



**Análise da Eficiência do GPR na Determinação da Espessura de Ocorrências de Manganês nos Municípios de Guiratinga e Tesouro, Mato Grosso – Brasil**  
**Analysis of the Efficiency of GPR in Determining the Thickness of Manganese Occurrences in the Municipalities of Tesouro and Guiratinga, Mato Grosso State – Brazil**

Ciro Calachibete<sup>1</sup>; Welitom Rodrigues Borges<sup>1</sup>;  
Ângela Augusta Passos Corrêa<sup>1</sup> & Antônio David Passos Correa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodimâmica, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC- Ala Central, Asa Norte, CEP 70.910-900, Brasília, Distrito Federal - Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Geociências,

Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, Bairro Boa Esperança, CEP 78.060-900, Cuiabá, Mato Grosso -Brasil

E-mails: calachibete@yahoo.com.br; welitom@unb.br; aapcor@ibest.com.br; correacadavid@msn.com

Recebido em 16/04/2019 Aprovado em 10/05/2019

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_3\\_154\\_163](http://dx.doi.org/10.11137/2019_3_154_163)

## Resumo

Nos municípios de Tesouro e Guiratinga, Estado de Mato Grosso, existem jazidas sedimentares e supergênicas de manganês que ocorrem na forma de lentes e camadas dentro da Formação Palermo, da Bacia do Paraná. Em função da baixa profundidade de ocorrência dos jazimentos (menor que 10 metros) na região, este trabalho prevê o uso do método geofísico do radar de penetração no solo (GPR) para avaliar a espessura do minério no subsolo. Nas aquisições GPR usaram-se antenas blindadas de 200 e de 400 MHz para o registro dos dados ao longo de 3 áreas onde se registram afloramentos de minério de manganês. No processamento dos dados de GPR notou-se que o minério de manganês mostra um padrão de alta refletividade, em função da impedância elétrica com o solo de topo, e com as rochas de base. Nas seções de GPR registraram-se espessuras de 0,30 a 4 metros de minério de manganês, ao longo de grande parte dos perfis. Evidenciando assim, que a ocorrência do corpo mineral se dá em forma de camada contínua e irregular. Apesar da pequena espessura da jazida de manganês, o elevado teor do minério, e a disponibilidade de vias de transporte do mesmo, viabiliza a produção mineral nas áreas. Assim, o GPR confirmou-se como um método indireto essencial para a determinação da espessura do minério de manganês na região, visto a minimização do custo operacional (redução de sondagens e agilidade na obtenção da informação).

**Palavras-chave:** GPR, manganês, Bacia do Paraná

## Abstract

In the municipalities of Tesouro and Guiratinga, in the State of Mato Grosso, there are sedimentary and supergenic manganese deposits that occur in the form of lenses and layers within the Palermo Formation, in the Paraná Basin. Due to the low depth of occurrence of the deposits (less than 10 meters) in the region, this work predicts the use of the ground penetrating radar (GPR) to evaluate the thickness of the manganese ore in the subsol. In the GPR acquisitions were used 200 and 400 MHz shielded antennas to record the data along 3 areas where occurs manganese ore outcrops. In the processing of the GPR data it was noticed that the manganese ore shows a high reflectivity pattern, due to the electrical impedance with the top soil, and with the base rocks. In the GPR sections, thicknesses of 0.30 to 4 meters of manganese ore were recorded along most of the profiles. Thus, the occurrence of the mineral body occurs in the form of continuous and irregular layers. Despite the small thickness of the manganese deposit, the high content of the ore, and the availability of transportation routes, makes the mineral production feasible in the areas. Thus, GPR has been confirmed as an essential indirect method for the determination of the thickness of the manganese ore in the region, considering the minimization of operational cost (reduction of boreholes and agility in obtaining information).

**Keywords:** GPR, manganese ore, Paraná Basin



## 1 Introdução

O minério de manganês é um dos primeiros minerais com produção regular no Brasil, sua produção data do século XIX (ANM, 2018). Este minério é essencial para a produção de aço visto sua propriedade de dessulfurização (retirada do enxofre).

A produção média brasileira de minério de manganês representa 20% da produção mundial. As reservas para atender ao mercado encontram-se principalmente nos estados do Pará, Mato Grosso do Sul e Rondônia, todavia a produção nacional é insuficiente para atender ao mercado (ANM, 2018).

No Brasil, as principais jazidas minerais de manganês ocorrem sobre rochas ígneas e metamórficas na região norte (Pará, Maranhão, Amazonas, Tocantins e Piauí). Em bacias sedimentares são raras as ocorrências deste tipo de mineral, principalmente em volumes representativos para gerar jazidas econômicas.

Em 2011, algumas companhias de mineração (FERLIG e EGMX) identificaram depósitos de manganês nos municípios de Guiratinga e de Tesouro, no estado de Mato Grosso. Assim, em 2012 iniciou-se a exploração deste minério na região. A partir destas jazidas, houve um crescimento no registro de ocorrências minerais, o que

atraiu a atenção para a região nomeada de Província Manganêsífera de Guiratinga (Figura 1).

A partir de 2014, em função da Cooperação firmada entre a Companhia Matogrossense de Mineração (METAMAT) e o Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB), os pesquisadores destes órgãos iniciaram pesquisas na região de Guiratinga, estado de Mato Grosso, com o objetivo de mapear as potenciais ocorrências minerais de manganês. Neste mapeamento optou-se por utilizar as metodologias tradicionais (mapeamento geológico básico, geoquímica de solo e de rocha, análise geoespacial, etc.) e metodologias indiretas (espectrometria, eletrorresistividade e radar de penetração do solo).

