



MÉTODOS ELÉTRICO E ELETROMAGNÉTICO APLICADOS AO DELINEAMENTO DE ZONAS CONTAMINADAS POR RESÍDUOS DE UM CURTUME

Felix Huber¹, Sergio Junior da Silva Fachin¹, Shozo Shiraiwa², Welitom Rodrigues Borges³

¹ Bacharel em Geologia. E-mail: shutzen@hotmail.com, sergiustga@gmail.com

² Docente do Departamento de Física (ICET-UFMT). E-mail: shozo@cpd.ufmt.br

³ Doutorando em Geofísica (IAG/USP). E-mail: welitom@iag.usp.br

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of the 9th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

This work presents some results obtained with the Ground Penetrating Radar (GPR), electric and inductive electromagnetic (EM34) methods applied to determine and localize areas of potential contamination with industrial waste of a tanning industry. The area is located in city of Várzea Grande, Mato Grosso state, and actually abandoned. For characterize the areas was used some criteria: potentially contaminated area ($\sigma_a > 40$ mS/m, $\rho < 30$ ohm.m, high attenuation of the signal of the radar); 2) suspect of contamination area (σ_a de 20 a 40 mS/m, ρ de 30 a 50 ohm.m); not contaminated area ($\sigma_a < 20$ mS/m, $\rho > 50$ ohm.m, low attenuation of the signal of the radar). The integrated results show the possibility to elaborate an map of contamination risks on area, indicating a potentially contaminated area with a preference trend NW-SE in relation with the places where can be found industrial waste in ditches and when deposited on the surface. The results show that these geophysical methods allied to geological information in surface/subsurface make possible an efficient preliminary analysis of potential contaminated areas.

Introdução

O subsolo foi considerado por muito tempo um receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis, como o lixo doméstico e os resíduos industriais, com base no suposto poder tampão e potencial de autodepuração, que leva ao saneamento dos impactos criados. Porém essa capacidade foi superestimada e, somente a partir da década de 70, direcionada maior atenção a sua proteção. Dentro desse assunto, o conceito de "Áreas Contaminadas", como sendo um local cujo solo sofreu dano ambiental significativo que o impede de assumir suas funções naturais ou legalmente garantidas, é relativamente recente na política ambiental dos países desenvolvidos, o mesmo ocorrendo no Brasil. No diagnóstico ambiental de áreas contaminadas, a realização de levantamentos geofísicos tem por objetivo básico a identificação da presença da contaminação

subterrânea, além da definição das feições geológicas e hidrogeológicas dos locais investigados (CETESB, 2001).

Este trabalho apresenta uma avaliação preliminar de uma área potencialmente contaminada por resíduos sólidos industriais provenientes de atividades de um curtume localizado na área metropolitana de Várzea Grande-MT, (Figura 1), estando esta área atualmente interditada pelo órgão ambiental estadual.

Os resíduos sólidos resultantes do beneficiamento do couro constituem problema de gerenciamento nas indústrias devido à situação problemática de remoção da área industrial para a área de disposição final. Não é rara a constatação destes resíduos lançados diretamente nos rios ou enterrados no solo de forma inadequada comprometendo a qualidade da água disponível para o abastecimento a população ou contaminando o solo. Os resíduos depositados consistem de natureza orgânica e química derivados do processamento industrial do couro.

A área em estudo possui quatro hectares de área e nesta recebia os resíduos finais não recuperados pelo processo de curtimento do couro, sendo utilizada por mais de 10 anos ininterruptos para este fim, sendo paralisada no ano de 1996 pelo órgão ambiental estadual. A disposição destes resíduos foi feita em valas de 50 m x 2,5 m x 2,5 m, usando-se uma lona de 0,3 mm de espessura para impermeabilização (Lannes, 2002).

Contudo, durante a coleta de dados, realizado no mês de dezembro de 2004, não se notou a disposição regular das valas e sua exata localização devido à densa vegetação e também por ter sido coberta por camadas de aterro (cascalho). Algumas cavas foram notadas devido à infiltração de água de chuva e conseqüentemente processo de ravinamento em alguns pontos de concentração e escoamento da água pluvial.

A diferença de vegetação, influenciada pela diferença de porosidade entre as cavas e o solo não perturbado, possibilitou localizar as cavas na área.

