense	21
4.3 Terreno São Gabriel	23
4.4 Estrutural regional	24
5. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL.....	26
5.1 Sequência Metamórfica Vacacaí	26
5.2 Formação Acampamento Velho	27
5.3 Granito Cerro da Cria.....	27
5.4 Geologia Estrutural	28
6. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
6.1 Geofísica.....	29
6.2 Gamaespectrometria	29
6.2.1 Decaimento radioativo e atividade nuclear.....	30
6.2.2 Decaimentos alfa e beta.....	30
6.2.3 Radiação gama.....	31
6.2.4 Séries naturais de decaimento radioativo	31
6.2.5 Equilíbrio secular e implicações geológicas	31
6.2.6 Atenuação da radiação gama e profundidade de investigação	33
6.2.7 Aquisição e processamento dos dados gamaespectrométricos.....	33
6.2.8 Processamento e tratamento dos dados.....	34
6.2.9 Aplicações da gamaespectrometria na geologia e na exploração mineral	34
6.3 Magnetometria	34
6.3.1 Propriedades magnéticas	35

6.3.2 Campo magnético terrestre	36
6.3.3 Magnetização das rochas	37
6.3.4 Correções e processamento dos dados magnetométricos	38
6.3.5 Correção da variação diurna	38
6.3.6 Remoção do campo regional (IGRF).....	38
6.3.7 Campo Magnético Total (CMT)	39
6.3.8 Amplitude do Sinal Analítico (ASA).....	39
6.3.9 Derivada Horizontal (DY)	39
6.3.10 Campo Magnético Residual (CMR)	40
6.3.11 Derivada Horizontal Total (THDR)	40
6.3.12 Campo Magnético Residual – THDR (CMR–THDR)	41
6.3.13 Derivada Horizontal (DX)	41
6.3.14 Derivada Vertical (DZ)	42
7. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS	43
8. RESULTADOS	46
8.1 Reconhecimento Geológico e Estrutural.....	46
8.2 Aerolevantamento	48
8.3 Gamaespectrometria	49
8.4 Magnetometria	52
9. INTEGRAÇÃO E DISCUSSÕES	56
10. CONCLUSÕES.....	58
11. REFERÊNCIAS	60
ANEXO I – MEDIDAS ESTRUTURAIS DE FOLIAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO.....	66
ANEXO II - MEDIDAS ESTRUTURAIS DE FRATURA NA ÁREA DE ESTUDO	69
ANEXO III – MAPAS MAGENTOMÉTRICO.....	71

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por recursos minerais amplia o interesse econômico e científico por novos alvos prospectivos no Brasil. Entre os metais de maior relevância econômica, o ouro mantém importância estratégica tanto pelo papel como ativo financeiro quanto por sua ampla aplicação industrial. Em 2024, o consumo mundial atingiu 4.974 toneladas, o maior valor já registrado, impulsionado pelo aumento dos investimentos institucionais e pela expansão das reservas adquiridas por bancos centrais (World Gold Council, 2025). A China conduziu esse movimento ao ampliar significativamente suas aquisições, o que reforçou a valorização do metal no mercado internacional (China Daily, 2025).

O Brasil é um tradicional produtor de ouro, que remonta ao período da colônia portuguesa e acumula mais de 300 anos de pesquisas e explorações (DNPM, 2001; Misi & Fraga, 2018). No Rio Grande do Sul, os primeiros relatos de ocorrência de ouro aparecem nas atividades dos jesuítas nos séculos XVII e XVIII, quando grupos missionários registraram aluviões auríferos em áreas próximas às reduções (Kern, 1998; CPRM, 2000).

A região do Escudo Sul-Riograndense, domínio geológico metavulcano-sedimentar (neoproterozóico) localizado entre o Sul do Brasil e Norte do Uruguai, apresenta dezenas de registros de depósitos de Au e Cu, alguns dos quais lavrados de forma esporádica durante os séculos XIX e XX (CPRM, 2000). O potencial mineral regional justificou a realização de projetos de prospecção geoquímica regional pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Os resultados identificaram bacias hidrográficas anômalas para ouro, algumas das quais desconhecidas e inexploradas quanto ao potencial para depósitos minerais primários.