Durante o mapeamento geofísico na região encontraram-se depósitos de manganês com elevado potencial econômico. Estes depósitos nunca foram descritos em unidades geológicas da Bacia do Paraná, o que evidencia o caráter inédito deste trabalho.

Em afloramentos notaram-se que estas ocorrências de manganês não ultrapassam 6 metros de profundidade, deste modo, optou-se pela escolha do método geofísico radar de penetração do solo (*Ground Penetrating Radar – GPR*) para o desenvolvimento da pesquisa em função de sua elevada eficiência na resolução de alvos rasos, além de sua agilidade na aquisição dos dados.

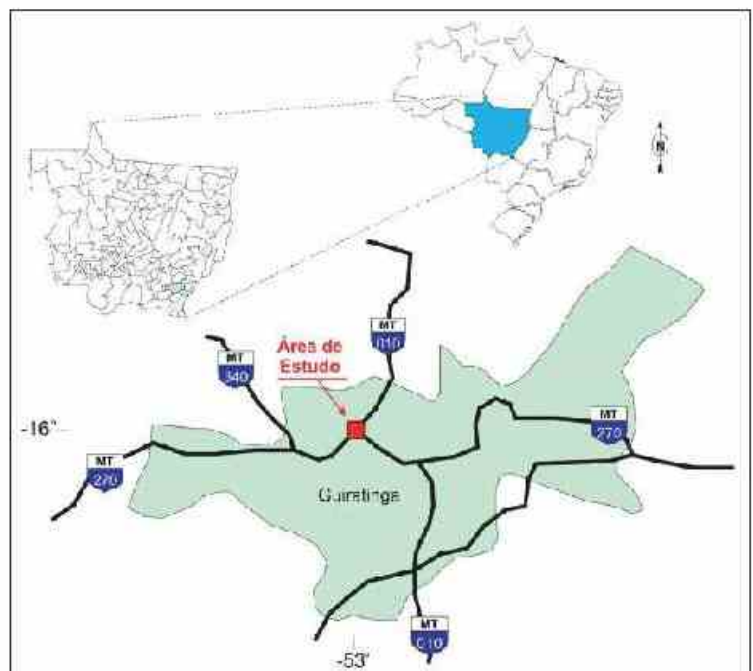


Figura 1 Mapa de localização do município de Guiratinga, MT, com as principais vias de acesso e a área de pesquisa.

## 2 Contexto Geológico

A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica marcada por eventos alternados de subsidências e soerguimentos (Assine, 1996). No Brasil, ocupa porções dos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, abrangendo também, regiões do Paraguai, Argentina e Uruguai (Moreton, 2001; Milani *et al.* 2007).

A sucessão paleozoica da Bacia do Paraná na região de estudo é representada pelas formações Aquidauana (Grupo Itararé), Palermo (Grupo Guatá) e Irati (Grupo Passa Dois). As ocorrências da Formação Palermo e Irati estão em partes condicionadas a um relevo arrasado, sotopostos aos sedimentos arenosos da Formação Aquidauana e mostram-se abtidos durante a tafrogênese cretácea (Saes, 1999). Apresentam-se como camadas estratiformes ou lenticulares e, são encontradas nos arredores dos municípios de Guiratinga e Tesouro.

A Formação Aquidauana na área é caracterizada, predominantemente por arenitos finos a grossos, mal selecionados e mal classificados, de coloração

rósea a avermelhada. Notam-se poucos afloramentos de siltitos e argilitos na região, visto que os principais afloramentos são encontrados nas margens das drenagens, nas escarpas de morros e nos cortes de estradas (Figura 2A).

O Grupo Passa Dois é representado na região pela Formação Irati, a qual assenta-se em contato brusco sobre a Formação Palermo, e é constituída na região por calcários dolomíticos cinza e estromatólitos silicificados (Figura 2B).

Na área, a Formação Palermo assenta em contato abrupto sobre os arenitos vermelhos da Formação Aquidauana. Constitui-se, essencialmente, por sedimentos de granulação fina, com predominância de argilitos, siltitos e arenitos finos de cores acinzentadas a róseas (Figura 2C). Nas camadas de argilitos é comum a presença de finas lentes de óxido de manganês.

### 2.1 Geologia do Manganês

O minério de manganês encontra-se oxidado quando exposto em blocos e, carbonatado, visto nos



Figura 2 Fotografias evidenciam a ocorrência de rochas da Bacia do Paraná na região de Guiratinga/MT (A) Afloramento de arenito média a grosso da Fm. Aquidauana (B) Afloramento de calcário da Fm. Irati. (C) Camadas de argilitos da Fm. Palermo na área da Fazenda Taboca.

Figura 3 Fotografias evidenciam a ocorrência de depósitos de óxido de manganês na região (A) Afloramento de camadas de manganês na área da Fazenda Taboca (B) Afloramento de camadas de manganês na área da mineradora EGMX (C) Cascalho de óxido de manganês na área da mineradora FERLIG (D) Extração de minério de manganês no topo de escarpa



cortes de trincheiras e escarpas das serras (Figura 3). As camadas do minério apresentam-se plano paralelas, com a textura pulverulenta ou em concreções de tamanhos que variam de 0,5 cm a 10 cm de diâmetro, encaixados em níveis areníticos.

Em termos dos óxidos, de acordo com os resultados de sondagens, coexistem, sobrepostos aos argilitos basais da Formação Palermo, lentes de manganês que apresentam espessuras que variam na ordem de 0,4 a 8 metros nas circunvizinhanças dos municípios de Tesouro e Guiratinga. As primeiras amostras descritas e analisadas foram caracterizadas por elevados teores de sílica, o que é característico em rochas de enriquecimento supergênico ou depósitos secundários de enriquecimento residual. Sua estrutura é maciça e em alguns fragmentos seixos descritos apresenta a textura botroidal.