Além das cavas, os resíduos sólidos também foram dispostos a céu aberto sem nenhuma proteção, estando em contato direto com o solo, e sujeito às chuvas.

A avaliação foi realizada através da utilização dos métodos geofísicos: Elétricos (Eletrorresistividade) e Eletromagnéticos (Indutivo e GPR). Segundo Elis (1999) estes métodos conseguem delinear plumas contaminantes provenientes de resíduos sólidos.

Metodologia

Geologia

A área em estudo está inserida nos domínios do Grupo Cuiabá, sendo caracterizada segundo Migliorini (1999) como pertencente a Formação Rio Coxipó, possuindo metadiamictitos de matriz argilosa de cor vermelha a amarelada devido à alteração provocada pela percolação de água, matriz argilosa com alguns níveis de tamanhos milimétricos a centimétricos com matriz arenosa.

A presença de veios de quartzo é notada somente em alguns afloramentos, onde se observam duas gerações de veios de quartzo. A primeira geração sub-horizontalizada, concordante com a foliação metamórfica, com espessura centimétrica. A segunda geração é sub-perpendicular à foliação, tendo espessura centimétrica.

Eletrorresistividade

A eletrorresistividade é um método elétrico que injeta correntes no solo com a finalidade de obter o comportamento elétrico do meio através dos parâmetros: resistividade/condutividade e cargabilidade. A injeção de corrente é realizada através de eletrodos metálicos e o potencial gerado pode ser medido através de eletrodos metálicos ou não polarizáveis. A aquisição de dados pode ser realizada através das técnicas da sondagem elétrica vertical, caminhamento elétrico e perfilagem elétrica de poço. Nestas técnicas existem inúmeras configurações eletródicas que podem ser utilizadas conforme o objetivo em campo (Reynolds, 1997).

Neste trabalho optou-se pela técnica da tomografia elétrica de superfície, amplamente conhecida como caminhamento elétrico. Esta técnica foi utilizada devido ao objetivo de investigar as variações laterais de resistividade. O equipamento de campo foi o Syscal R2, fabricado pela IRIS. O arranjo utilizado foi o dipolo-dipolo, com o espaçamento entre os eletrodos os dipolos de 4 metros, sendo 5 níveis de investigação. Os dados de eletrorresistividade 2D foram modelados no software Res2dinv (Loke, 2004a), que determina automaticamente um modelo de resistividade bidimensional para o meio, através dos dados elétricos de campo.

Eletromagnético Indutivo

Os dados de condutividade elétrica aparente (σ_a) obtidos com o método eletromagnético indutivo foram adquiridos com o equipamento EM34 (Geonics). Este equipamento possui uma bobina transmissora e uma receptora e pode fornecer dados de condutividade aparente nos modos dipolo magnético horizontal (DMH) e dipolo magnético vertical (DMV) (McNeil, 1980). A profundidade de investigação depende principalmente da frequência e espaçamento entre as bobinas. Neste trabalho foi utilizado um espaçamento entre as bobinas de 10 metros, suficiente para investigar, no modo DMH, uma profundidade efetiva de até 7,5 m e no modo DMV de até 15 m.

Foram realizados 5 perfis de caminhamento eletromagnético, nos modos DMH e DMV. Os perfis foram dispostos na área nas direções e sentido preferenciais NE-SW e SE-NW (**Figura 1**). Os pontos de leitura foram realizados a cada 2 metros com o intuito de melhor definir a localidade das cavas.

GPR - Ground Penetrating Radar

O GPR é um método geofísico não destrutivo, de alta resolução, que permite obter uma imagem da subsuperfície rasa da Terra, utilizando reflexões de ondas eletromagnéticas em altas frequências (normalmente entre 10 - 2500 MHz). Uma antena transmissora emite um pulso eletromagnético para dentro da Terra. Havendo contrastes em pelo menos uma das propriedades elétricas dos materiais em subsuperfície, parte do sinal é refletido, sendo recebido por uma antena receptora. O resultado obtido é uma imagem de alta resolução da subsuperfície, onde no eixo horizontal está a distância e no eixo vertical o tempo de ida e volta do sinal (Annan & Cosway, 1992; Daniels, 1996; Porsani, 1999).

