



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**ALEXSANDRO DOS SANTOS GARCES**

**PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRANEA POR ELETORRESISTIVIDADE EM  
TERRENOS CRISTALINOS**

**FORTALEZA**

**2019**

ALEXSANDRO DOS SANTOS GARCES

PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRANEA POR ELETRORRESISTIVIDADE EM  
TERRENOS CRISTALINOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geologia. Área de concentração: Geologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.

Coorientador: Dr Jackson Alves Martins.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

G196p            Garces, Alexsandro dos Santos.  
                  Prospecção de água subterrânea por eletrorresistividade em terrenos cristalinos/ Alexsandro dos Santos Garces. – 2019.  
                  91 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.  
Coorientação: Dr. Jackson Alves Martins.

1. Hidrogeologia. 2. Poços tubulares. 3. Geofísica. I. Título.

CDD 551

---

ALEXSANDRO DOS SANTOS GARCES

PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRANEA POR ELETORRESISTIVIDADE EM  
TERRENOS CRISTALINOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geologia. Área de concentração: Geologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovada em: 14/06/2019.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Eneias Oliveira Lousada  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Raimundo Mariano Gomes Castelo Branco  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Rosimar dos Santos Garces e Antônio Alves Garces (In memoriam), a minha esposa, e aos meus irmão e sobrinhos.

## **AGRADECIMENTOS**

A CAPES e ao CNPQ, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante, DEGEO/CC/UFC e ao Dr. Jackson Alves Martins DEGEO/CC/UFC pela excelente orientação, paciência e ensinamentos que me ajudaram na conclusão deste trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Christiano Magini e Prof. Dr. Raimundo Mariano Gomes Castelo Branco pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Ao Prof. Dr. Otaciel de Oliveira Melo meu orientador da graduação pelos ensinamentos e amizade.

Ao Departamento de Geologia/CC/UFC, em especial aos professores que contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos meus amigos de graduação Flávio Pinheiro, Bruno Farias (broca), Talita Fernanda (talitão), Rafael (rambo), Rafael Mota, Harlem Enckel (chicó), Francisco José (fofo), Naedja Pontes (nana), Joel Pedrosa, Juan Azevedo, Erlando (topografia) e Henrique (cló). E a todos os meus amigos e familiares pela presença e apoio na minha vida.

“Pois dele, por ele e para ele são todas as coisas. A ele seja a glória para sempre! Amém.” Romanos 11:36

## RESUMO

Esta dissertação trata da prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos utilizando o Método da Eletrorresistividade - Arranjo Gradiente em uma dimensão (1D), desenvolvida no município de Iracema/CE. A área de estudo está inserida em terrenos cristalinos pré-cambrianos da Província Borborema e no denominado “polígono das secas”, caracterizado pelo clima semiárido, de elevados índices anuais de evapotranspiração, com chuvas mal distribuídas, o que têm contribuído para a escassez de água nessa região. Em consequência da carência de água da população, foi desenvolvido pela Superintendência de Obras Hidráulicas (SOHIDRA) um programa emergencial de captação de água subterrânea para atender a sede municipal de Iracema e as localidades de Chapada, Jurema, Mororó, Foz de Cima, Foz/Germano, Tabuleiro Alto, Serra Vermelha, Água Nova/Ema, Bom Sucesso/Ema, Sítio Bom Sucesso e Fazenda Bom Sucesso. Essa pesquisa envolveu mapeamento geológico, sensoriamento remoto, cadastramento de poços tubulares e levantamento geofísico, que resultou na locação e construção de 30 poços tubulares. Foi desenvolvido um método de Detecção de Anomalias Geoelétricas (DAGE), fundamentada na análise da geometria das anomalias geoelétricas e valores de resistividade obtidos nas curvas de campo, litologias e vazões dos poços tubulares. Foram classificados dois tipos de curvas, a primeira apresenta uma anomalia geoelétrica em “U”, exibindo dois ou mais valores de baixa resistividade e ocorrem em rochas gnáissicas do Complexo Jaguaretama, onde todos os 20 poços locados nesse tipo de curvas e litologia foram produtivos, com vazão máxima de 16m<sup>3</sup>/h. A segunda exibe uma anomalia geoelétrica em “V”, apresenta apenas um valor de baixa resistividade e ocorre nas rochas graníticas dos Plúton Pereiro e Plúton Sem Denominação, os 10 poços locados nessas curvas e litologia apresentaram baixa produtividade com vazões inferiores a 1,10 m<sup>3</sup>/h e 4 deles foram secos. Conclui-se que a correta aplicação do Método da Eletrorresistividade, seguindo os critérios previamente definidos, a exemplo de executar os perfis em áreas onde ocorrem rochas gnáissicas e seguindo uma direção paralela a sua foliação (NE-SW) cruzando assim fraturas com direção W-E, integrado ao método DAGE apresentou um alto índice de acerto (80%) nas locações, com vazão média 3,56m<sup>3</sup>/h, e que as rochas gnáissicas do Complexo Jaguaretama que ocorrem no município de Iracema possui um bom potencial hídrico.

**Palavras-Chave:** Hidrogeologia. Poços Tubulares. Geofísica

## ABSTRACT

This dissertation deals with the prospection of groundwater in crystalline terrains using the Eletroresistivity Method - Gradient Arrangement in a dimension (1D), developed in the city of Iracema/CE. The study area is located in pre-Cambrian crystalline terrains of Borborema Province and in the so-called "drought polygon", characterized by semi-arid climate, high annual indices of evapotranspiration, with poorly distributed rainfall, which has contributed to the scarcity of water region. As a consequence of the water shortage of the population, an emergency groundwater catchment program was developed by the Superintendent of Hydraulic Works (SOHIDRA) to serve the municipal headquarters of Iracema and the localities of Chapada, Jurema, Mororó, Foz de Cima, Foz / Germano, Tabuleiro Alto, Serra Vermelha, Água Nova / Ema, Bom Sucesso / Ema, Sitio Bom Sucesso and Fazenda Bom Sucesso. This research involved geological mapping, remote sensing, registration of tubular wells and geophysical surveys, which resulted in the leasing and construction of 30 tubular wells. A Geoelectric Anomaly Detection (DAGE) method was developed, based on the analysis of the geometry of the geoelectric anomalies and resistivity values obtained in the field curves, lithologies and flows of the tubular wells. Two types of curves were classified, the first presents a U-shaped geoelectric anomaly, exhibiting two or more values of low resistivity and occur in gneiss rocks of the Jaguaratama Complex, where all 20 wells located in this type of curves and lithology were productive, with a maximum flow of 16m<sup>3</sup>/h. The second shows a "V" geoelectric anomaly, presents only a low resistivity value and occurs in the granitic rocks of Plúton Pereiro and Plúton Un Denomination, the 10 wells located in these curves and lithology presented low productivity with flow rates lower than 1.10 m<sup>3</sup>/h and 4 of them were dried. It is concluded that the correct application of the Eletroresistivity Method, following the criteria previously defined, such as running the profiles in areas where gneiss rocks occur and following a direction parallel to their foliation (NE-SW), thus crossing fractures with WE direction, integrated with the DAGE method showed a high rate of correctness (80%) in the locations, with a mean flow rate of 3.56m<sup>3</sup>/h, and that the gneiss rocks of the Jaguaratama Complex that occur in the municipality of Iracema has good water potential.

**Keywords:** Hydrogeology. Tubular Wells. Geophysics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	14
Figura 2 - Modelo Digital do Terreno ressaltando na porção leste em vermelho a Serra denomina Plúton Pereiro.....	22
Figura 3 - Esboço geológico regional da porção setentrional da Província Borborema e dos arredores do lineamento Patos. LTB = lineamento Transbrasiliano; ZCSP = Zona de Cisalhamento Senador Pompeu; ZCPa = Zona de cisalhamento Patos; CC = Complexo Cruzeta; MSJC = Maciço São José do Campestre; CG = Complexo Granjeiro (modificado de Van Schmus et al, 1995).....	23
Figura 4 - Mapa Geológico do município de Iracema – CE, mostrando a área de estudo....	25
Figura 5 - Afloramento de gnaisse bandado de granulação média orientados segundo a direção NE-SW, compostos por bandas centimétricas de quartzo/feldspato alternando com bandas de minerais ferromagnesianos biotita e anfibólio e cortadas por fraturas orientadas segundo a direção E-W, localizados no bairro Campos – Iracema/CE.....	26
Figura 6 - Afloramento de augen gnaisse bandado de granulação fina, orientados segundo a direção NE-SW, de composição granodiorítica, com predomínio de bandas de quartzo e feldspatos bastante fraturados, coloração amarelada situada na localidade de Chapada/ Serra dos Bastiões – Iracema/CE.....	27
Figura 7 - Afloramento de rocha granítica maciça situada no bairro Caixa D' Água – Iracema/CE.....	28
Figura 8 - Mapa de lineamentos vetoriais do município de Iracema, com os diagramas de roseta exibindo a orientação principal destas feições.....	29
Figura 9 - Afloramento rasteiro de ortognaisse fraturado, com predominância de camadas de quartzo e feldspato (Complexo Jaguaratama), direção do Afloramento de ortognaisse bandado de granulação grossa, com predominância de leitos xistosos, orientados segundo a direção N70°/40°SE, cortadas por fraturas escalonadas de direção E-W, com espaçamento de 40 cm entre elas situado na localidade Mororó – Iracema/CE coordenadas UTM: 574653mE/936096mN.....	30