A geofísica é uma tradicional ferramenta em exploração mineral em termos regionais ou de detalhe na identificação de alvos potencialmente mineralizados. Os levantamentos aerogeofísicos fornecem informações essenciais sobre contrastes litológicos e estruturais em grande escala, especialmente a partir dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. No entanto, o espaçamento amplo das linhas de voo limita a interpretação de alvos de pequena expressão (Reeves, 2005; Nabighian *et al.*, 2005).

Entretanto, o detalhamento geofísico terrestre pode ser uma alternativa de destaque em projetos de reconhecimento exploratório em bacias hidrográficas anômalas, em busca de fontes primárias de minérios, com destaque para ouro, cassiterita, diamante, dentre outros. A magnetometria permite reconhecer estruturas, falhas e contatos geológicos que controlam a circulação de fluidos mineralizantes, aspecto amplamente documentado na literatura clássica (Dobrin & Savit, 1988; Telford, Geldart & Sheriff, 1990; Dentith & Mudge, 2014). A

gamaespectrometria complementa essa abordagem ao quantificar a distribuição natural de potássio, urânio e tório, elementos frequentemente associados a padrões hidrotermais e zonas de alteração vinculadas à mineralização de ouro (Dickson & Scott, 1997, Carson *et al.*, 2020). Por essas razões, a combinação desses métodos é considerada uma estratégia recomendada nas fases de detalhamento de prospecção aurífera, como descrito por Killeen (1982), Wilford *et al.* (1997), Lima *et al.* (2025) e Fernandes *et al.* (2026)

Este estudo investiga uma bacia hidrográfica situada no Rio Grande do Sul (extremo Sul do Brasil), onde análises geoquímicas identificaram anomalias auríferas em sedimentos ativos em drenagem. A investigação busca adquirir e integrar dados gamaespectrométricos, magnetométricos e drone com informações geológicas para delimitar possíveis fontes primárias de ouro. Dessa forma, o estudo contribui para aprimorar as metodologias usadas na pesquisa mineral de detalhe e demonstra a relevância de uma abordagem integrada, versátil e rápida, principalmente em cenários favoráveis à exploração de minérios pelo aumento de demanda em termos mundiais.

10. CONCLUSÕES

A integração de dados gamaespectrométricos, magnetométricos, estruturais e aerofotogramétricos demonstrou a eficiência de uma estratégia de pesquisa mineral de ampla varredura, para a identificação de setores favoráveis à mineralização aurífera na bacia do Cerro da Cria. A distribuição dos radioelementos permitiu diferenciar as unidades litológicas, com o Granito Cerro da Cria com teores mais elevados de K e eTh, enquanto as unidades metamórficas exibem baixos valores radiométricos, sem evidências de controle direto da proveniência do ouro a partir do granito.

Os resultados indicam que o enriquecimento em K e Th no setor nordeste da bacia está associado a um sistema de alteração hidrotermal potássica controlado por fraturas e zonas de cisalhamento que cortam o Granito Cerro da Cria. A correlação entre alto valores magnéticos no ASA e anomalias radiométricas sugere destruição ou transformação da magnetita, que caracterizam domínios de alteração hidrotermal intensificada associados com ambientes favoráveis à deposição de ouro em sistemas controlados estruturalmente. Os lineamentos magnetométricos, predominantemente orientados na direção leste-oeste, correspondem a uma fase intermediária de deformação regional.

A presença de pegmatitos formados em uma fase deformacional mais antiga, posteriormente cortados por estruturas associadas a uma fase mais jovem, evidencia um regime tectônico polifásico na área de estudo. A deformação tardia pode ter favorecido a remobilização de elementos químicos previamente concentrados, por meio da circulação de fluidos em zonas de menor pressão associadas às zonas de cisalhamento.