Foram adquiridos perfis de GPR sobre as linhas 4, 5, 6 e 7 (**Figura 1**). O equipamento utilizado foi o Ramac I (Mala). A técnica utilizada foi o perfil de reflexão de afastamento comum (*common offset*) com antenas com frequência central de 200 MHz não blindada, intervalo entre os traços de 0.25 m, *stack* de 128 e uma frequência de amostragem de 1847 MHz. Os radargramas foram processados utilizando-se o software ReflexW versão 3.5 (Sandmeier, 2004).

Resultados

Antes de iniciar a discussão sobre os resultados obtidos foi adotada uma classificação para os intervalos de condutividade elétrica aparente (σ_a), resistividade elétrica (ρ) e atenuação do sinal de GPR que sugestivamente identificam a zona contaminada. Esta classificação foi elaborada conforme resultados geofísicos, apresentados em trabalhos, em áreas de disposição de resíduos sólidos no Brasil (Elis, 1999; Shiraiwa, *et al.*, 2002; Moura, 2002; Lago, 2004).

Os intervalos adotados para esta classificação foram obtidos a partir dos valores de σ_a e resistividade aparente coletados em campo, se relacionando as áreas onde se encontram dispostos às valas com resíduos e resíduos em superfície. A **Tabela 01** mostra a classificação estabelecida e utilizada neste trabalho (Huber & Fachin, 2005).

Tabela 01 – Classificação utilizada para as áreas neste trabalho.

CLASSIFICAÇÃO	σ_a (mS/m)	ρ (ohm.m)	Atenuação
AP	> 40	< 30	Alta
AS	20 a 40	30 a 50	Média
AN	< 40	> 50	Baixa

AP = Área Potencialmente Contaminada. AS = Área Suspeita de Contaminação. AN = Área Não Contaminada.

Eletrorresistividade

A seção de tomografia elétrica da Linha 1 (**Figura 2a**) mostra a zona AN até a distância de aproximadamente 50 metros, posteriormente a zona AS (bem estreita \cong 1 m), seguida da zona AP até o fim do perfil.

A **Figura 2b** mostra o comportamento obtido em seções que caracterizam a AN, com elevados valores de resistividade elétrica.

A primeira zona de alta resistividade aparece entre 0 e 70 m no perfil (**Figura 2c**) Área Não Contaminada (AN). A segunda zona resistiva, que ocorre ao longo do perfil até a profundidade de 2,5 metros podendo ser relacionada a uma cobertura sedimentar (solo concrecionário) presente na área. Abaixo de 2,5 metros de profundidade ocorre a zona condutiva, com resistividade elétrica inferior a 50 ohm.m, sendo correlacionada a área potencialmente contaminada (AP) por resíduos sólidos.

Eletromagnético Indutivo

Os resultados do método Eletromagnético Indutivo foram interpolados no modo DMH e DMV. Os mapas de condutividade elétrica aparente de ambas as áreas apresentam comportamento semelhantes, tendo aproximadamente as mesmas áreas anômalas.

A zona anômala, referente à área potencialmente contaminada (AP), ocorre principalmente na parte centro norte da área (**Figura 3**), mostrando uma tendência preferencial na direção NW-SE. Nesta região são visíveis, em alguns pontos, rejeitos expostos a céu aberto dentro das cavas e dispostos em superfície.

A área suspeita de contaminação (AS) é observada, em ambos os mapas, nas partes nordeste e centro leste dos mapas (**Figura 3**). É caracterizada pela transição entre a AP e a AN.

A área não contaminada (AN) só aparece na parte sudoeste dos mapas (**Figura 3**). É caracterizada pela ausência de resíduos sólidos industriais em subsuperfície, sendo correlacionada a metassedimentos do Grupo Cuiabá.

GPR - Ground Penetrating Radar

Os resultados de GPR de algumas seções adquiridas na área são mostrados na **Figura 4**. Como esperado, as zonas de elevada atenuação da onda eletromagnética são correlacionadas com as APs, ao passo que as áreas não contaminadas (AN) apresentam zonas de forte reflexão.

As áreas potencialmente contaminadas causam o efeito de zona de sombra nos dados de GPR, ou seja, impedem a propagação da onda eletromagnética devido à elevada condutividade do resíduo sólido.