Figura 10 - Afloramento de ortognaisse bandado de granulação grossa, orientados segundo a direção NE-SW, com predominância de camadas de quartzo e feldspato (Complexo Jaguaretama), cortadas por fraturas subverticais com direção N112°/90°, situado na localidade Fazenda Bom Sucesso – Iracema/CE coordenadas UTM: 574653mE/936096mN.....	30
Figura 11 - Afloramento de augen gnaisse bandado de granulação fina, orientados segundo a direção NE-SW, de composição granodiorítica, com predomínio de bandas de quartzo e feldspatos bastante fraturados e alterados, coloração amarelada (Suíte Intrusiva Serra do Deserto) situada na localidade de Chapada – Iracema/CE coordenadas UTM: 561867mE/9350925mN.....	31
Figura 12 - Fundamentos da lei de Ohm.....	34
Figura 13 - Fluxo de corrente e as equipotenciais.....	35
Figura 14 - Configuração dos eletrodos na superfície do terreno para aplicação do método da eletrorresistividade.....	35
Figura 15 - Dispositivos geoeletricos mais usados nos estudos de resistividade e Equações correspondentes em cada dispositivos.....	37
Figura 16 - Arranjo Gradiente – CE.....	38
Figura 17 - Aquisição dos dados de resistividade, arranjo gradiente na sede do município de Iracema.....	40
Figura 18 - Fotografias mostrando os dois resistivímetros utilizados para coleta das medidas de resistividades aparente em campo com auxilio de um notebook, bobinas e eletrodos para injeção de corrente elétrica e recepção da medida de diferença de potencial.....	40
Figura 19 - Mapa geológico do município de Iracema mostrando a área de estudo e as locações dos poços tubulares.....	41
Figura 20 - Modelo de FICHAS DE CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS POÇOS – SOHIDRA.....	43
Figura 21 - Histograma de frequência profundidade dos poços.....	45
Figura 22 - Histograma de frequência vazão.....	46
Figura 23 - Histograma de profundidade do poço x vazão x litologia.....	47
Figura 24 - Histograma de frequência revestimento.....	47
Figura 25 - Histograma de frequência de fraturas.....	48

Figura 26 - Gráfico de dispersão de profundidade do poço x profundidades das fraturas.....	48
Figura 27 - Histograma de frequência nível estático.....	49
Figura 28 - Histograma de frequência Nível Dinâmico.....	49
Figura 29 - Curva de resistividade com anomalia geométrica em “U”.....	51
Figura 30 - Curva de resistividade com anomalia geométrica em “V”.....	51
Figura 31 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	53
Figura 32 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	54
Figura 33 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	55
Figura 34 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	56
Figura 35 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	57
Figura 36 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	58
Figura 37 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	59
Figura 38 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	60
Figura 39 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	61
Figura 40 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	62
Figura 41 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	63
Figura 42 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	64
Figura 43 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	65
Figura 44 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	66

Figura 45 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	67
Figura 46 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	68
Figura 47 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	69
Figura 48 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	70
Figura 49 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	71
Figura 50 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	73
Figura 51 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	74
Figura 52 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	75
Figura 53 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	76
Figura 54 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	77
Figura 55 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	78
Figura 56 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	79
Figura 57 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	80
Figura 58 - Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.....	81

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1.1</b>	<b>Considerações iniciais</b> .....	10
<i>1.2.1</i>	<i>Objetivos</i> .....	13
<b>1.3</b>	<b>Localização da área</b> .....	13
<b>1.4</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b> .....	14
<b>2</b>	<b>MÉTODO DE TRABALHO E MATERIAIS</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Etapa inicial</b> .....	16
<i>2.1.1</i>	<i>Levantamento Bibliográfico</i> .....	16
<i>2.1.2</i>	<i>Base Cartográfica</i> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Etapa de Campo</b> .....	17
<i>2.2.1</i>	<i>Reconhecimento Geológico local</i> .....	17
<i>2.2.2</i>	<i>Levantamento Geofísico</i> .....	17
<i>2.2.3</i>	<i>Construção dos poços tubulares</i> .....	17
<i>2.2.4</i>	<i>Cadastrros dos poços</i> .....	18
<b>2.3</b>	<b>Etapa de final (escritório)</b> .....	18
<b>3</b>	<b>ASPECTOS GEOAMBIENTAIS</b> .....	19
<b>4</b>	<b>CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	23
<b>4.1</b>	<b>Província Borborema</b> .....	23
<b>4.2</b>	<b>Contexto Geológico do município de Iracema</b> .....	24
<i>4.2.1</i>	<i>Complexo Jaguaretama</i> .....	26
<i>4.2.2</i>	<i>Suíte Intrusiva Serra do Deserto</i> .....	26
<i>4.2.3</i>	<i>Plúton Pereiro e Plúton Sem Denominação</i> .....	27
<b>4.3</b>	<b>Aspectos estruturais</b> .....	28
<b>5</b>	<b>MÉTODO GEOFÍSICO</b> .....	32
<b>5.1</b>	<b>Introdução</b> .....	32
<b>5.2</b>	<b>Eletrorresistividade</b> .....	32
<b>5.3</b>	<b>Fluxo de corrente</b> .....	34
<b>5.4</b>	<b>Dispositivo geométrico</b> .....	36
<b>5.5</b>	<b>Arranjo Gradiente</b> .....	37
<b>6</b>	<b>PROSPECÇÃO GEOFÍSICA</b> .....	39
<b>6.1</b>	<b>Introdução</b> .....	39

<b>7</b>	<b>RESULTADOS E DISCURSSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>7.1</b>	<b>Poços tubulares.....</b>	<b>42</b>
<b>7.1.1</b>	<b><i>Características Hidrodinâmicas.....</i></b>	<b>45</b>
<b>7.1.2</b>	<b><i>Histogramas de frequência.....</i></b>	<b>45</b>
<b>7.1.2.1</b>	<b><i>Profundidade dos poços.....</i></b>	<b>45</b>
<b>7.1.2.2</b>	<b><i>Vazão.....</i></b>	<b>46</b>
<b>7.1.2.3</b>	<b><i>Revestimento dos poços.....</i></b>	<b>47</b>
<b>7.1.2.4</b>	<b><i>Fraturas.....</i></b>	<b>48</b>
<b>7.1.2.5</b>	<b><i>Nível Estático (N.E).....</i></b>	<b>49</b>
<b>7.1.2.6</b>	<b><i>Nível Dinâmico (N.D).....</i></b>	<b>49</b>
<b>7.2</b>	<b>Método de Detecção de Anomalias Geométricas - DAGE.....</b>	<b>50</b>
<b>7.2.1</b>	<b><i>Classificação qualitativa das Curvas (anomalias geométricas).....</i></b>	<b>51</b>
<b>7.2.2</b>	<b><i>Produção e análise das curvas de campo.....</i></b>	<b>52</b>
<b>7.1.2.1</b>	<b><i>Curvas com geometria em “U”.....</i></b>	<b>52</b>
<b>7.1.2.2</b>	<b><i>Curvas com geometria em “V”.....</i></b>	<b>72</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>82</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>85</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

O Nordeste do Brasil possui uma área de aproximadamente 1.600.000 km<sup>2</sup> e cerca de 937.000 km<sup>2</sup> estão situados no “Polígono das Secas”, caracterizado pelo clima semiárido de elevados índices anuais de evapotranspiração, com chuvas mal distribuídas e ausência de rios perenes e de grandes vazões. Em virtude dessa questão climática, a região é afetada por períodos de estiagens originando, assim, a seca, o que vem ocorrendo no estado do Ceará ao longo de sua história prejudicando a agropecuária, principalmente a familiar, assim como o abastecimento da população e de outras atividades.