Os teores encontrados nas amostras coletadas nos setores visitados são da ordem de 45 a 51% de Mn, os quais estão localizados na borda oeste do compartimento geomorfológico “Planalto da Serra do Céu”, Fazenda Taboca, ambos situados no município de Guiratinga e também levantados na área

da Mineração EGMX, município de Tesouro, onde ocorrem as maiores espessuras do minério, representados por lentes friáveis, e de espessuras variáveis na ordem de 1 a 8 metros em bolsões mais localizados conforme medido em cavas de garimpos.

O minério revelou-se em algumas amostras analisadas (litoquímica) como sendo a “Psilomelana”, o segundo mais importante sob o aspecto comercial. É um óxido hidratado contendo de 45 a 55% de Mn com quantidades consideráveis de bário e potássio. Em amostras analisadas, constatou-se a presença de bário em teores que se aproximam a 12%. O alto teor desse elemento indicaria um manganês do tipo “Romanechita”. As ocorrências desses óxidos ainda não foram catalogadas na literatura em caráter de jazimento, mas acredita-se que ao longo da borda leste da Bacia do Paraná e, associada a Formação Palermo, existam um volume expressivo de rochas manganíferas, representadas ambas com vocação para Nb -Ta e outros pesados.

Devido à quantidade de sílica observada nas amostras, às observações de campo, que indicam a presença do protominério sotoposto a este, e à ocor-

rência de crosta laterítica manganésifera, acredita-se que o minério em Guiratinga e Tesouro seja de origem supergênica.

Os depósitos de manganês desta província ocorrem na direção N75W e com mergulhos suaves de 30 graus de sentido NE. As camadas apresentam geometrias lenticulares, estendidas em escalas regionais, em partes sendo erodidas por processos intempéricos distintos na região. Os morros testemunhos que preservam a Formação Palermo contêm indicativos da presença do minério, face à disposição de crostas lateríticas manganésíferas que ocorrem distribuídas ao longo de seus platôs.

Nos cortes de escarpas de unidades basais (Formação Aquidauana) não foram visualizados níveis manganésíferos e, provavelmente essa ocorrência está condicionada ao ambiente lacustre do Palermo, conforme sugerido por Saes (1999). Esse minério na unidade basal sedimentar (Formação Aquidauana), indica a migração por fluxos aquosos do minério por estruturas de falhas e outras estru-

ras regionais, formadas em um processo de quietude da bacia (Figura 4). Assim, é possível mapear a ocorrência do manganês na unidade basal da principal formação que compõem o minério, a Formação Palermo.

### 3 Metodologia

A pequena cobertura sedimentar existente sobre as jazidas de manganês (menor que 6 metros) justifica o uso de métodos geofísicos rasos na etapa de pesquisa mineral, tanto para orientar, como para diminuir a quantidade de furos de sondagens a serem feitos na região, face à baixa exposição de afloramentos com potenciais econômicos, minimizando os custos e o tempo de execução desta etapa.

Neste trabalho utilizou-se o método GPR em função da sua eficiência na identificação de jazidas de manganês em outras áreas (Botelho, 2007). A aplicação do método GPR nas áreas objetiva a determinação do topo e base do minério de manganês, uma vez que a resposta geofísica modifica-se

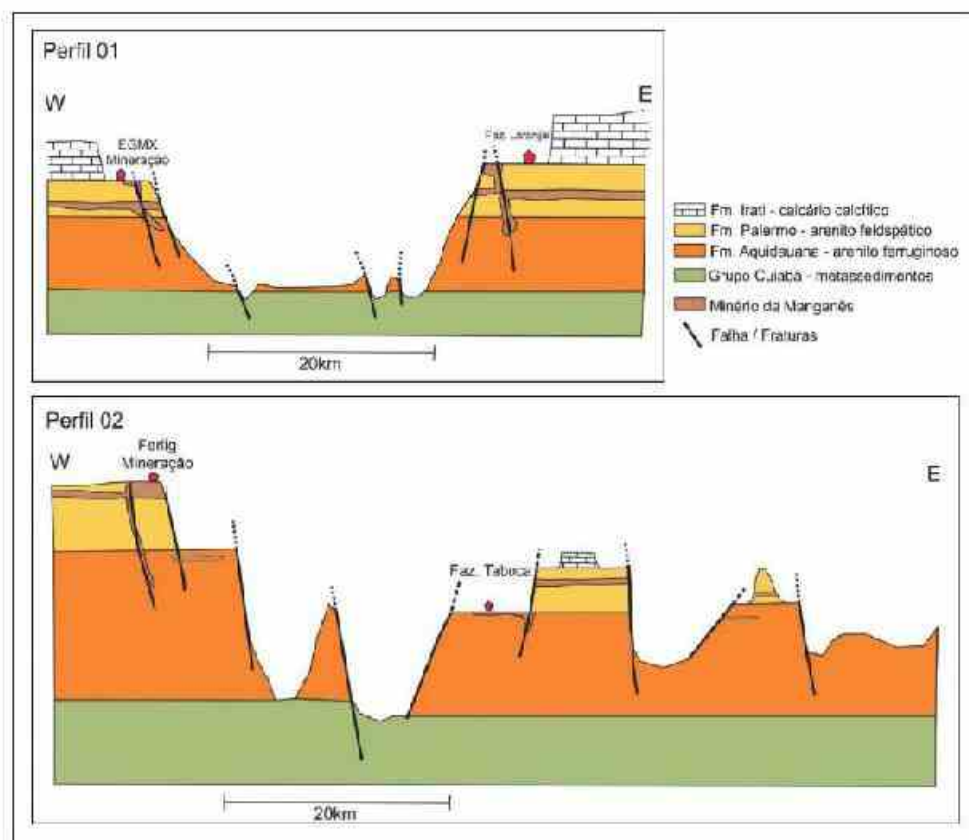


Figura 4 Seções geológicas da área da pesquisa com a indicação estratigráfica dos jazimentos de manganês na região de Tesouro e Guiratinga.