Discussões e Conclusões

Os mapas, de condutividade elétrica aparente, obtidos com o EM-34, nos modos DMH e DMV, através dos valores de condutividade, permitiu localizar e diferenciar as áreas AP, AS e AN.

Os resultados das tomografias elétricas 2D, realizadas com o arranjo dipolo-dipolo, permitiu identificar claramente as áreas AP, AS e AN, tanto em extensão lateral, como em profundidade.

O GPR permitiu delinear com precisão os limites das zonas potencialmente contaminadas e livres de contaminadas.

No geral os métodos geofísicos mostraram resultados relevantes, levando-se em conta os objetivos deste trabalho de localizar possíveis zonas contaminadas dentro de uma área de disposição de resíduos sólidos provenientes de um curtime.

Referências Bibliográficas

- Annan, A.P. & Cosway, S.W., 1992.** Ground penetrating radar survey design. *In: Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*, 5ft, 1992, Oakbrook, Illinois. *Proceedings...*, Oakbrook, SAGEEP, v.2, p.329-352.
- CETESB, 2001.** Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Projeto de Cooperação Técnica Brasil-Alemanha/CETESB-GTZ. 2. ed. São Paulo, 398 p.
- Dahlin, T. & Zhou, B., 2004.** A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical Prospecting*, 52, p. 379 – 398.
- Daniels, D.J., 1996.** Surface Penetrating Radar. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 300 p.
- Elis, V.R., 1999.** Avaliação da aplicabilidade de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro SP, 264p.
- Huber, F. & Fachin, S.J.S., 2005.** Métodos elétrico e eletromagnético aplicados ao delineamento de zonas contaminadas por resíduos de um curtime. Trabalho de

Conclusão de Curso em Geologia, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, UFMT. Cuiabá-MT. 69 p.

Lannes, S., 2002. Avaliação da qualidade da água subterrânea na área de disposição do lodo proveniente do curtume Berto S/A-Várzea Grande/MT. Dissertação de Mestrado. Instituto de Saúde Coletiva. UFMT. Cuiabá-MT.

Lago, A.L., 2004. Aplicação integrada de métodos geofísicos em área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP, Dissertação de Mestrado, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências atmosféricas USP, São Paulo/SP, 110 p.

Loke, M.H., 1999. Res2Dinv versão 3.4 for Windows 3.1, 98 and NT. Rapad 2D Resistivity & IP Inversion using the least-squares method. Software Manual. Disponível em: <http://www.abem.se>

Migliorini, R.B., 1999. Hidrologia em Meio Urbano. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 146 p.

Moura, H.P., 2002. Emprego da eletrorresistividade e da polarização induzida na caracterização geoeletrica de áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro, SP, 231p.

McNeill, J.D., 1980. Electromagnetics terrain conductivity measurement at low induction numbers. *Tech. Note TN-6*, Geonics Ltd, Mississauga, Ont., Canadá, 13p.

Porsani, J.L., 1999. Ground Penetrating Radar (GPR): Proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado – SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro - SP, 145p.

Reynolds, J.M. 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 796p.

Sandmeier, K.J., 2004. REFLEXW Version 3.5, Windows 9x/NT/2000/XP - Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data. 192p.

Shiraiwa, S.; Lisovsky, S.P.; Elis, V.R.; Porsani, J.L.; Borges, W.R. 2002. Estudos geofísicos integrados no lixão de Cuiabá, MT, Brasil Resultados Preliminares. Revista Brasileira de Geofísica - SBGf, Vol. 20(3), p. 181-186.

Agradecimentos

À FAPEMAT (A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso) pelo apoio e financiamento da pesquisa do projeto “Estudo da disposição final de resíduos sólidos de curtume como fonte de contaminação em águas subterrâneas. Inovação tecnológica auxilia na preservação do meio Ambiente.”

Ao NGEA/UFMT (Núcleo de Geofísica e Estudos Ambientais) por todo suporte técnico na aquisição dos dados.

As Geólogas Tânia H. Marcelino, Karen Crystyna O. Gonçalves, Geólogo Ivandro Schoenherr, Prof. Ms Rodrigo Matos Meirelles pelo auxílio na aquisição dos dados de campo, sugestões, considerações, críticas e o mais importante, incentivo.