A seca desde sempre castiga o sertão nordestino, ao longo de sua história ocorrem revezamentos de anos com boas precipitações de chuva e anos com baixas precipitações, porém a estiagem que se iniciou no ano de 2012 e vem se estendendo até hoje e é considerada a pior já registrada no Brasil. As chuvas ficaram abaixo da média para recarregar os açudes e até mesmo os de grande volume estão sendo afetados, como o Açude Público Padre Cícero (Açude Castanhão) que possui capacidade de armazenamento de 6,7 bilhões de m<sup>3</sup>, responsável pelo abastecimento de água da Região Metropolitana de Fortaleza e outros 11 municípios. Em abril de 2019 esse açude apresentava 7,57% de sua capacidade, causando o uso restrito de sua água e atingindo diretamente o abastecimento de milhões de pessoas, assim como o provimento de água para as atividades industrial e comercial. Atualmente mais de 100 municípios do estado do Ceará são atendidos por carros-pipa.

O Estado do Ceará é constituído por aproximadamente 80% de terrenos cristalinos pré-cambrianos da Província Borborema que tem como característica o baixo potencial hidrogeológico, tendo em vista que neste contexto a água só pode ser armazenada ao longo de descontinuidades propícias (zonas fraturadas). A busca por zonas fraturadas constitui um desafio constante em termos de locação de poços potencialmente produtivos.

O município de Iracema, área de estudo, está inserido nesse contexto climático e geológico, possuindo rede de drenagem constituída por cursos d’água intermitentes sazonais de pequeno porte. Esses fatores têm contribuído para a escassez de água na região e, com isso, a população vem sofrendo ao longo de sua história.

Iracema possui um sistema de abastecimento público de água mantido pela Companhia de Água e Esgotos do Ceará - CAGECE, que utiliza os açudes Canafístula, Ema e Santo Antônio com capacidades máximas de armazenamento de 13,11x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, 10,39 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

e 832 mil m<sup>3</sup>, respectivamente. Até o início do mês de março de 2018, estes açudes estavam secos. De acordo com o boletim diário de nível de açudes da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME, estes açudes estão atualmente (abril de 2019) com 22,7%, 7,9% e 3,2% de suas capacidades respectivamente.

Em consequência da escassez de água no município, foi desenvolvido um programa emergencial de captação de água subterrânea para atender a demanda da sede municipal e das localidades de Chapada, Jurema, Mororó, Foz de Cima, Foz/Germano, Tabuleiro Alto, Serra Vermelha, Água Nova/Ema, Bom Sucesso/Ema, Sítio Bom Sucesso, Fazenda Bom Sucesso, envolvendo atividades de natureza geológica, hidrogeológica, sensoriamento remoto, cadastramento de poços e levantamentos geofísicos pelo Método da Eletrorresistividade – Arranjo Gradiente, onde foi realizada a locação e construção de 30 poços tubulares profundos.

No estado do Ceará, as pesquisas relacionadas à prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos são comumente de caráter emergencial de combate aos efeitos da seca, o que dificulta o desenvolvimento de uma pesquisa com cunho científico, que possibilite o conhecimento dos fatores que explique os resultados das locações de poços. A falta de um planejamento adequado devido ao curto espaço de tempo, baixo aporte financeiro destinado aos estudos hidrogeológicos, erro na aplicação e interpretação do método geofísico, ausência de espaços físicos motivados principalmente pela falta de doações de terrenos para execução dos levantamentos geofísicos e construção do poço, tem causado um índice de aproximadamente 50% de insucesso na locação de poços no Ceará.

Na bibliografia, os métodos mais utilizados para locação de poços são o Caminhamento Elétrico - Arranjo Dipolo-Dipolo e a Sondagem Elétrica Vertical – SEV, está recomendada apenas para locação de poços em terrenos sedimentares. Trabalhos como o de Pereira (2009), que correlacionou anomalias geoeletricas típicas de zonas fraturadas em rochas cristalinas com medidas de emissão de radônio natural em áreas onde os fatores externos impedem a execução de métodos geoeletricos, onde foram utilizados os Arranjos Dipolo-Dipolo e Gradiente para aquisição dos dados de resistividade elétrica e, para aquisição das medidas de emissão de radônio natural, foi utilizado um equipamento detector de radônio – Markus 10, da Gammadata. Os resultados mostraram que existe uma correlação entre as anomalias de emissão de radônio com anomalias geoeletricas, e que esse método de trabalho é considerado uma ferramenta importante no auxílio na pesquisa de água subterrânea.

A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme, 2011) desenvolveu um trabalho aplicando métodos geofísicos integrado ao geoprocessamento para

prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos do semi-árido do Brasil. Os métodos empregados foram o eletromagnético - VLF e eletrorresistividade – caminhamento elétrico.

No Arranjo Dipolo-Dipolo a coleta de dados de resistividade é mais demorada e árdua e exige um maior esforço físico da equipe técnica no campo, aumentando significativamente o tempo e o custo da locação de poços. No Ceará apesar da grande importância que tem água subterrânea para o abastecimento da população, o estudo geofísico é bastante desvalorizado, o que se faz necessário aplicar um método prático e rápido para tornar o levantamento viável financeiramente para o geólogo. Por essa razão foi usado o Arranjo Gradiente em uma dimensão (1D), por ser um arranjo rápido e de fácil aplicação e interpretação comparada aos outros arranjos (Dipolo-Dipolo, Tomografia Elétrica 2D e 3D). Estes outros arranjos oferecem excelentes imagens, com maior resolução e números de leituras, porém precisa-se de pessoal qualificado e equipamento mais robusto.

O desenvolvimento do método de Detecção de Anomalias Geométricas-DAGE aplicado na prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos se deu pela necessidade de se obter um método que aumentasse o acerto nas locações em conjunto com uma melhor produtividade de poços tubulares. Essa metodologia não é baseada só nos resultados dessa pesquisa, mas também em 9 anos de experiência do autor no ramo da prospecção de águas subterrâneas em terrenos cristalinos no estado do Ceará, com mais de 1000 poços locados, com índice de acerto de aproximadamente 80%, beneficiando milhares de famílias carentes, que residem principalmente no sertão onde predomina as rochas cristalinas e a ocorrência de água subterrânea é bastante reduzida. O objetivo dessa dissertação é passar o conhecimento adquirido ao longo de anos de prática de campo para servir como ferramenta para os profissionais que trabalham na área de hidrogeologia e contribuir para melhorar os resultados das locações de poços.

## 1.2 Objetivos

Desenvolver um método de pesquisa de prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos utilizando a Eletrorresistividade - Arranjo Gradiente em uma dimensão - 1D com base em estudo de caso aplicado no município de Iracema, Ceará, com suporte no reconhecimento geológico e construção de poços tubulares

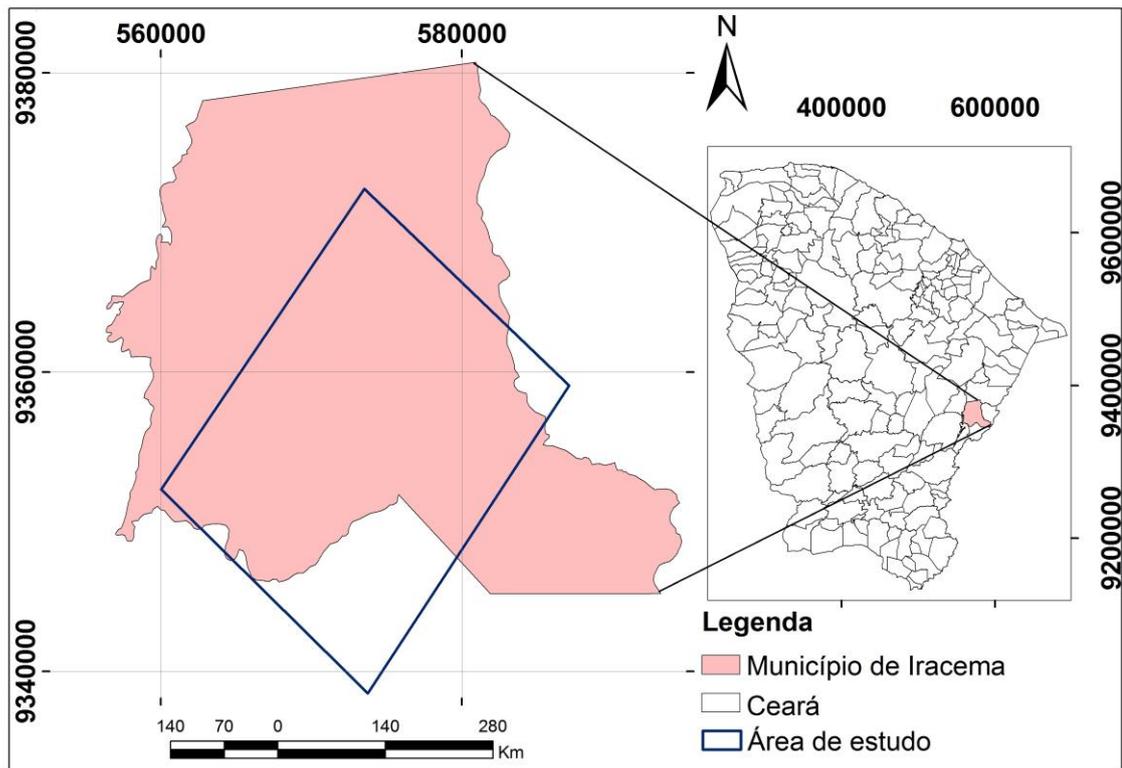
Como objetivos específicos tem-se:

