



## **RELATÓRIO TÉCNICO:**

### **DETERMINAÇÃO DA “ASSINATURA” DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA E CARGABILIDADE (IP) DE UMA TUBULAÇÃO EM LOTE CLASSIFICADO ZEPP**

**LOCAL:** Lote no Condomínio Residencial Le Parc em Ponta Grossa – PR  
(Coordenadas aproximadas: -25.120446, -50.124555)

**DATA:** 02/02/2026

Elaborado por: Celso J. Costa-Junior (Bacharel em Geofísica)

**GeoBack – Soluções Geofísicas para Engenharia e Meio Ambiente**

---

Rua Desembargador Lauro Lopes, 177, Sobrado 1, Sala 1, Jardim Carvalho – CEP 84015-710 –  
Ponta Grossa – PR

site: <https://geoback.com.br/>

E-mail: [contato@geoback.com.br](mailto:contato@geoback.com.br)

Fone/whatsapp: (42) 99833-1242

# Resumo Técnico

Este relatório apresenta um **estudo direcionado à determinação da “assinatura” geolétrica** (assinatura conjunta de **Resistividade Elétrica** e **Cargabilidade/IP**) associada a uma **tubulação enterrada** em lote urbano no Condomínio Residencial Le Parc, em Ponta Grossa-PR (coordenadas aproximadas -25.120446, -50.124555), em área informada como ZEPP.

A finalidade do estudo é **caracterizar padrões diagnósticos replicáveis** (geometria, contraste e posição relativa) que permitam reconhecer, em futuras aquisições, a presença de tubulação e/ou da zona de assentamento/reaterro associada, mesmo quando o tubo não estiver exposto.

Neste relatório, utiliza-se apenas **uma linha** de tomografia elétrica, aproximadamente **perpendicular** ao alinhamento estimado da tubulação, por ser a que apresentou **melhor resposta** para o objetivo de extração de assinatura. A interpretação integra: (i) pseudoseções medidas e calculadas, (ii) seções invertidas de resistividade e cargabilidade, (iii) modelagem sintética comparativa, e (iv) evidência independente por registro fotográfico de escavação com infraestrutura enterrada.

# Objetivo e Conceito de “Assinatura”

## Objetivo

Definir a **assinatura geolétrica** da tubulação no contexto do lote estudado, isto é, o conjunto de características observáveis na ERT e no IP que, em conjunto, indicam com maior robustez a presença de um corpo (tubulação) com contraste elétrico.

## Definição operacional (neste estudo)

Neste relatório, “assinatura” é definida como a combinação de:

1. **Geometria da anomalia** (forma e bordas: contato abrupto vs. transição gradual);
2. **Sinal do contraste** (alto ou baixo resistivo; alto ou baixo IP);
3. **Posição relativa** entre ERT e IP (coincidência aproximada e/ou transição colocalizada);
4. **Consistência** entre pseudoseção medida e pseudoseção calculada (ajuste/inversão);
5. **Coerência** com evidência independente de campo (foto da escavação/tubulação).

# Metodologia

## Aquisição (Linha 1)

Foi realizado levantamento geoeletrico raso com arranjo **dipolo-dipolo (DD)**, utilizando **14 eletrodos** com **espaçamento unitário**  $a = 1 \text{ m}$ , totalizando extensão aproximada de **13 m** na Linha 1.



Figura 2.1: Localização do lote e referência espacial da linha de aquisição. Fonte: acervo de campo.

## Grandezas medidas

O equipamento registrou, para cada quadripolo, a **resistividade aparente** ( $\rho_a$ ) e a **cargabilidade aparente** (IP aparente, no domínio do tempo).

## Equipamentos

As aquisições foram realizadas com eletrorresistivímetro ADMT-6B acoplado a comutador CME-32, com eletrodos de aço inoxidável e chaveamento automático no arranjo DD.

## Processamento e inversão

Os dados foram processados no RES2DINV, empregando inversão suavizada (*smooth model inversion*) com norma robusta (L1) e múltiplas iterações, visando minimizar erro absoluto e obter um modelo coerente com a física do problema.