em função da gênese do minério. Os depósitos sedimentares e vulcanogênicos mostram comportamento condutivo, o que atenua o sinal do GPR, ao passo que depósitos de enriquecimento supergênico, em função da grande quantidade de material oxidado e do grande conteúdo de poros vazios, aparecem como anomalias resistivas o que favorece a penetração do sinal do GPR.

No campo realizaram-se perfis de GPR em três áreas (Figuras 5), onde haviam informações diretas sobre a espessura do minério de manganês (aflo-

mentos e dados de sondagem a trado). Na aquisição de dados, usou-se o sistema GPR SIR3000, acoplado a antenas blindadas de 200MHz e de 400 MHz conectadas a uma roda odométrica (Figura 6). Durante as aquisições usaram-se os parâmetros de 1024 amostras por traço, amostragem espacial de 2cm, janela temporal de 200ns, amostragem temporal de 0,195ns e frequência de amostragem de 2500MHz para ambas frequências de antenas. Escolheram-se estes parâmetros com o objetivo de investigar o subsolo até a profundidade média de 8 metros, com uma excelente resolução espacial (2 cm).

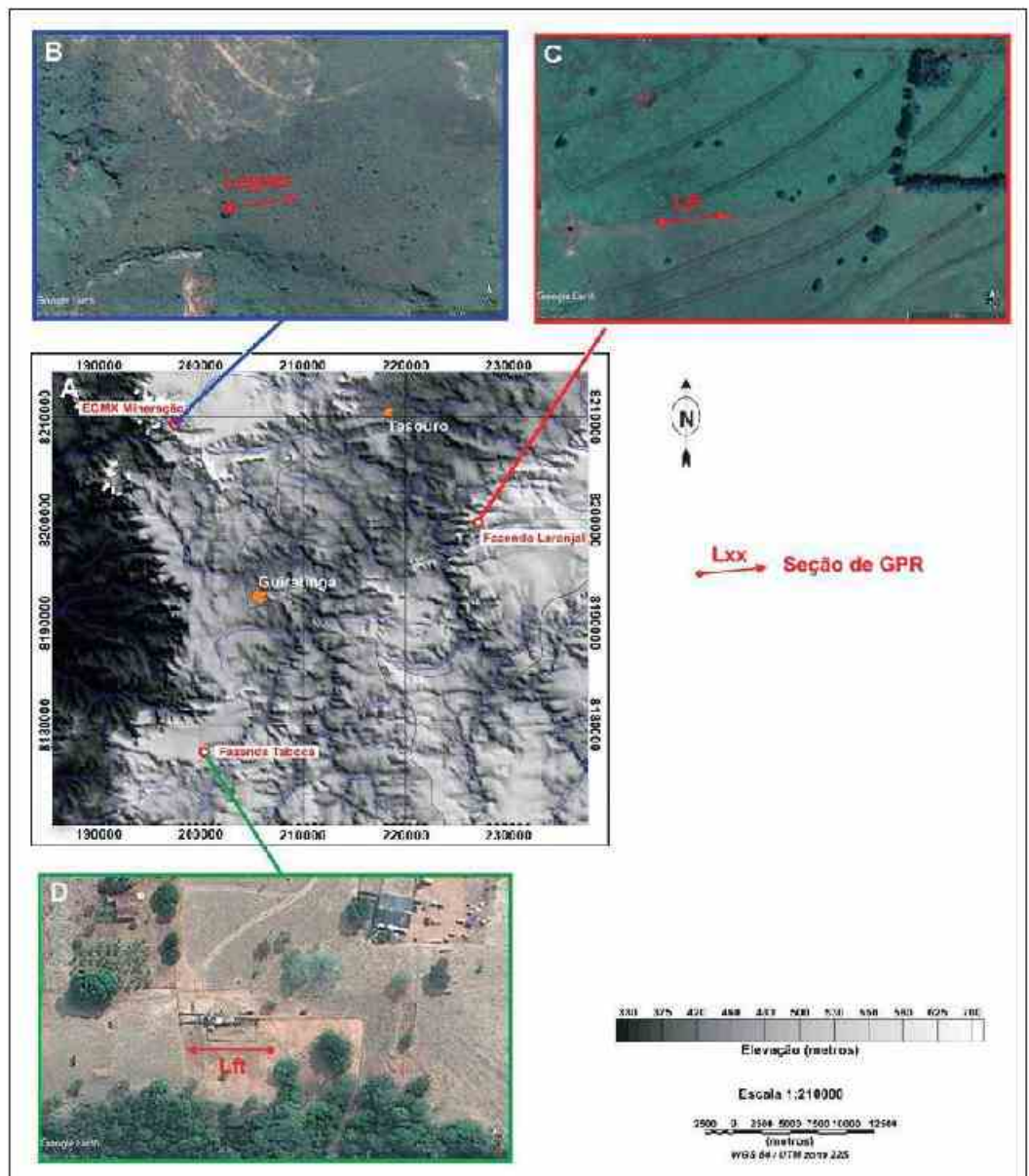


Figura 5 (A) Mapa com a localização dos pontos investigados com GPR na região de Guiratinga, MT. Imagens aéreas com as localizações das seções de GPR realizadas na área da Mineração EGMX (B), na Fazenda Laranjeira (C), e na Fazenda Taboca (D).