- ✓ Realizar um mapeamento geológico regional utilizando o sensoriamento remoto com descrição litológica em afloramento e coleta de medidas de atitudes de foliação e fraturas.
- ✓ Produzir mapa de lineamentos e de drenagem para auxiliar na seleção de áreas alvos para o levantamento geofísico;
- ✓ Executar um levantamento geofísico pelo Método da Eletrorresistividade – Arranjo Gradiente em uma dimensão - 1D, com a finalidade de definir áreas favoráveis à construções de poços tubulares;
- ✓ Construir e analisar perfis de resistividade elétrica em uma dimensão e avaliá-los na interface com a litologia e com os dados de produtividade dos poços;
- ✓ Identificar os fatores que influenciam na ocorrência de água subterrânea nos terrenos cristalinos da área de estudo;
- ✓ Desenvolver e propor uma metodologia que integre as relações entre propriedades geométricas (zonas fraturadas) e propriedades hidráulicas (produtividade dos poços) do meio fissural, através da análise e interpretações das curvas de resistividade elétrica em uma dimensão e dados de vazões dos poços.

## 1.3 Localização da área

A área de estudo está inserida no município de Iracema, microrregião da Serra do Pereiro e mesorregião do Jaguaribe, estado do Ceará, Brasil. Está delimitada pelos vértices de coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*): 573429mE/9371916mN, 587088mE/9359116mN, 573760E/9338538mN e 560011mE/9338538mN. O município é dividido em 04 distritos: Iracema (sede), Bastiões, Ema e São José, sendo limitado ao Norte pelos municípios de Alto Santo, ao Sul por Pereiro e Ererê, a Leste por Potiretama e a Oeste por Jaguaribara. O acesso a partir de Fortaleza é feito pela BR-116 até ao município de Alto Santo, percorrendo-se 228 km. Em seguida, vira-se a esquerda e segue pela CE-138 até chegar ao município de Iracema, percorrendo-se no total 283 km (Figura 1).

**Figura 1** - Mapa de localização da área de estudo.



#### 1.4 Revisão bibliográfica

Pineó (2005) realizou uma pesquisa integrando dados Geofísicos, Geológicos e de Sensoriamento Remoto aplicado à prospecção de água subterrânea em meios fissural no distrito de Juá, município de Irauçuba/CE. Foram utilizadas informações aeroeletromagnéticas, dados geológicos e hidrogeológicos, imagens de satélites, fotografias aéreas e valores de condutividade aparente de subsuperfície adquiridos com uso de equipamento eletromagnético EM 34-XL, além de dados de resistividade aparente adquiridas com aplicação do Método Elétrico Dipolo-dipolo. Os resultados foram considerados bastante satisfatórios, onde foi possível indicar um local propício para a captação de água subterrânea por meio de um poço tubular.

Braga (2006) utilizou os métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicada a estudos de captação e contaminação de água subterrânea, empregando as técnicas de Sondagem Elétrica Vertical – SEV – Arranjo Schlumberger e o Caminhamento Elétrico – Arranjo Dipolo-dipolo. Nesse estudo ele apresentou uma discussão sobre os principais métodos e técnicas de campo dos métodos geoeletricos aplicados em estudos hidrogeológicos, com destaque para o abastecimento e diagnóstico de solo, rocha e água subterrânea frente a

poluentes.

Sousa (2011) utilizou os métodos VLF e ER (eletrorresistividade) na prospecção de água subterrânea no município de Piçarra/PA. Os levantamentos dos perfis eletromagnéticos com VLF foram executados em nove ruas e as medidas de resistividade foram obtidas a partir de 17 Sondagens Elétricas Verticais – SEVs, distribuídas pelas ruas da sede do município. Os resultados mostraram que a correlação entre as SEVs, dados de eletromagnéticos do VLF e informações geológicas permitiram identificar a posição de condutos associados a fraturas com água.

Martín-Loeches et al (2015) desenvolveram um trabalho de prospecção de água subterrânea no município de Caimbambo (Benguela/Angola) em zonas de rochas ígneas e metamórficas, utilizando imagens de satélite visando reconhecer áreas geomorfológicas favoráveis ao desenvolvimento de alterações do substrato. O mesmo utilizou também elementos sociais, como a proximidade das aldeias fornecidas, e a estimativa do potencial das perfurações por meio de técnicas manual. Foi aplicado o Caminhamento Elétrica (arranjo gradiente) em uma dimensão (1D) para localizar pontos de menor resistividade e a Sondagem Elétrica Vertical para definir as características dos materiais em profundidade. Os resultados mostraram que geofísica aplicada não se mostrou adequado para estimar com precisão a posição das fraturas ou a profundidade total da zona alterada, mas sim para localizar onde as perfurações funcionariam de forma mais eficiente.

Henrique de Sá (2017) utilizou a técnica de imageamento elétrico multi-eletrodos com geometria variável para localizar lineamentos estruturais nas rochas em subsuperfície, aptas a armazenarem água. Foram analisados quatro casos de aquíferos em rochas cristalinas: i) três deles em metassedimentos e corpos graníticos do Grupo Araxá; ii) e outro nos domos gnáissicos-migmatíticos da Formação Itabaiana – Simão Dias. Os dados adquiridos foram processados e interpretados de acordo com informações geológicas de cada região. Os resultados mostraram que os poços perfurados através da indicação do imageamento elétrico foram produtivos.

## **2 MÉTODO DE TRABALHO E MATERIAIS**

O método de trabalho utilizado nesta pesquisa foi desenvolvido em três etapas compreendendo etapa inicial, etapa de campo e escritório (etapa final). A seguir tem-se as descrições destas etapas, assim como os materiais utilizados no decorrer do trabalho.

### **2.1 Etapa inicial**

Compreenderam no levantamento de informações sobre a geologia, hidrogeologia, poços tubulares do município de Iracema visando reconhecer os tipos e as características dos aquíferos que ocorrem na área e também escolha, aplicação e interpretação do método geofísico adequado para prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos.

#### ***2.1.1 Levantamento Bibliográfico***

Consistiu no levantamento bibliográfico vinculado à área de estudo nas bibliotecas setoriais da Universidade Federal do Ceará – UFC, da CPRM e da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado - SRH, em publicações científicas (artigos publicados em periódicos científicos, Relatórios de Graduação, Dissertações, Teses e livros específicos). Assim foram analisados dados referentes à geologia, hidrogeologia e de poços tubulares na área de estudo, processamento e interpretação de imagens de sensoriamento remoto, principio e aplicação do Método Geofísico por Eletrorresistividade – Arranjo Gradiente com ênfase na prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos.

#### ***2.1.2 Base Cartográfica***

Foram gerados mapas temáticos georreferenciados para a utilização nos trabalhos de campo. A base cartográfica para a confecção do mapa geológico do município foi obtida a partir do Mapa geológico do Estado do Ceará, escala 1:500.000 (Cavalcante *et al*, 2003) disponibilizadas pela CPRM e por reconhecimento de campo. Os mapas de topografia, drenagem e lineamento foram gerados a partir da imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). A topografia e a drenagem foram geradas automaticamente, enquanto que os lineamentos foram traçados e quantificados manualmente a partir da interpretação visual, após a aplicação do relevo sombreado e dos filtros, utilizando o ambiente SIG.

## **2.2 Etapa de Campo**

### ***2.2.1 Reconhecimento Geológico***

Foi executado levantamento geológico para identificar os litotipos e as estruturas geológicas que ocorrem na área (orientações das foliações e fraturas) com objetivos de definir uma direção preferencial para execução dos caminhamentos elétricos. Foram reconhecidas também os tipos de relevo (serras e vales) e as drenagens que cortam a área de estudo.

### ***2.2.2 Levantamento Geofísico***

Nessa etapa foram selecionados os poços tubulares com melhor produtividade existentes no município visando zonear áreas com maior potencial hídrico, e executado um mapeamento litológico e estrutural do local com a finalidade de identificar zonas mais fraturadas e propícias à ocorrência e acúmulo de água subterrânea. Após a análise dessas informações, foram selecionadas áreas-alvos para o levantamento geofísico por Eletrorresistividade, Arranjo Gradiente em uma dimensão 1D, onde foram executados 28 perfis de resistividade com abertura dos eletrodos de corrente  $AB = 240$  m e abertura dos eletrodos de recepção  $MN = 8,0$  m, com profundidade de investigação teórica de 60m.