## Modelagem sintética (controle de plausibilidade)

Para apoiar a interpretação de assinatura, foi utilizada modelagem sintética (resposta direta + inversão) com e sem a presença de um **corpo resistivo raso** representando a tubulação, mantendo-se os demais parâmetros do meio. O objetivo é verificar se a introdução do corpo produz **feições do tipo** (i) contato abrupto e (ii) anomalia mais “fechada/localizada” no produto invertido.

## Resultados e Extração da Assinatura

Iniciamos com uma proposta de assinatura, ou seja, um modelo teórico da assinatura elétrica da tubulação conforme a figura 3.1. Esse modelo baseou-se na litologia observada no local por meio de furos de trado com profundidade média de 2 m, nos quais foi identificado solo siltoso (Figura 3.2) com camada superficial mais úmida, seguida de uma camada mais seca. Logo, espera-se que a parte de solo siltoso-úmido seja pouco resistiva, enquanto o solo siltoso-seco seja muito resistivo, com a tubulação tendo resistividade intermediária entre esses dois solos. Um ponto importante é que o contraste vertical previsto na figura 3.1 não se reproduz no cenário sem a estrutura encaixante (figura 3.3).

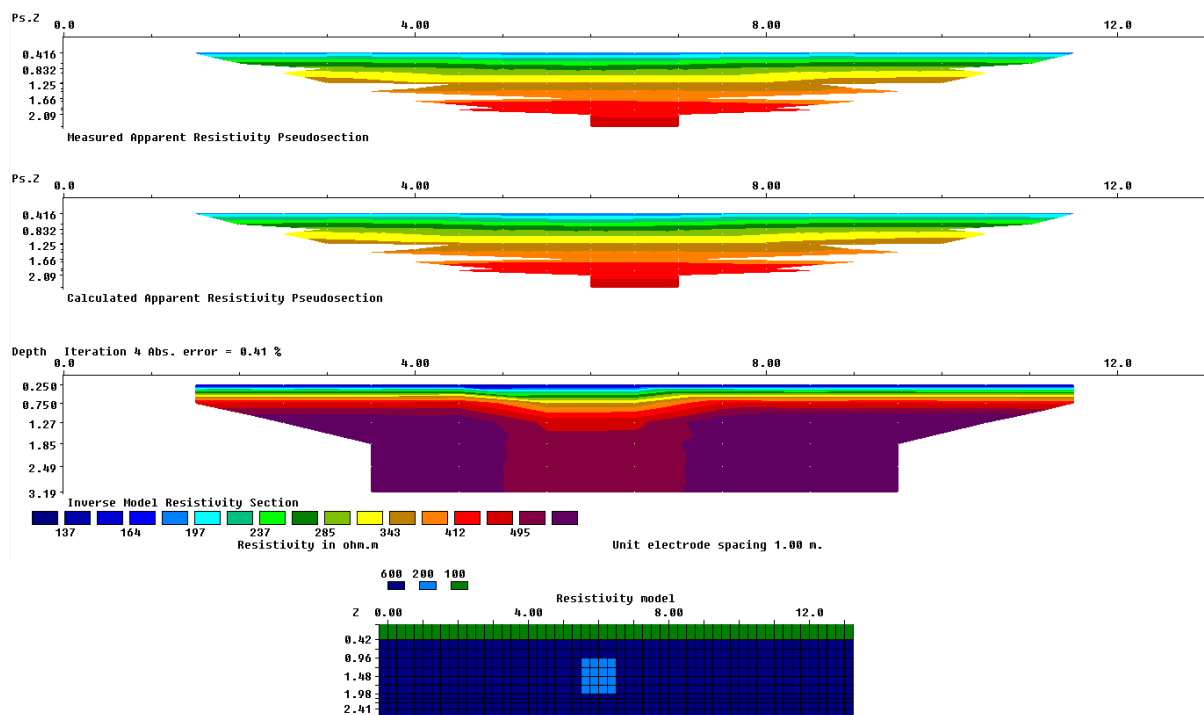


Figura 3.1: Modelo do solo com a assinatura de resistividade elétrica. Fonte: elaboração própria.