No processamento dos dados de GPR utilizou-se o Módulo 2D do software ReflexW (SANDMEIER, 2017). No processamento usou-se uma sequência simples de rotinas uma vez que os dados obtidos em campo são de boa qualidade (com pouquíssimos ruídos aleatórios ou ruídos coerentes). O objetivo do processamento dos dados consistiu em eliminar os ruídos espúrios e realçar as estruturas geológicas. As etapas de processamento aplicadas aos dados de GPR foram o ajuste do tempo zero, a remoção do ganho de aquisição, a inserção de um ganho de decaimento de energia, o uso de um filtro passa-banda, e a conversão de tempo para profundidade. Na conversão de tempo para profundidade obteve-se a seção de GPR sobre uma área com a espessura do minério conhecida. A partir do valor de velocidade encontrado, utilizou-se a velocidade de conversão de  $v=0,09$  m/ns.

#### 4 Resultados

Os resultados obtidos com as investigações de GPR possibilitam definir 3 padrões distintos de reflexão (Figura 7).

O primeiro padrão de reflexão PR1 caracteriza-se pela presença de refletores hiperbólicos dentro de uma zona de reflexão de baixa amplitude. Este padrão relaciona-se a um solo areno-argiloso com a presença de fragmentos de rochas, raízes e pequenos vazios (tocas de animais, cupinzeiros, formigueiros, raízes queimadas, etc.) conforme

verificado nas cavas de exploração de minério nas áreas da EGMX e FERLIG.

O padrão de reflexão 2 (PR2) mostra padrão similar ao do solo, todavia com refletores de maior amplitude e ocasionalmente refletores contínuos a descontínuos. Em função da estratigrafia local (solo, manganês e rocha), correlaciona-se este padrão com as camadas de manganês presentes nas áreas.

O último padrão de reflexão 3 (PR3), mais profundo, caracteriza-se pela presença de refletores contínuos de média a baixa amplitude. A presença de refletores contínuos e não retilíneos, variáveis com a profundidade, caracterizam as rochas na região.

A correlação dos padrões com as camadas geológicas, em especial à do minério de manganês, possibilitou a interpretação da morfologia de todas as camadas presentes na área até a profundidade máxima de 8 metros.

Na área da Mineradora EGMX o minério de manganês é recoberto por um latossolo vermelho escuro com espessura variável de 1 a 1,5 metro (Figura 8). Este solo possui alta condutividade elétrica visto a atenuação do sinal do GPR (PR1). O minério caracteriza-se pelo padrão de alta reflexão do GPR (PR2), e mostra espessuras entre 1 a 3 metros. O embasamento da área (rocha – PR3) distingue-se pela resposta do GPR de média amplitude, e ocorre abaixo de 3 metros de profundidade.

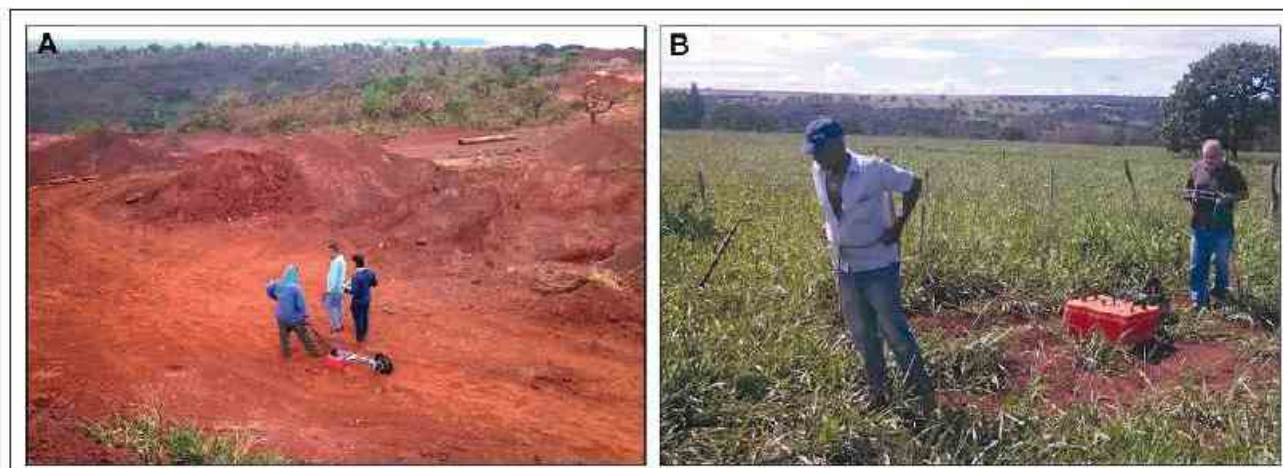


Figura 6 Fotografias evidenciam a aquisição de dados de GPR na área da pesquisa. (a) Registro da aquisição de dados GPR com antena blindada de 400 MHz na EGMX. (b) Foto da aquisição com a antena de 200 MHz na Fazenda Laranja.