Para execução dos perfis elétricos de resistividade foram utilizados dois resistivímetros, o primeiro da CTRL TECH CDC 12/1000 Vcc composto por um conversor com entrada de 12V, saída de 0 a 1000 mV (milivolt) e por um milivoltímetro com alimentação de pilhas AA recarregáveis, o segundo da X5XTAL da AUTOENERGIA composto por um conversor com entrada de 12V, saída de 0 a 600 mV (milivolt) e por um milivoltímetro com alimentação de pilhas AA, sendo obtidos dados de resistividade aparente que foram tratados com o software Excel 2010. Os dados foram plotados ao longo de perfil em uma dimensão (1D), considerando-se as estações de leitura e seus espaçamentos.

### ***2.2.3 Construção dos poços tubulares***

A partir do mapeamento geofísico foram locados 30 poços tubulares que foram construídos pela Superintendência de Obras Hídricas - SOHIDRA, onde 19 localiza-se na sede do município de Iracema e 11 distribuídos unitariamente nas localidades de Chapada, Jurema, Mororó, Foz de Cima, Foz/Germano, Tabuleiro Alto, Serra Vermelha, Água

Nova/Ema, Bom Sucesso/Ema, Sítio Bom Sucesso e Fazenda Bom Sucesso. As informações de profundidade, revestimento, entrada d'água/fratura, litologia, vazão, nível estático, nível dinâmico e rebaixamento foram utilizadas para que juntamente com os dados geofísicos, possam substanciar um modelo geofísico aplicado a meio cristalino de locação de poços.

#### ***2.2.4 Cadastro dos poços tubulares***

Após a construção dos 30 poços tubulares pela SOHIDRA, foi gerado um arquivo de dados com as informações dos mesmos, e em seguida, foram analisados, com auxílio da estatística, os dados de vazão, nível dinâmico, nível estático, profundidade, revestimento, perfil litológico, representados em histogramas para conhecimento das características hidrodinâmicas dos aquíferos captados.

### **2.3 Etapa final (Escritório)**

Esta etapa correspondeu à análise e interpretação dos dados geológicos, hidrogeológicos e geofísicos obtidos nessa pesquisa, integrando às informações extraídas das curvas de resistividade, poços tubulares e estruturas geológicas. Para o tratamento dos dados geofísicos coletadas em campo foi utilizado o software Excel 2010, onde foram plotados os valores de resistividade ao longo de um perfil em uma dimensão, com espaçamento de 8m para cada estação de leitura e com uma profundidade de investigação fixa de 60m, possibilitando gerar as curvas de resistividades e suas anomalias geoeletricas.

As curvas foram analisadas e classificadas levando em consideração a geometria das anomalias geoeletricas, valores de resistividade e o tipo de litologias que ocorrem no local. A partir dessas observações foi desenvolvido um método de Detecção de Anomalias Geoeletricas -DAGE onde foram definidos dois tipos de curvas: as curvas em “U” que apresentam dois ou mais valores de baixa resistividade ( $<250 \Omega m$ ) e são associadas às rochas gnáissicas fraturadas e as curvas em “V” que apresentam apenas um valor de baixa resistividade e que são associadas às rochas graníticas. A partir dos dados de produtividade dos poços tubulares foi possível definir que as curvas que apresentaram geometria em “U” possuem melhores vazões comparadas às curvas em “V”.

### 3 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS

O domínio semiárido, predominante no Nordeste brasileiro, tem como característica principal a existência de dois períodos definidos: um seco e longo, em média com oito meses de duração, e outro úmido, curto e irregular.

O município de Iracema está situado no contexto do perímetro das secas, apresentando o tipo climático variando do Tropical Semiárido Brando ao Tropical Semiárido Quente, caracterizado por temperaturas variando de 26 °C a 28 °C, pluviosidade anual 790 mm/ano, curto período chuvoso (de 3 a 4 meses), irregularidade das chuvas no tempo e no espaço e elevada evapotranspiração (IPECE, 2018).

Os solos variam de acordo com as condições ambientais. Entre os tipos de solos da área pesquisa, destacam-se os Litossolos (Neossolos Litólicos), Argissolo Vermelho-Amarelo (Podzólico Vermelho-Amarelo) e Luvisolos (Brunos Não-Cálcicos).

Os Neossolos Litólicos são rasos, pouco desenvolvidos, podendo ser encontrados nos terrenos do embasamento. Os solos aluviais correspondem aos solos de deposições fluviais desenvolvidos a partir de sedimentos quaternários. São representados por areias finas a grossas, de cores variadas, incluindo cascalhos, matações e argilas com matéria orgânica em decomposição. Os Argissolos Vermelho-Amarelos são profundos, bem desenvolvidos. O horizonte B, normalmente apresenta cores entre vermelho-amarelada e a vermelha. Apresentam cores cinzentas ou claras e textura de média a grossa. Podem apresentar baixa ou alta fertilidade natural, dependendo das condições ambientais da área onde esses solos se originam. Os Luvisolos apresentam-se de pouco profundos a rasos, com um “horizonte A” de coloração clara de pequena espessura sobre o “horizonte B”, mais argiloso e de cores avermelhadas. Possuem alta fertilidade natural e elevada quantidade de minerais primários intemperizáveis, que se tornam fontes de nutrientes para a vegetação. Ocupam áreas de relevo suave e ondulado (PINHEIRO e PINHO, 2015).

A cobertura vegetal predominante é a caatinga xerófila, que apresenta variedades caducifólias e algumas perenifólias. Especificamente a complexidade florística da área é sistematizada em Caatinga Arbustiva Aberta, Caatinga Arbustiva Densa e Floresta Caducifólia Espinhosa. Ressaltam-se a proeminência de variedades popularmente conhecidas como *mimosa hostilis* (Jurema-preta), *Piptadenia moniliformis Benth* (Catanduva), *Croton sonderianus* (Marmeleiro- preto), *Combretum leprosum mart* (Mufunbo), *Myracrodun urundeuva* (Aroeira), *Commiphora leptophloeos* (Imburana), *Cordia oncocalyx* (Pau-branco), *Amburana cearensis* (Cumaru) e *Cereus peruvianus mill* (Mandacaru).

Na região pesquisada, a geomorfologia é representada por terrenos das Depressões Sertanejas (Complexo Jaguaritama) e Planície Fluvial (Planície Aluvionar do Rio Jaguaribe). Merece destaque no contexto da Depressão Sertaneja a presença de Plúton denominado Serra Plúton Pereiro (Figura 2).

Os terrenos de Depressões Sertanejas representam a unidade geomorfológica mais extensa do estado, abrangendo a maioria dos municípios cearenses e são representadas por terrenos planos e suaves ondulados com altitudes inferiores a 500 m posicionados entre os maciços residuais. Corresponde a amplas superfícies de aplainamento que foram elaboradas em condições climáticas de semiaridez, o que faz predominar o intemperismo com o processo erosivo intenso rebaixando o relevo.

As Planícies Fluviais são terrenos planos que resultam de deposições efetuadas pelos rios durante o Quaternário. Estão justapostos ao fluxo fluvial e apresentam largura e extensão bastante variadas. Apresentam superfície pouco elevada acima do nível médio das águas, sendo frequentemente inundados por ocasião das cheias. São também denominados de Planícies de Inundação, constituídas de sedimentos argilosos, siltosos e arenosos dispostos em faixas mais ou menos estreitas ao longo dos rios e riachos. São terrenos planos que apresentam um significado socioeconômico para o meio semiárido em virtude de suas características e potencialidades naturais favoráveis à agricultura.

O Maciço do Pereiro está localizado entre os Estados do Rio Grande do Norte e do Ceará. Esse corpo rochoso destaca-se como um conjunto de cristas e vales incisivos orientados na direção NE-SW, caracterizando-se como um maciço granítico de mais de 3000 km<sup>2</sup>, composto por duas suítes magmáticas: Suíte de Doutor Severiano e Suíte de São Miguel (MAGINI, 2001).

Com relação a geologia da área estudada predomina três litologias que são os gnaisses do Complexo Jaguaritama, os granitos do Plúton Pereiro e Plúton Sem Denominação e os augen-gnaisses da Suíte Serra do Deserto. Estão presentes também as manchas de depósitos aluvionares arenosos nos leitos das drenagens principais (CPRM, 2018).

As águas superficiais possuem grandes variações de escoamento fluvial e o longos períodos de ausência da lâmina de água na maioria dos rios, durante os meses de estiagem, faz necessária a acumulação de água através de recursos como açudes, que visam atender a população, a pecuária, a pesca de subsistência e ao lazer.