Nesse contexto, a Mina Cerrito do Ouro pode representar um exemplo regional desse processo. Durante sua atividade, a mina explotou ouro associado a um pegmatito hospedado em um sistema de dobras da Sequência Metamórfica Vacacaí, localizado a aproximadamente 4 km da área de estudo. O filão mineralizado apresenta orientação NW, enquanto a zona de cisalhamento identificada neste estudo possui direção NE, associada à fase deformacional D3 regional. Dessa forma, sugere-se que eventos tectônicos posteriores possam ter promovido a deformação, remobilização ou mesmo a obliteração parcial de corpos mineralizados originalmente contínuos e formação de ocorrências auríferas de expressão local.

De forma integrada, os resultados indicam que as fontes primárias da anomalia aurífera em sedimentos de corrente provavelmente têm origem na zona de cisalhamento Cerro da Cria em termos locais, com uma possível continuidade do sistema de cisalhamento Palma em termos regionais.

A sistemática de uso combinado de magnetometria e gamaespectrometria terrestre semi-regional possibilitou uma varredura de detalhe em 70 hectares da bacia hidrográfica em 5 dias de trabalhos de campo, portanto, uma estratégia versátil e rápida para discriminação de alvos aflorantes para ouro primário. A etapa seguinte num projeto de exploração mineral seria a abertura de trincheiras ortogonais ao alvo para coleta de amostras de grande volume e definição de teores de Au.

Diante dos resultados deste estudo, zonas de cisalhamento neste domínio geológico representam alvos prioritários em projetos de pesquisa mineral regionais para ouro, seja para alvos aflorantes como no caso em questão, seja para eventuais descobertas de depósitos profundos. Para o caso de alvos não aflorantes é recomendado o uso combinado de levantamentos de polarização induzida (IP) e resistividade (Res) combinados em aquisições tomográficas, que podem servir tanto como etapa diagnóstica como para definição de alvos para sondagem e definição de teores.

11. REFERÊNCIAS

- AGISOFT. *Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition*. Version 1.8. St. Petersburg: Agisoft, 2022.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.
- ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, YOCITERU & NEVES, B.B. & FUCK, REINHARDT. (1977). Províncias estruturais brasileiras. *Actas. VII Simpósio de Geologia do Nordeste*. 366-391.
- BARROS, M.F.S., MOREIRA, C.A., CARLOS, D.U. e outros. Caracterização geofísica integrada de uma bacia hidrográfica aurífera na região do Cerro da Cria, escudo sul-riograndense, sul do Brasil. *Discov Geosci* **4**, 107 (2026). <https://doi.org/10.1007/s44288-026-00481-x>
- BETTENCOURT, J. S.; LEITE, W. B.; RUIZ, A. S.; MATOS, R.; PAYOLLA, B. L.; TOSDAL, R. M. The Rondonian–San Ignacio Province in the Amazonian Craton: an overview. *Gondwana Research*, v. 17, p. 411–426, 2010.
- BITENCOURT, M. F.; NARDI, L. V. S. Tectonic setting and magmatism in southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, p. 274–278, 2000.
- BITENCOURT, M. F.; PHILIPP, R. P.; NARDI, L. V. S. Magmatismo e tectônica no Cinturão Dom Feliciano: uma revisão. *Precambrian Research*, v. 315, p. 21–39, 2018.
- BLAKELY, Richard J. *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- BLAKELY, Richard J.. *Potential Theory in Gravity & Magnetic Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 441 p.
- BRIGGS. I. C. Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics*, 39(1), 39–48. 1974.
- BURGER, H. R.; SHEEHAN, A. F.; JONES, C. H.. *Introduction to Applied Geophysics: Exploration geophysics of the shallow subsurface*. New York: Norton & Company, 2006. 622 p.
- CARDOSO, E. de M.. *Radioatividade: Apostila Educativa*. Comissão Nacional de Energia Nuclear (Apostila). Rio de Janeiro, 2004. 19 p.
- CARRINO, T. A.; SOUZA FILHO, C. R.; LEITE, E. P.; RIBEIRO, F. B. Gamaespectrometria aerotransportada aplicada ao mapeamento geológico e à prospecção mineral. *Revista Brasileira de Geofísica*, Rio de Janeiro, v. 29, n. 3, p. 467–482, 2011.
- CARSON, C. J. *et al.* Radiometric mapping for mineral exploration: recent advances and case studies. *Journal of Applied Geophysics*, v. 180, p. 104–118, 2020.