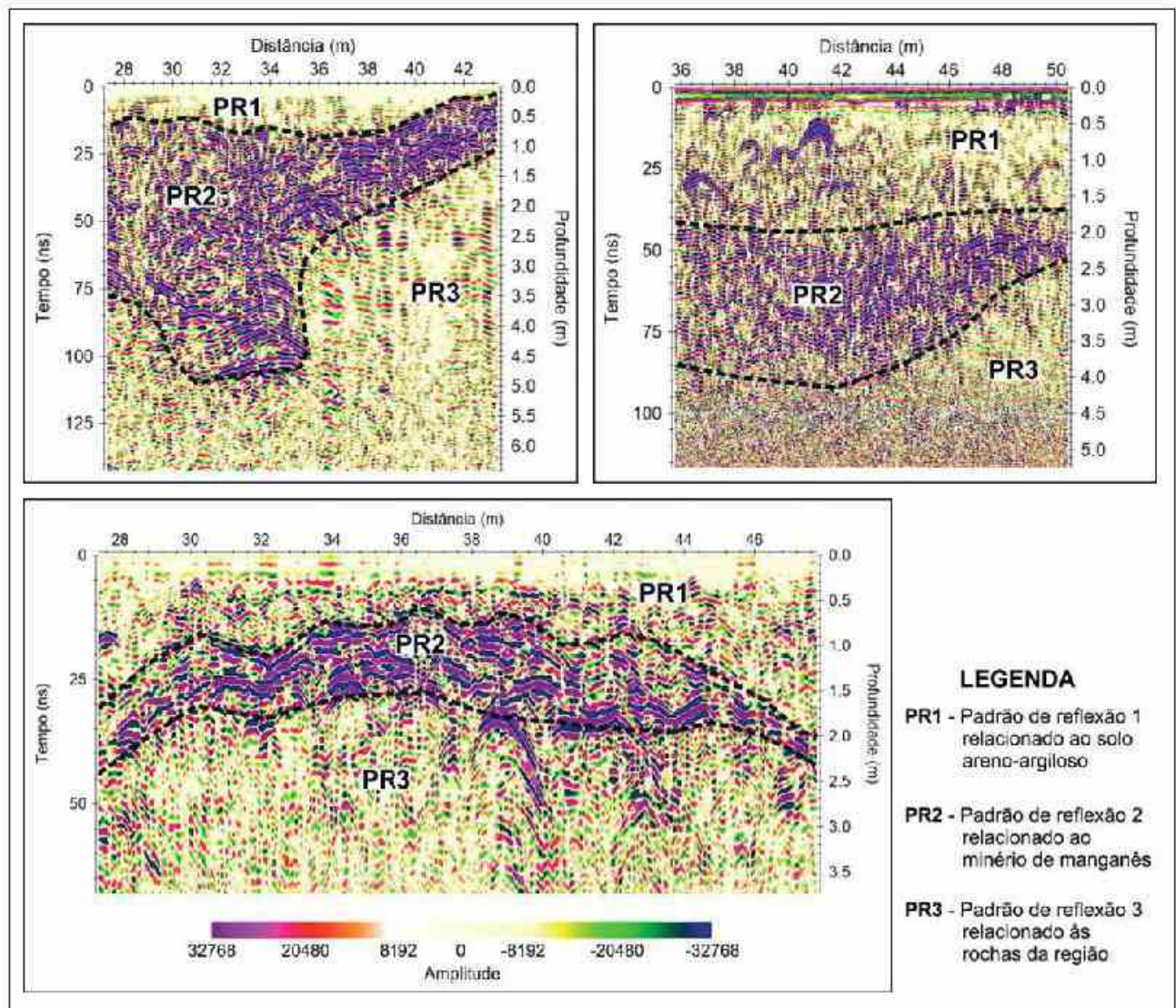


Figura 7 Parte de seções de GPR com os padrões de reflexão identificados nas áreas de ocorrência de minério de manganês. PR1 = solo areno-argiloso, PR2 = minério de manganês, e PR3 = rochas (arenitos ou argilitos).

Na área da Fazenda Laranjeira o minério de manganês é recoberto por um latossolo vermelho escuro com espessura variável de 0,8 a 1,6 metro (Figura 9). O minério possui uma espessura média de 0,8 metro. A rocha encontra-se na profundidade abaixo de 2 metros na área.

Na Fazenda Taboca ocorre um solo pouco espesso, com inúmeros afloramentos de minério de manganês, conforme verificado na seção de GPR (Figura 10). O minério possui a maior espessura registrada nas seções de GPR, 4 metros. A geometria do minério, bem como o padrão de alta refletividade, corroboram com uma gênese de enriquecimento superegênico do minério (geometria irregular).

## 5 Discussões

As seções de GPR realizadas nas áreas pesquisadas evidenciaram 3 padrões de reflexão característicos das camadas de solo, minério de manganês e de rochas. As camadas de solos areno-argilosos maciços (latossolos) mostram baixa amplitude do sinal eletromagnético com a presença de hipérboles de difração relacionadas à presença de vazios, raízes e fragmentos de rochas. O minério de manganês mostra elevada impedância, o que provoca uma forte reflexão do sinal do GPR nos radargramas. Os arenitos das formações Aquidauana e Palermo causam uma baixa impedância do sinal eletromagnético,