A Bacia do Rio Jaguaribe é responsável pelo abastecimento de grande parte da população cearense. Está situada, em sua quase totalidade, dentro dos limites do estado do Ceará com pequena parcela estendendo-se ao sul de Pernambuco. O município de Iracema

está inserido nesta bacia.

Água subterrânea é toda água que ocupa os vazios dos corpos rochosos ou sedimentos. Os aquíferos são definidos, conforme Lemos & Medeiros (2006), como sendo pacotes rochosos ou sedimentos, capazes de armazenar e transmitir água. São, portanto, rochas ou sedimentos saturados, suficientemente permeáveis para transmitir quantidades para o consumo vital ou para atividades econômicas, captadas através de poços ou fontes.

As águas subterrâneas estão, predominantemente, no meio cristalino representado por litotipos fraturados e pelas manchas aluvionares. As rochas cristalinas representam o que é denominado comumente de aquífero fissural ou fraturado, possuindo porosidade primária quase nula e a ocorrência da água subterrânea é condicionada pela porosidade secundária representada por fraturas, o que se traduz em reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão.

Neste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas e a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do clima semiárido é, na maior parte das vezes, salinizada. Estas condições atribuem um baixo potencial hidrogeológico com vazões média de 2,0 m<sup>3</sup>/h para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem (FLAVIO e PINHO, 2015).

Segundo o IPECE (2018), Iracema tem 13.722 habitantes, sendo que 71,6% são urbanos e 28,4% rurais. O município dispõe de abastecimento de água da CAGECE, com 3940 ligações, sendo que 99% da população urbana são favorecidas. No sistema de esgoto 542.16 possuem ligações. Possui também posto de saúde, agência dos correios e telégrafos, serviço bancário, serviço telefônico, hospital, pousadas, escolas do ensino fundamental e do ensino médio.

No que concerne à dinâmica da economia, no município de Iracema, as principais atividades econômicas desenvolvidas são a extração vegetal, a produção de carvão, culturas temporária e pecuária. Diante da diversidade da vegetação de caatinga, se poderia explorar, também, a apicultura. A pesca de subsistência é comum no rio Jaguaribe, lagoas e açudes. A atividade comercial concentra-se principalmente na sede municipal.

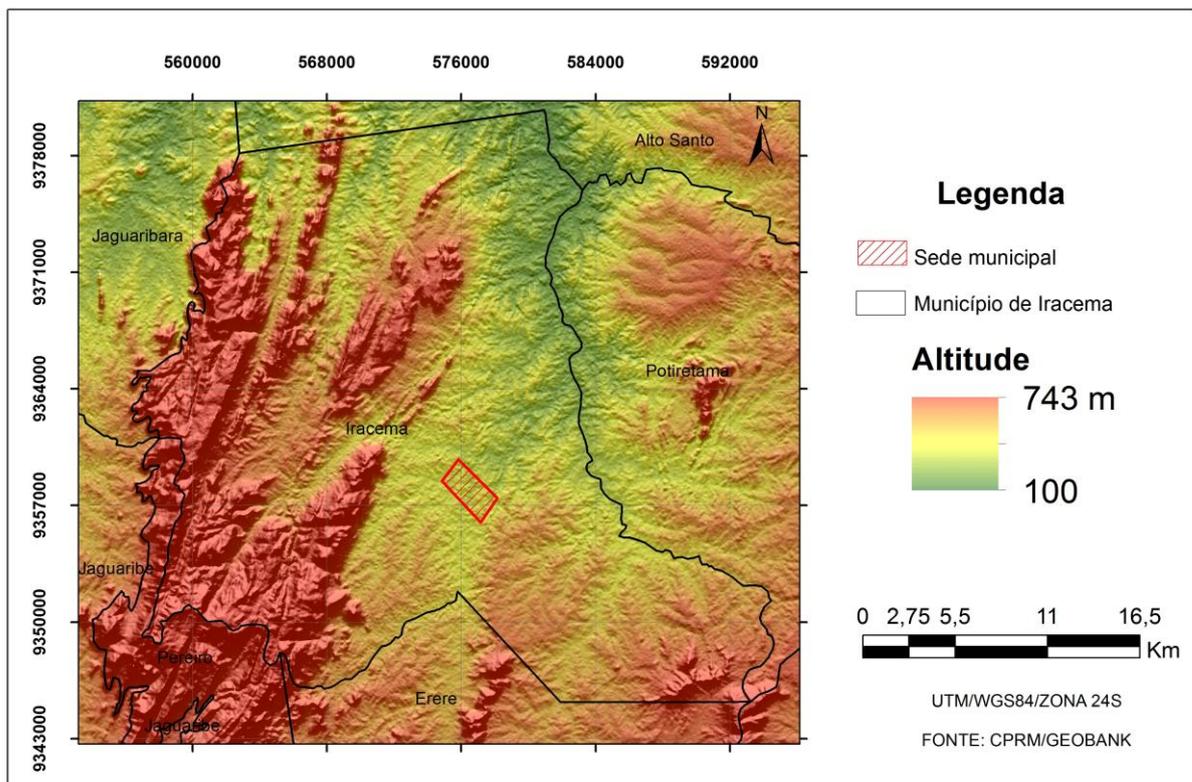
A principal atividade econômica reside na agricultura, com culturas de subsistência de feijão, milho, mandioca, monocultura de algodão, cana-de-açúcar, castanha de caju e frutas diversas. Na pecuária extensiva, destaca-se a criação de bovinos, ovinos, suínos e aves. O extrativismo vegetal sobressai-se na fabricação de carvão vegetal, na extração de madeiras diversas para lenha e construção de cercas, bem como em atividades em que são

manuseadas matérias-primas provenientes da oiticica e da carnaúba.

Na agricultura de subsistência destacam-se a produção de feijão, milho, mandioca, banana, abacate e outras frutas. Vale destacar que tanto para pecuária de subsistência ou pecuária comercial, como para agricultura de subsistência ou agricultura comercial é usada água do rio Jaguaribe e dos poços. A água das lagoas e dos açudes são menos usadas por se apresentarem em menor volume, pois estão mais submetidas às condições e evaporação.

Na pecuária destacam-se a bovinocultura, ovinocultura, suinocultura, avicultura e caprinocultura. Os bovinos e os caprinos são os preferidos

**Figura 2** – Modelo Digital do Terreno ressaltando na porção leste em vermelho a Serra denominada de Plúton Pereiro.



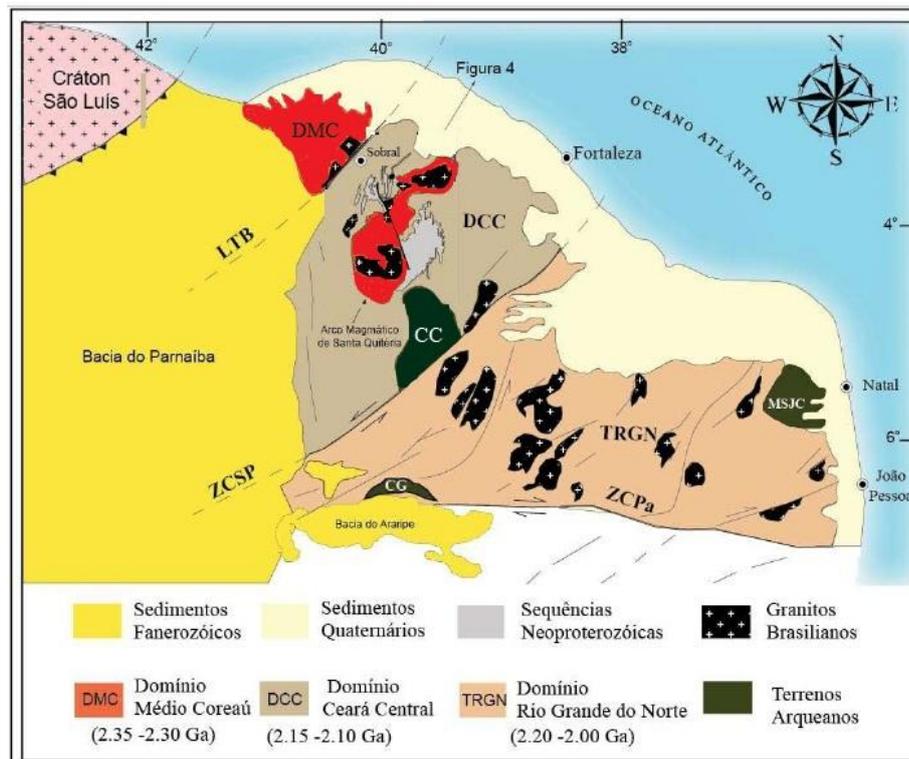
## 4 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área de estudo encontra-se no Terreno Jaguaribeano, parte integrante do Domínio Rio Grande do Norte, na porção setentrional da Província da Borborema (PB).