Comparando as figuras 3.1 e 3.3, podemos ver que a assinatura de resistividade elétrica é um contraste vertical de uma estrutura encaixante de menor resistividade em um meio mais resistivo. Sendo que a geometria da estrutura encaixante segue o tamanho esperado da tubulação, diâmetro  $\approx 1$  m, conforme informação de campo. Fato importante, é observar o contraste vertical na figura 3.1, não ter o mesmo padrão no modelo sem a estrutura



Figura 3.2: Solo siltoso obtido nos furos de trado. Fonte: acervo de campo.

encaixante (figura 3.3).

Ressalta-se que, em ERT 2D com inversão regularizada, a tubulação raramente aparece com geometria “circular”. Na prática, a resposta tende a refletir o **conjunto tubulação + zona de instalação** (vala/reaterro), e a assinatura é identificada principalmente pelo **gradiente lateral** e pela **mudança de domínio** no modelo invertido.

A figura 3.4 apresenta o resultado da resistividade elétrica. Podemos notar um contraste vertical abrupto centrado na posição de 4 m na linha, ou seja, observa-se uma transição relativamente brusca entre um domínio mais condutivo e um domínio mais resistivo, com borda definida no modelo invertido. Esse tipo de borda é compatível com **contraste raso e localizado**, frequentemente associado a infraestrutura enterrada e/ou ao reaterro/vala de instalação. Além disso, após a transição, a seção invertida mostra um aumento de resistividade em profundidade, formando um domínio resistivo mais pronunciado. Em termos de interpretação, esse padrão pode refletir: (i) presença direta de corpo resistivo (p.ex., concreto/estrutura), (ii) alteração de material (solo mais granular/seco), e/ou (iii) zona de reaterro com propriedades elétricas distintas.

Para este estudo, a assinatura ERT é ancorada principalmente na **presença do contato abrupto** e na **mudança persistente de domínio** após o contato, e não na expectativa de imagem “do tubo” como um círculo perfeito (o que é incomum em ERT 2D com regularização, especialmente para alvos estreitos). Assim, para adaptarmos o modelo teórico da assinatura de resistividade elétrica (figura 3.1) para a situação encontrada na linha de geoeletrica, optou-se por deslocar a estrutura encaixante para a posição de 4 m no modelo teórico (figura 3.5). Como resultado, notamos uma semelhança no modelo teórico com o resultado de campo, corroborando a assinatura geoeletrica proposta.

A figura 3.6 apresenta o resultado da cargabilidade (IP), sendo que a cargabilidade é utilizada como **assinatura complementar** por dois motivos: (i) responde a mecanismos distintos da condução elétrica (polarização interfacial), (ii) é sensível a mudanças de textura/finos, umidade e heterogeneidade antrópica associada a reaterro. Neste resultado, observa-se uma **transição espacial na cargabilidade** compatível com a região