Ao técnico Alexandrino (Big Mau) e alunos do 4º ano (2004) do curso de Geologia pelo auxílio na aquisição dos dados de campo.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente auxiliaram na produção deste trabalho.

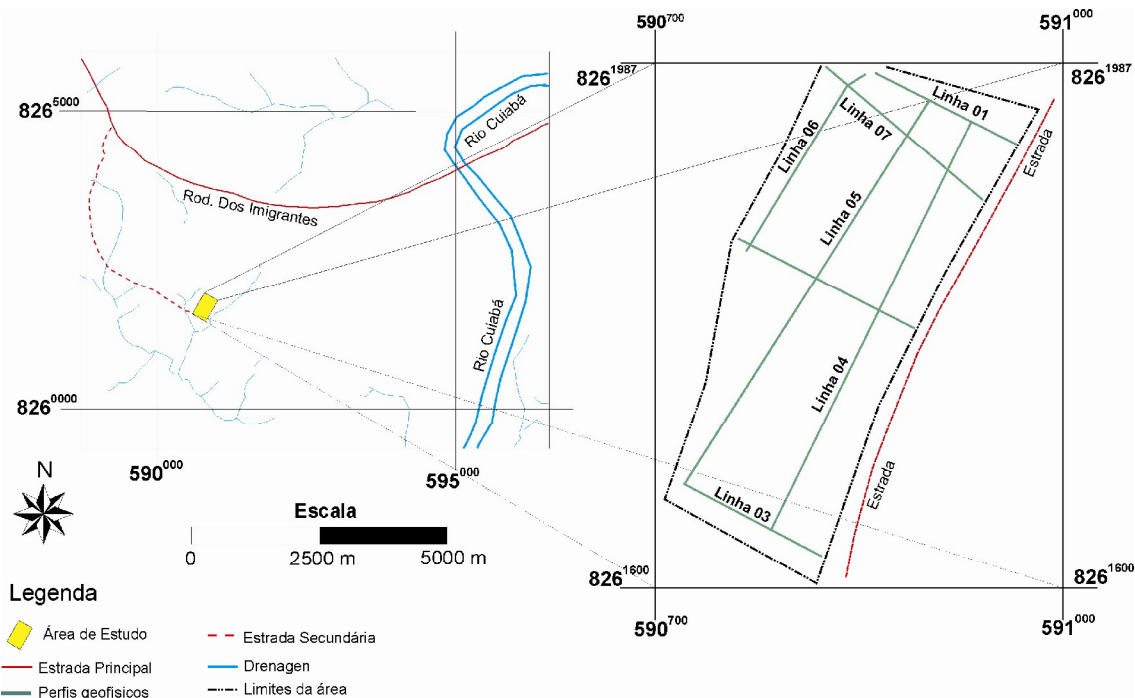


Figura 1 – Mapa de Localização da área de pesquisa com as principais investigações geofísicas identificadas.