### 4.1 Província Borborema

Essa província é caracterizada como um complexo mosaico de terrenos separados por falhas ou altos do embasamento, resultado da convergência dos Crátons São Luís-Oeste Africano, São Francisco-Congo e Amazônico, que estiveram envolvidos na amalgamação e consequente formação do Supercontinente Gondwana a subdivide em sete (07) principais domínios geotectônicos limitados por zonas de cisalhamento de escala continental (ALMEIDA et al 1981; BRITO NEVES, SANTOS & VAN SCHMUS, 2000; AMARAL, 2010). A figura 3 traz mais detalhes sobre contexto regional.

**Figura 3** – Esboço geológico regional da porção setentrional da Província Borborema e dos arredores do lineamento Patos. LTB = lineamento Transbrasiliano; ZCSP = Zona de Cisalhamento Senador Pompeu; ZCPa = Zona de cisalhamento Patos; CC = Complexo Cruzeta; MSJC = Maciço São José do Campestre; CG = Complexo Granjeiro (modificado de Van Schmus et al, 1995).



Fonte: Amaral, 2010

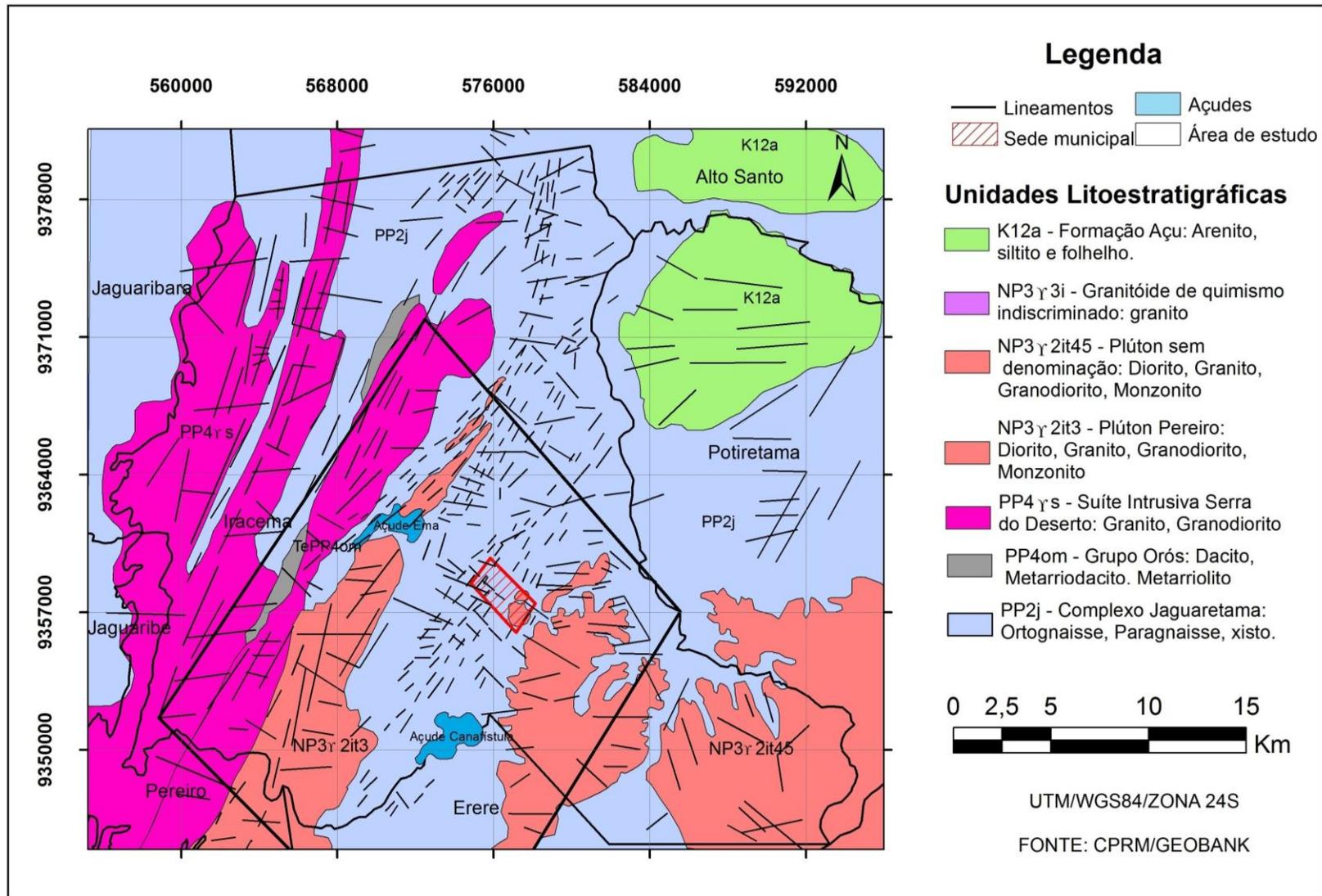
A porção setentrional está dividida em 03 grandes domínios: Domínio Médio Coreaú (DMC), limitado a leste pela Zona de Cisalhamento Sobral Pedro II, Domínio Ceará Central (DCC), limitado a Oeste Pela Zona de Cisalhamento Sobral Pedro II e a leste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, e Domínio Rio Grande do Norte (DRGN), limitado a Oeste pelo Lineamento Senador Pompeu e a Sul pelo lineamento de Patos (SANTOS & BRITO NEVES, 1984).

O Domínio Rio Grande do Norte, objeto deste estudo, limita-se a oeste com a Zona de Cisalhamento Senador Pompeu e, ao sul, pelo Lineamento Patos; a leste e norte com Província Costeira. Neste domínio são encontrados os maiores núcleos arqueanos da província compostos pelos Terrenos Granjeiro e São José do Campestre, além do Terreno Rio Piranhas, sequência de rochas supracrustais Lavras da Mangabeira e das faixas Orós-Jaguaribe e Seridó, sendo estes de idade proterozóica. (ALMEIDA et al 1981; BRITO NEVES, SANTOS & VAN SCHMUS, 2000; AMARAL, 2010). Nele encontram-se as rochas mais antigas da Província Borborema inseridas no núcleo arqueano Maciço São José do Campestre, considerado o mais antigo fragmento da Plataforma Sul-Americana com idades U-Pb de 3,4 e 3,5 Ga (DANTAS, 2004).

#### **4.2 Contexto Geológico do Município de Iracema**

A geologia local, tendo como referência o Mapa Geológico do Ceará, Escala 1: 500.000 (Cavalcante et al, 2003), é composta por três unidades geológicas: Complexo Jaguaretama localizada nas porções nordeste e sudeste; Suíte intrusiva Serra do Deserto situada nas porções noroeste e sudoeste e Granitoides Plutônicos (Plúton Pereiro e Plúton sem Denominação) que são encontrados na porção sudoeste e sudeste (Figura 4).

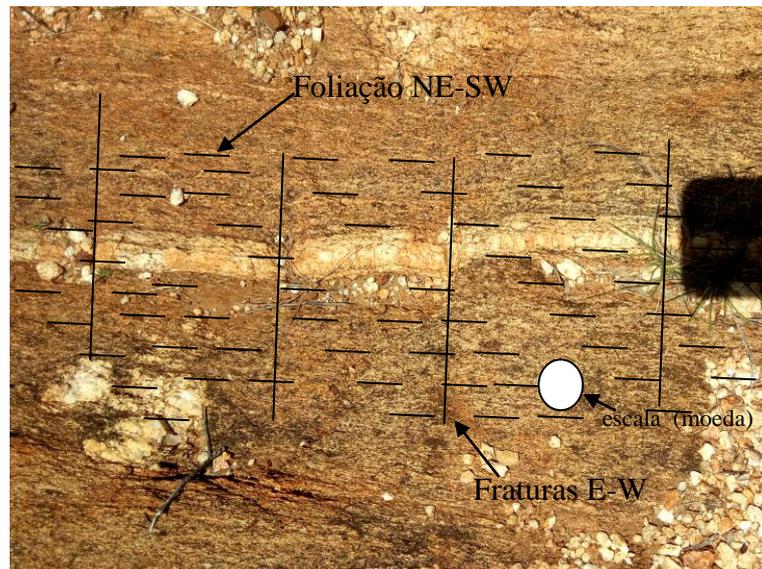
**Figura 4** – Mapa Geológico do município de Iracema – CE, mostrando a área de estudo.



#### 4.2.1 Complexo Jaguaretama (PP2j)

Na área, esse complexo é caracterizado por ortognaisses tonalíticos composto por mobilizados trondhjemíticos, ortognaisses graníticos, bandados e parcialmente migmatizados, e rochas metassedimentares comumente pelíticas, com biotita granada-sillimanita e migmatizados, além de raros quartzitos e rochas calcissilicáticas. (PARENTE E ARTHAUD 1995; CAVALCANTE 1999). Ressalta-se que a unidade paraderivada é uma parte importante do Bloco Jaguaretama representada provavelmente por uma cobertura da sequência tonalito-trondhjemito-granodiorito (TTG) e sua história tectono-termal registra uma tectônica policíclica (Figura 5).