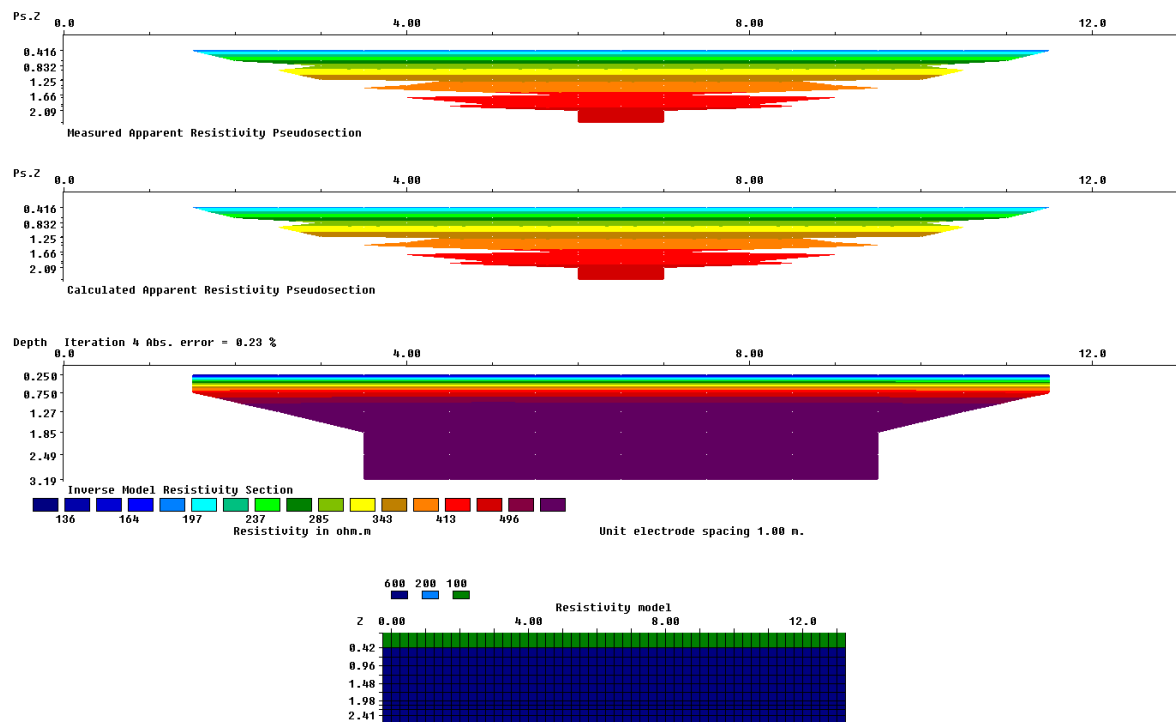


Figura 3.3: Modelo do solo sem a assinatura de resistividade elétrica. Fonte: elaboração própria.

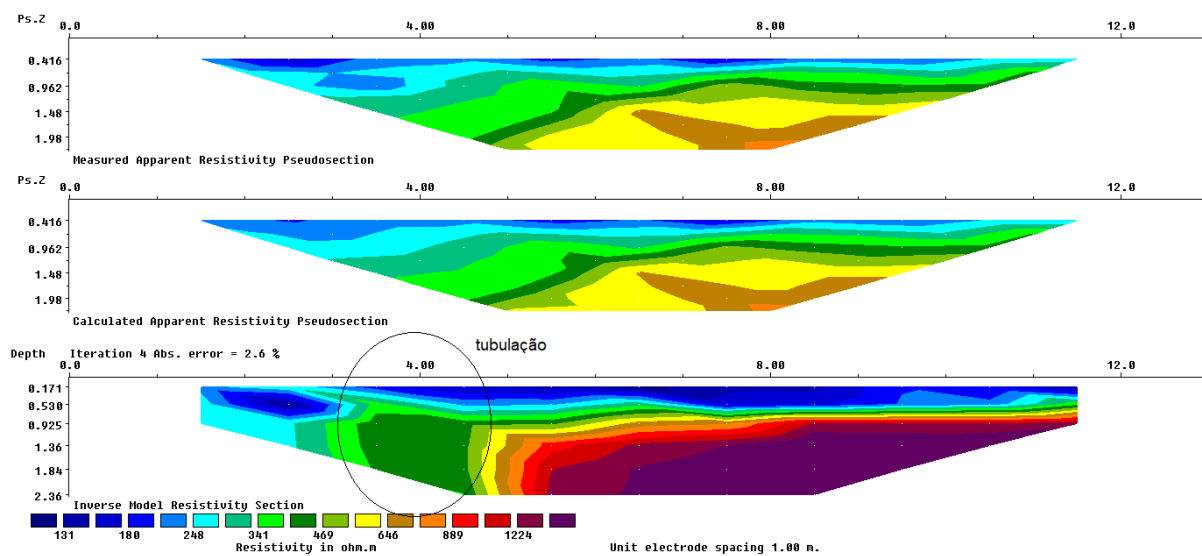


Figura 3.4: Pseudoseções medida e calculada, e seção invertida de resistividade. Fonte: elaboração própria.