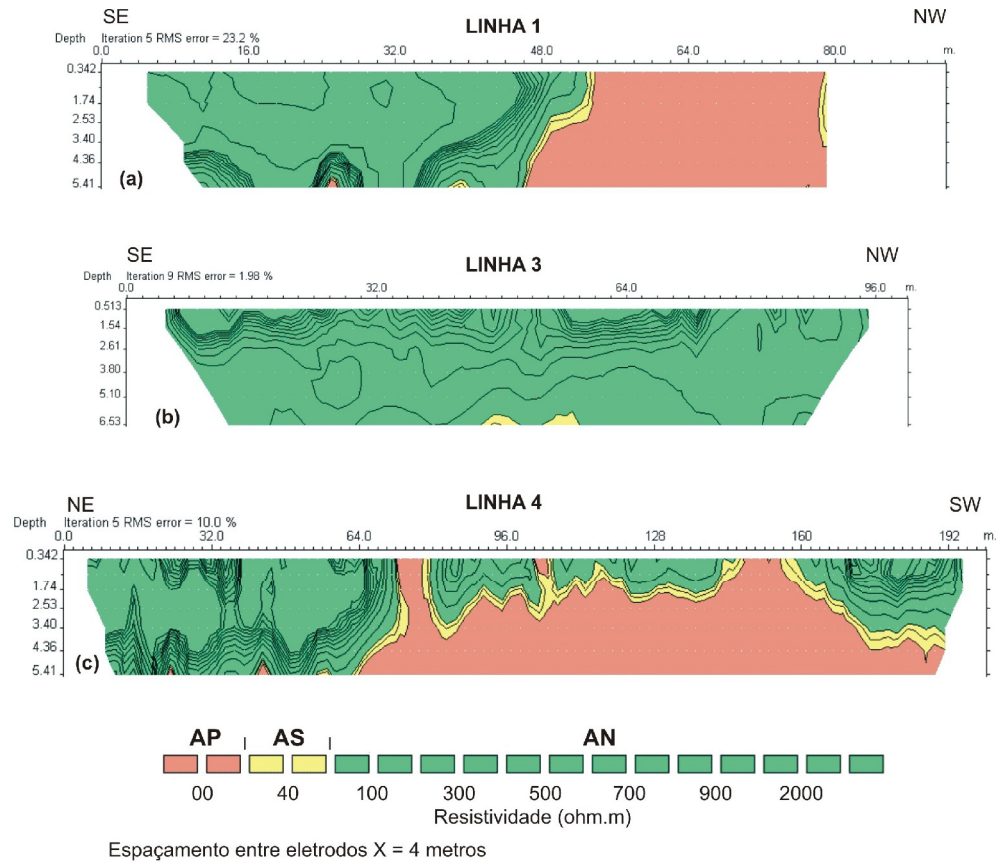


Figura 2 – Seções de resistividade elétrica da área de pesquisa indicando as Áreas Potencialmente Contaminadas (AP), Áreas Suspeitas de Contaminação (AS) e Áreas Não Contaminadas (AN). (a) Linha 1. (b) Linha 3. (c) Linha 4.

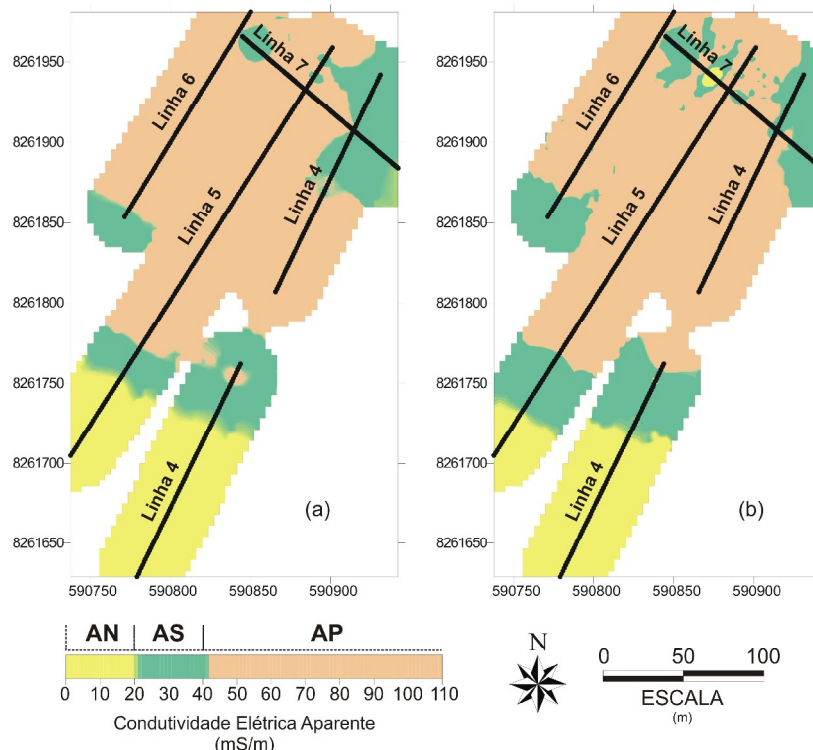


Figura 03 – Mapas gerados pela interpolação dos dados de σ_a dos perfis eletromagnéticos executados na área. (a) Mapa de σ_a da profundidade teórica de 7,5 metros (modo DMH). (b) Mapa de σ_a da profundidade teórica de 15 metros (modo DMV).