CHAVES, M. L. S. C.; SILVA, R. C.; OLIVEIRA, T. L.; PEREIRA, V. P. Gold mineralization in southern Brazil: structural control and metallogenic model. *Ore Geology Reviews*, v. 132, p. 103986, 2021.

CHEMALE JR., F. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (org.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000.

CHEMALE JR., F.; HARTMANN, L. A.; REMUS, M. V. D. Tectonic evolution of southern Brazilian shield. *Precambrian Research*, v. 225, p. 128-153, 2012.

CHEMALE JÚNIOR, F.; HARTMANN, L. A.; BABINSKI, M.; WILDNER, W.; VAN SCHUMUS, W. R. Evolução tectônica do Bloco São Gabriel, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Balneário Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos[...] Balneário Camboriú: SBG, 1994. v.1, p. 232-233

CHINA DAILY. Continued surge likely in gold investment demand in China market. 12 fev. 2025.

CLARK, D. A.; EMERSON, D. W.; MCGOWAN, P. Interpretation of magnetic data in areas of hydrothermal alteration. *Exploration Geophysics*, v. 45, p. 1–15, 2014.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM) – Serviço Geológico do Brasil. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB): Folha Cachoeira do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2000.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Programa Nacional de Prospecção de Ouro – Relatório final. Porto Alegre: CPRM, 2000.

CORRÊA, R. S.; PHILIPP, R. P.; MASSONNE, H.-J. Structural and microstructural constraints on syn- to late-magmatic deformation of Neoproterozoic granites from the Dom Feliciano Belt, southern Brazil. *Journal of Structural Geology*, v. 125, p. 1–18, 2019.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2014.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Escala 1:750.000. Brasília: CPRM, 1995.

DENTITH, M.; MUDGE, S. Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys — additions and comparisons. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, v. 17, p. 187–200, 1997.

DJI. *Mavic 3T Datasheet*. DJI, 2023. Disponível em: <https://www.dji.com/mavic-3>. Acesso em: 14 out. 2025.

DNPM. Sumário Mineral Brasileiro – Ouro. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2001.

DOBRIN, M. B.; SAVIT, C. H. *Introduction to Geophysical Prospecting*. New York: McGraw-Hill, 1988.

DUNLOP, David J.; ÖZDEMİR, Özgür. *Rock magnetism: fundamentals and frontiers*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

EBONG, E. D.; PRINGLE, J. K.; LOCKETT, J.; CRAWFORD, D. C. Electrical resistivity tomography (ERT) and induced polarization (IP) investigations for mineral exploration in crystalline basement terrain. *Journal of African Earth Sciences*, v. 99, p. 398–409, 2014.

ELIS, V. R.; ZUQUETTE, L. V. Aplicação integrada de métodos geofísicos na investigação geotécnica para caracterização de áreas com cavidades subterrâneas. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 145–156, 2002.

EPOV, M. I.; ANISIMOV, S. V.; DOLGOV, V. A. Airborne electromagnetic systems for mineral exploration: State of the art and future trends. *Russian Geology and Geophysics*, v. 58, n. 9, p. 1045–1056, 2017.

FAURE, Gunter; MENSING, Teresa M. *Isotopes: principles and applications*. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2005.

FERNANDES, L. A. D.; PHILIPP, R. P.; BITENCOURT, M. F. Transpressão neoproterozoica no Cinturão Dom Feliciano. *Brazilian Journal of Geology*, v. 50, p. e20200043, 2020.

FERNANDES, L. A. D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C. C. Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 5, p. 77-96, 1992.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: as orogêneses dos cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 21, n. 2, p. 93–106, 1991.

GOLDFARB, R. J.; GROVES, D. I.; GARDOLL, S. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Reviews*, v. 18, p. 1–75, 2005.