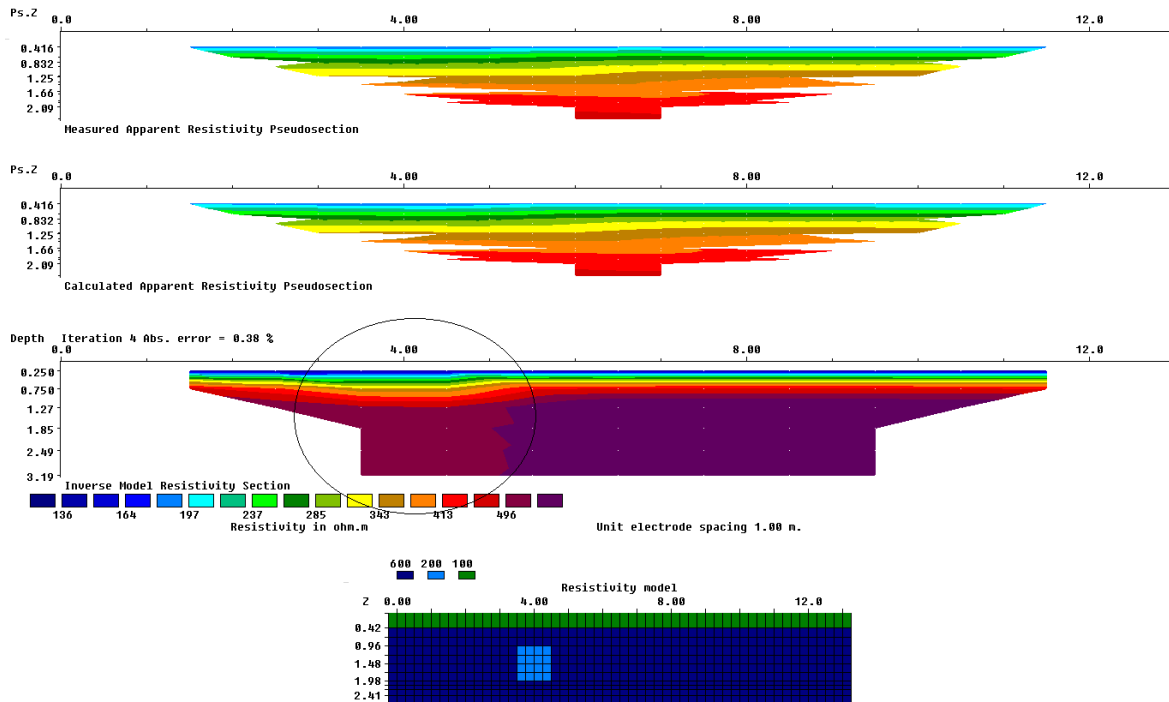


Figura 3.5: Modelagem sintética e inversão: cenário com corpo resistivo (tubulação) e comparação com cenário sem o corpo. Fonte: elaboração própria.

do **contato abrupto** na ERT: há mudança sistemática de resposta de IP entre domínios contrastantes. Do ponto de vista de assinatura, o indicador é próximo do limite (fronteira/transição) entre domínios de IP com o limite de resistividade. Esse comportamento é coerente com cenários em que a resposta é dominada por: **tubulação + zona de instalação** (vala/reaterro), em que o tubo pode ser relativamente resistivo e pouco polarizável, enquanto o material adjacente (solo mais fino/úmido e/ou reaterro) pode exibir maior IP.

O registro fotográfico (figuras 3.7 e 3.8) é relevante por fornecer **evidência direta** de infraestrutura enterrada e por impor uma **restrição independente** à interpretação: a assinatura inferida nas seções (mudança abrupta de domínio em ERT e transição em IP) deve ser compatível com a presença de tubulação e/ou da zona de instalação no lote. Assim, a fotografia funciona como critério externo de plausibilidade.