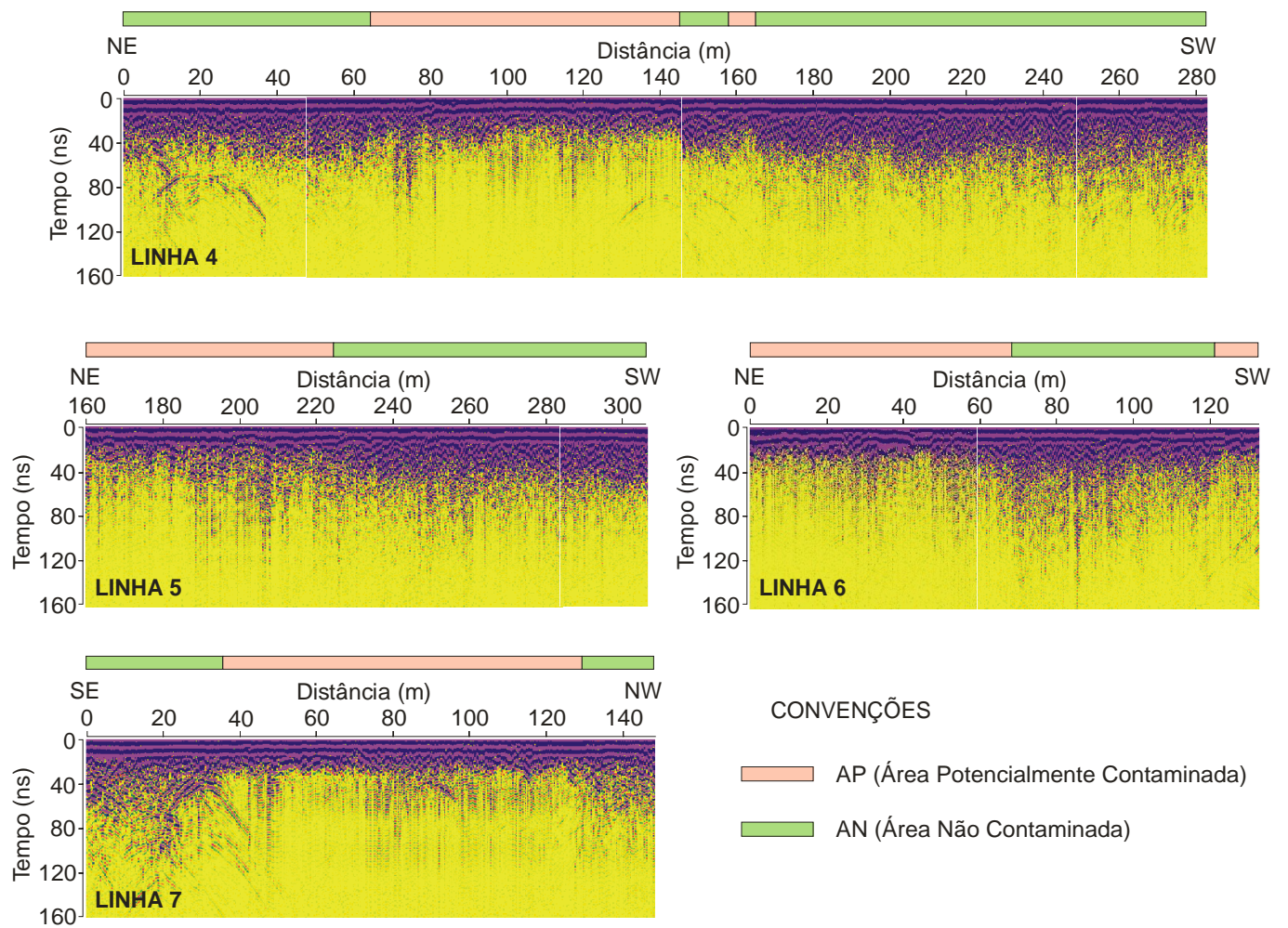


Figura 04 – Seções de GPR das linhas 4, 5, 6 e 7 indicando as áreas potencialmente contaminadas (alta atenuação) e as áreas não contaminadas (baixa atenuação) de acordo com a atenuação da onda eletromagnética.