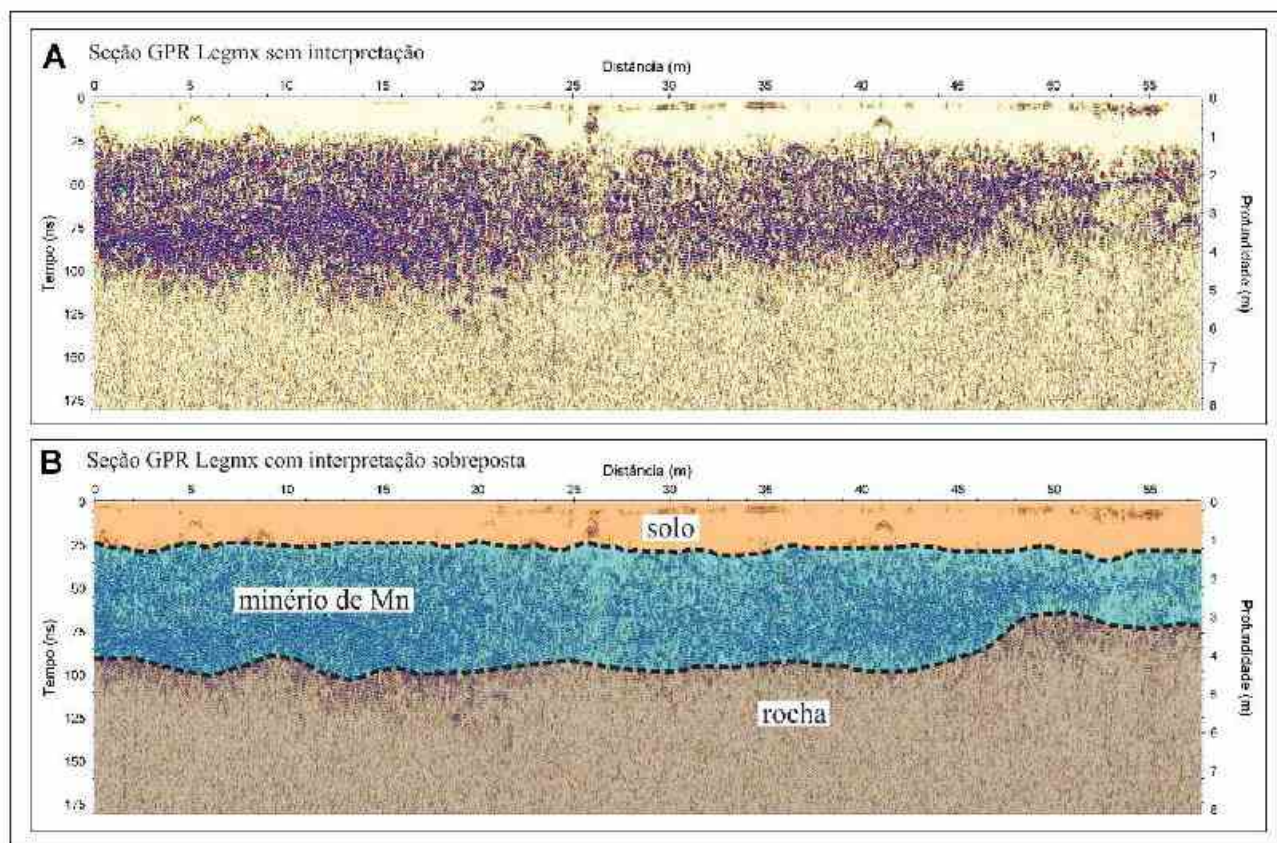


Figura 8 Seção de GPR LegmX realizada na área da Mineradora EGMX. (A) Seção sem interpretação e (B) Seção com a interpretação sobreposta (solo, minério de manganês e rocha).

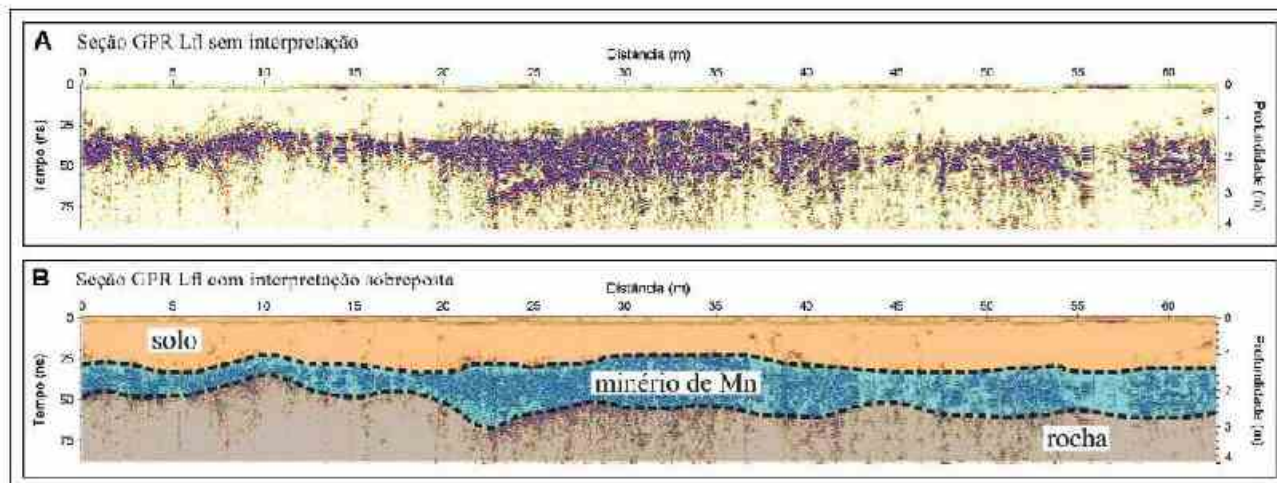


Figura 9 Seção de GPR Lfi realizada na área da Fazenda Laranjeiras. (A) Seção sem interpretação e (B) Seção com a interpretação sobreposta (solo, minério de manganês e rocha).

possivelmente em função das características de homogeneidade sedimentar (arenitos finos e maciços).

A geometria irregular das camadas de manganês evidenciadas com o GPR contribuem com a hipótese de origem supergênica do minério.