GROVES, D. I.; GOLDFARB, R. J.; GEBRE-MARIAM, M.; HAGEMANN, S. G.; ROBERT, F. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, v. 13, n. 1–5, p. 7–27, 1998.

HARTMANN, J.A.; SILVA, L.C.; REMUS, M.V.D.; LEITE, J.A.D.; PHILLIP, R.P. Evolução geotectônica do sul do Brasil e Uruguai entre 3,3 Ga e 470 Ma. In: CONGRESO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 2, 1998.

HARTMANN, L. A.; LEITE, J. A. D.; McNAUGHTON, N. J.; SANTOS, J. O. S. Magmatismo félsico neoproterozoico no sul do Brasil: datações U-Pb e implicações tectônicas. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 15, p. 477-489, 2003.

HARTMANN, L. A.; REMUS, M. V. D.; SILVA, L. C.; PHILIPP, R. P. Eventos estruturais superpostos no Terreno São Gabriel, RS. *Brazilian Journal of Geology*, v. 37, p. 231-248, 2007.

HARTMANN, L. A.; SILVA, L. C.; REMUS, M. V. D. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2000.

HARTNADY, C.; JOUBERT, P.; STOWE, C. Proterozoic Crustal Evolution in Southwestern Africa. *Episodes Journal of International Geoscience* 1985.

IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. Vienna: IAEA, 2003.

KAZMIERCZAK, T. S. 2006. Mapeamento da bacia do Camaquã com a utilização de dados geofísicos, geologia e sensoriamento remoto. 110 f. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. An introduction to geophysical exploration. 3. ed. Oxford: Blackwell Science, 2002.

KERN, A. Missões Jesuíticas: história, geografia e arqueologia. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1998.

KILLEEN, P. G. Gamma-ray spectrometric methods in uranium exploration. *Geological Survey of Canada*, Paper 82-22, 1982.

KNOLL, Glenn F. Radiation detection and measurement. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.

KONZEN, A. M. Processamento e interpretação de dados magnetométricos aplicados à geologia. 2002. Dissertação (Mestrado em Geociências) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

KOPPE, J. C. Evolução estrutural e metamórfica da Sequência Vacacaí, Escudo Sul-Riograndense. 1990. Dissertação (Mestrado em Geociências) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

LAUX, J. H. et al. Tectonic evolution of the Mantiqueira Province and its role in the amalgamation of Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 108, 2021.

LAVINA, E. L.; FACCINI, U. F.; RIBEIRO, M. Ambiente deposicional e evolução tectônica da Bacia do Camaquã, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 21, n. 4, p. 321–333, 1991.

LIMA, R. S. *et al.* Aplicações integradas de magnetometria e gamaespectrometria na prospecção de ouro em terrenos metavulcano-sedimentares. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 43, n. 1, p. 55–72, 2025.

LOPES, A. P.; HARTMANN, L. A. Vulcanismo ácido do Grupo Camaquã: caracterização e ambiente tectônico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, p. 145-156, 2007.

LOWRIE, William. *Fundamentals of geophysics*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

LUIZ, J. G.; COSTA E SILVA, L. M.. Geofísica de Prospeção. Belém: Universidade Federal do Pará; Cejup, 1995. 300 p.

MINTY, B. R. G. *Practical Gamma-Ray Spectrometry for the Earth Sciences*. Oxford: Elsevier, 1997.

MISI, A.; FRAGA, L. M. Metalogênese do ouro no Brasil. *Geologia USP – Série Científica*, v. 18, n. 3, p. 3–28, 2018.

MUSSET, A. E.; KHAN, M. A. *Physics of the Earth's Radiation Fields*. New York: Academic Press, 2000.

NABIGHIAN, M. N. et al. The historical development of the magnetic method in exploration. *Geophysics*, v. 70, n. 6, p. 33–61, 2005.

NABIGHIAN, M. N. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, Tulsa, v. 37, n. 3, p. 507–517, 1972.

NARDI, L. V. S.; BITENCOURT, M. F. Granitos e magmatismo granítico do Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (org.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2006. p. 193–232.