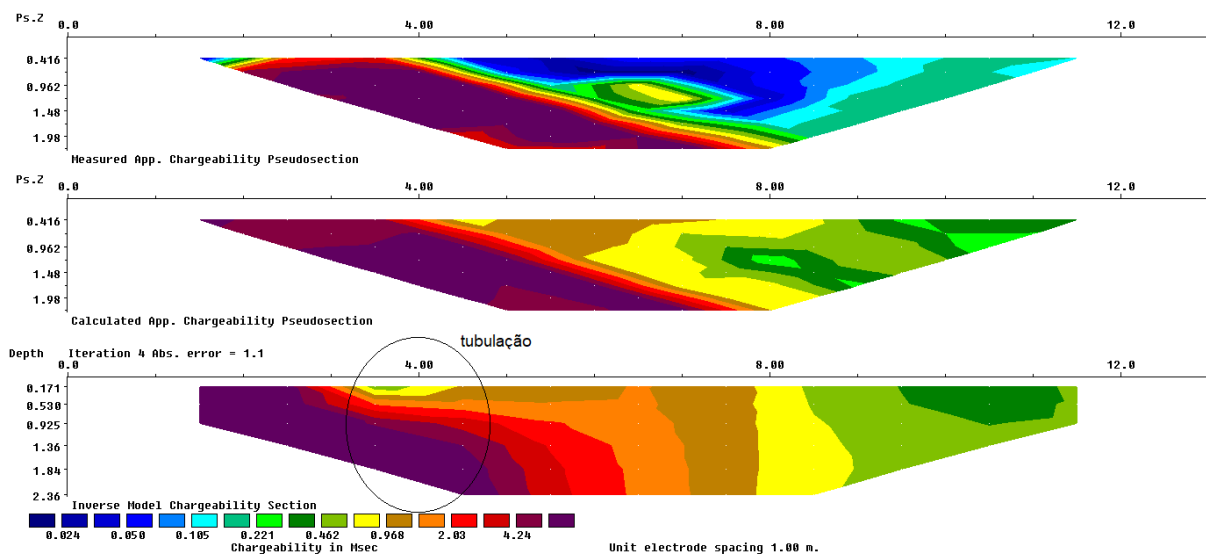


Figura 3.6: Pseudoseções medida e calculada, e seção invertida de cargabilidade (IP).  
Fonte: elaboração própria.



Figura 3.7: Escavação no lote com evidência de infraestrutura enterrada (tubulação). A linha azul representa a localização da ERT e o círculo vermelho a posição da tubulação.  
Fonte: acervo de campo.



Figura 3.8: Vista do lote e indicação aproximada do alinhamento de aquisição. Fonte: acervo de campo.

## Assinatura Proposta

Com base nos resultados, a **assinatura geoeétrica** proposta para o alvo “tubulação em ZEPP” (neste lote e nesta configuração) é:

1. **ERT:** presença de **contato lateral abrupto** (alto gradiente) separando domínios com resistividade distinta, com mudança de padrão que persiste no modelo invertido em profundidade rasa (ordem de metros).
2. **IP:** presença de **transição sistemática de cargabilidade** próxima ao mesmo setor do perfil onde ocorre o contato na ERT, interpretada como resposta da **zona de instalação/reaterro** e/ou do contraste entre materiais com diferentes teores de finos/umidade.
3. **Critério de decisão (prático):** a assinatura é considerada mais robusta quando o **limite** (fronteira) entre domínios aparece em **ambos** os métodos (ERT e IP), mesmo que as **formas** não coincidam exatamente.

## Conclusões e Recomendações

- Este estudo permitiu definir uma assinatura geoeétrica operacional para a tubulação: **contato abrupto em resistividade + transição coerente em cargabilidade** na mesma faixa do perfil.
- A assinatura observada é **compatível** com a presença de infraestrutura enterrada e/ou de sua zona de instalação (vala/reaterro), especialmente quando integrada ao **registro fotográfico** de escavação com tubulação.
- Recomenda-se, para validação objetiva da assinatura, a execução de **verificação pontual** (trado/pequena escavação) atravessando a região do **contato abrupto** observado na Linha 1, além de um ponto de controle em domínio contrastante.