Os resultados de GPR confirmam a aplicabilidade da metodologia em determinar a espessura da camada de minério de manganês nas áreas estudadas, o que torna o método uma importante ferramenta na pesquisa mineral deste minério na região.

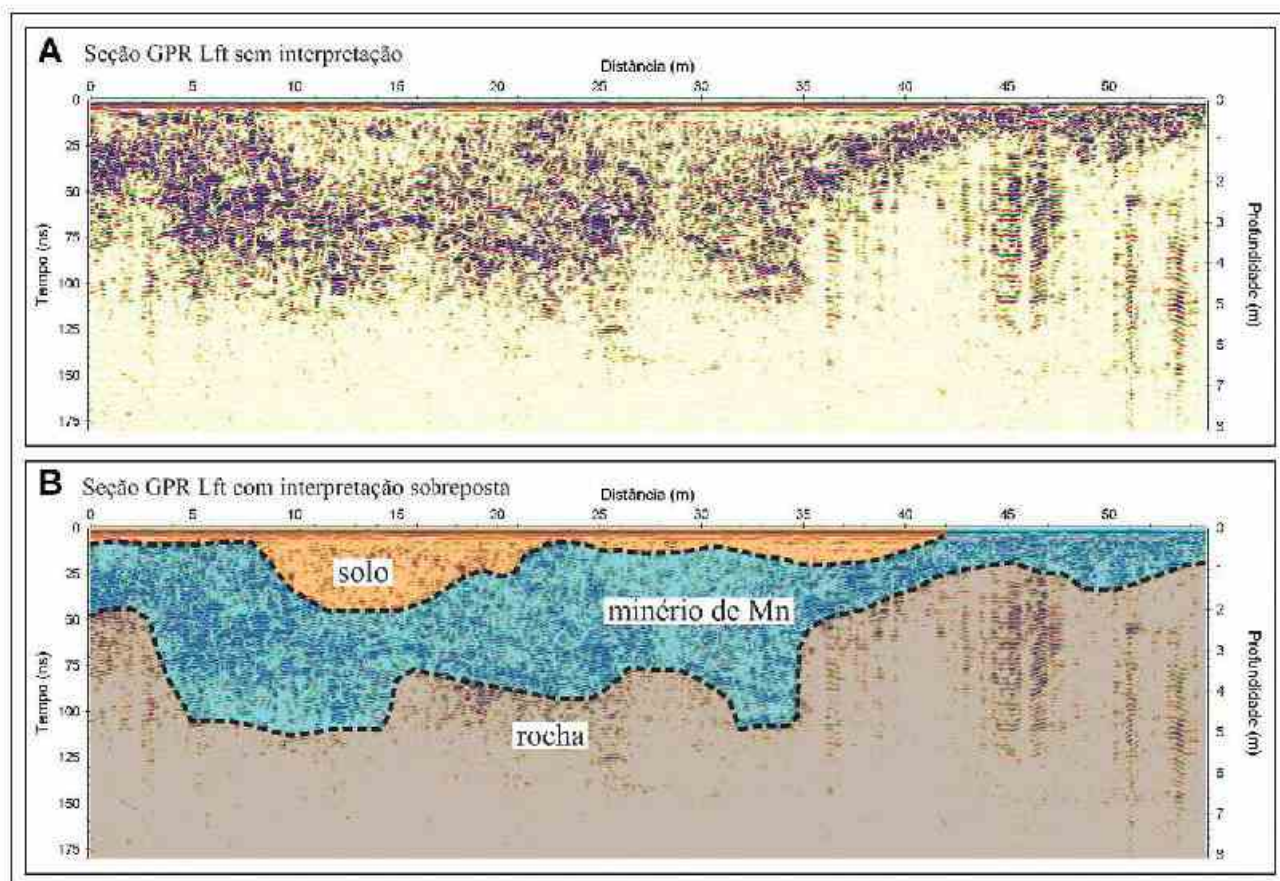


Figura 10 Seção de GPR Lft realizada na área da Fazenda Taboca (A) Seção sem interpretação e (B) Seção com a interpretação sobreposta (solo, minério de manganês e rocha).

## 6 Referências

- ANM 2018. Anuário Mineral Brasileiro. Substâncias Metálicas. Agência Nacional de Mineração, Brasília, 34p.
- Assine ML 1996. Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 207p.
- Botelho, M. 2007. Prospecção de Manganês com Radar de Penetração no Solo (GPR) no Oeste da Bahia. In: ANAIS DO TENTH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, Rio de Janeiro 2007, Resumos Expandidos, Rio de Janeiro, RJ, Cd-rom.
- Gonçalves, A. & Schneider, RL 1970. Geologia do centro-leste de Mato Grosso. Ponta Grossa. Petrobras/DESUL, Relatório Técnico Interno, n. 394, 43 p.
- Larges, L. C. 2004. A Formação Irati (Grupo Passa Dois, Permiano, Bacia do Paraná) no furo de sondagem FP-01-PR (Sapopema, PR). Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Dissertação de Mestrado, Rio Claro, 117p.
- Milani, E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do Gondwana Sul-Occidental. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, Porto Alegre, 255p.
- Milani, E.J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A. & Franca, A.B. 2007. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobras, 15(2):265-287.
- Moreton, L.C. 2001. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha SE.22-V-B (Iporá), escala 1:250.000. Brasília, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 50p.
- Saes, C.S. 1999. Evolução tectônica e paleogeográfica do Alacógeno Aguapeí (1.2-1.0Ga) e dos terrenos de seu embasamento na porção sul do Cráton Amazônico. Programa de Pós-Graduação - Doutorado em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, São Paulo, 135p.