NARDI, L. V. S.; HARTMANN, L. A. O Complexo granulítico Santa Maria Chico do Escudo Sulriograndense. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, RS, v. 6, p. 45-75, 1979.

OLDENBURG, D. W.; LI, Y. Estimating depth of investigation in DC resistivity and IP surveys. *Geophysics*, v. 64, n. 2, p. 403–416, 1999.

OYHANTÇABAL, P., SIEGESMUND, S., WEMMER, K., 2010. The Rio de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences*, v.100, p. 201-220.

PAIM, M. M.; FACCINI, U. F.; LIMA, E. F. A Bacia do Camaquã: um registro de sedimentação e vulcanismo pós-colisional no Escudo Sul-Rio-Grandense. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, p. 189-201, 2000.

PHILIPP, R. P., BITENCOURT, M. F., JUNGES, S. L., Nd isotopic study of the Neoproterozoic Vila Nova Arc, south Brazil: implication for evolution of the São Gabriel Belt. *Journal of South American Earth Sciences*, Londres, v.subm., subm, 2011.

PHILIPP, R. P.; FERNANDES, L. A. D.; BITENCOURT, M. F.; NARDI, L. V. S. Orogenic systems of the Dom Feliciano Belt in southern Brazil. *Precambrian Research*, v. 299, p. 89-114, 2018.

PHILIPP, R. P.; MASSONNE, H.-J.; ARENHARDT, R. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in southern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, v. 46, n. 4, p. 1–22, 2016.

PHILIPP, Ruy Pereira; NARDI, Leonardo V. S.; BITENCOURT, Marcelo F.; KAWASHITA, Koji. Granitos pós-colisionais do Escudo Sul-Riograndense: geocronologia, evolução magmática e implicações tectônicas. *Pesquisas em Geociências*, v. 40, n. 2, p. 179–198, 2013.

PIRAJNO, F. Hydrothermal processes and mineral systems. Dordrecht: Springer, 2009.

RADIATION SOLUTIONS INC. *RS-332 Gamma-Ray Spectrometer User Manual*. Mississauga: Radiation Solutions Inc., 2017.

REEVES, C. *Aeromagnetic Surveys: Principles, Practice & Interpretation*. Fugro Airborne Surveys, 2005.

REIN, C.; RITTER, O.; WECKMANN, U. Magnetotelluric and geomagnetic depth sounding in mineral exploration: A case study. *Geophysical Journal International*, v. 159, n. 2, p. 607–621, 2004.

REYNOLDS, J. M. *An introduction to applied and environmental geophysics*. 2. ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011.

ROEST, W. R.; VERHOEF, J.; PILKINGTON, M. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, Tulsa, v. 57, n. 1, p. 116–125, 1992.

SCHNEIDER, C. L.; REMUS, M. V. D.; HARTMANN, L. A. Quartz veins and gold mineralization in transcurrent shear zones of southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 16, p. 303–314, 2003.

SHIVES, R. B. K. The use of geophysical methods in the detection of hydrothermal alteration associated with gold deposits. *Exploration Geophysics*, v. 31, p. 1–12, 2000.

SOLIANI JUNIOR, E.; HARTMANN, L. A.; REMUS, M. V. D. Geologia do Escudo Sul-Riograndense: síntese do conhecimento. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 1, p. 3–16, 2000.

SOUZA, S. B.. Feições regionais da porção emersa do Alto de Cabo-Frio e sua continuação para as Bacias de Campos e Santos. 131 p. Dissertação (Faculdade de Geologia), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

WILFORD, J.; BIERWIRTH, P.; CRAIG, M. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, v. 17, p. 201–216, 1997.

WORLD GOLD COUNCIL (WGC). *Gold Demand Trends – Full Year 2024*. Londres: World Gold Council, 2025. Acesso em: 28 nov. 2025.

YURKEVICK, N. V.; EPOV, M. I.; RODIONOV, A. G. Application of electromagnetic and magnetic methods in mineral exploration. *Russian Geology and Geophysics*, v. 58, p. 1241–1253, 2017.