**Figura 5** – Afloramento de gnaiss bandado de granulação média orientados segundo a direção NE-SW, compostos por bandas centimétricas de quartzo/feldspato alternando com bandas de minerais ferromagnesianos biotita e anfibólio e cortadas por fraturas orientadas segundo a direção E-W, localizados no bairro Campos – Iracema/CE.

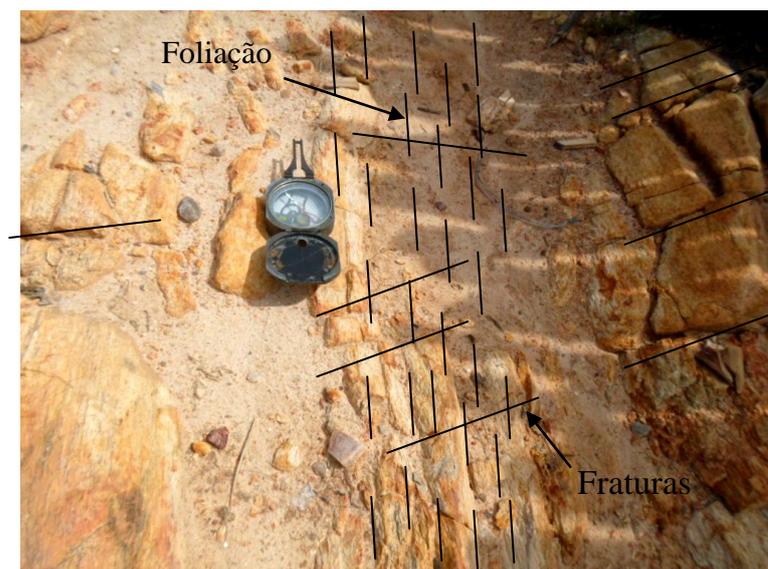


#### 4.2.2 Suíte Intrusiva Serra do Deserto (PP4 γ5)

Cavalcante (1999) nomeou essa suíte com a finalidade de formalizar os augen gnaisses estudados por Sá (1991) na porção leste da Faixa Orós. As rochas são constituídas basicamente por anfibólio-biotita augen gnaisses de composição granítica a granodiorítica, com porfiroclastos de feldspato atingindo cerca de 4 cm de comprimento. Nessa unidade também foram encontrados rochas com textura granoblástica média a grossa, incluindo

metassienitos (SÁ *et al.* 1995; CAVALCANTE (1999). Esse autores consideraram esta suíte como de tendência alcalina e de ambiente intraplaca (anorogênico), correlacionando-a com o vulcanismo félsico da Formação Campo Alegre do Grupo Orós (Figura 6).

**Figura 6** – Afloramento de augen gnaisse bandado de granulação fina, orientados segundo a direção NE-SW, de composição granodiorítica, com predomínio de bandas de quartzo e feldspatos bastante fraturados, coloração amarelada situada na localidade de Chapada/ Serra dos Bastiões – Iracema/CE.



#### 4.2.3 Plúton Pereiro (NP3 $\gamma$ 2it3) e Plúton sem Denominação (NP3 $\gamma$ 2it45)

Esse arco magmático é um Batólito Neoproterozóico de composição granodiorítica com mais de 3000 Km<sup>2</sup>, localizado na região serrana dos estados do rio Grande do Norte e Ceará. A área situa-se no Domínio rio Grande do Norte, parte da Província Borborema, formada pelas suítes São Miguel e Dr, Severiano. Estas têm dimensões e regimes reológicos variados e estão alinhados na direção N-S, NE-SW (MAGINI & HACKPACHER, 2003).

A Suíte São Miguel (SSM) é representada por corpos graníticos com área de dezenas até centenas de quilômetros quadrados, ocorrendo na forma de Plutons e Batólitos. Esses corpos foram denominados de Batólito São Miguel/Pereiro (Monzogranitos, Batólito Luis Gomes (Monzogranito-Granito), Pluton Marcelino Vieira (Granito), Pluton Panatis (Monzogranito), Pluton Padre Cosme (Alcaligranito) e Leucrogranito Castelo. (MAGINI & HACKPACHER, 2003), conforme ilustrado na Figura 07.

A Suíte Dr. Severiano (SDS) é representada por um pulso básico e totalizam 20% do magmatismo do arco magmático e as rochas desta suíte foram denominadas de Dioritos Dr. Severiano, Gabros Riacho de Santana e Pluton Poço Dantas. (MAGINI & HACKPACHER, 2003).

**Figura 07** – Afloramento de rocha granítica maciça situada no bairro Caixa D' Água – Iracema/CE.

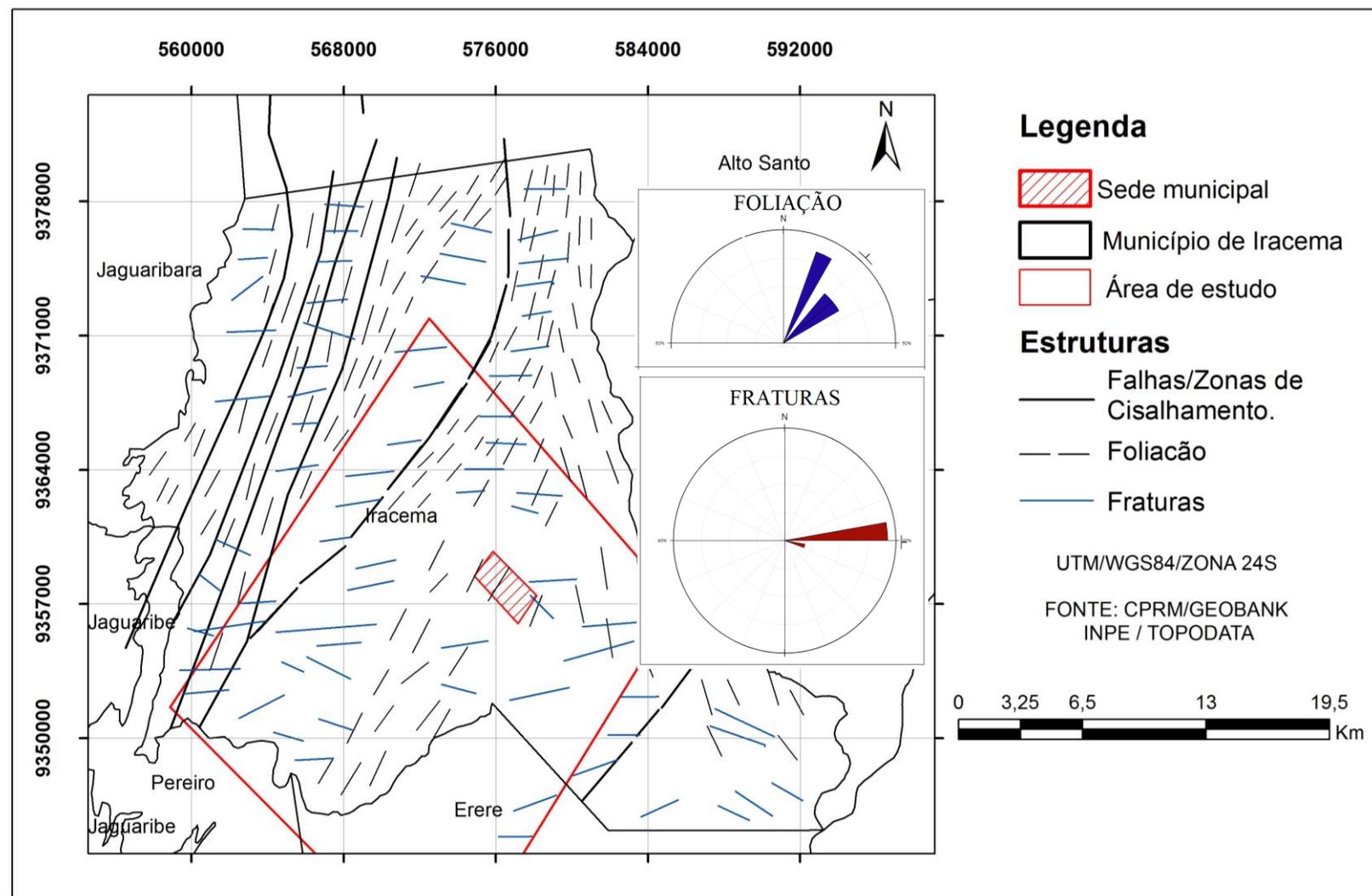


### 4.3 Aspectos estruturais

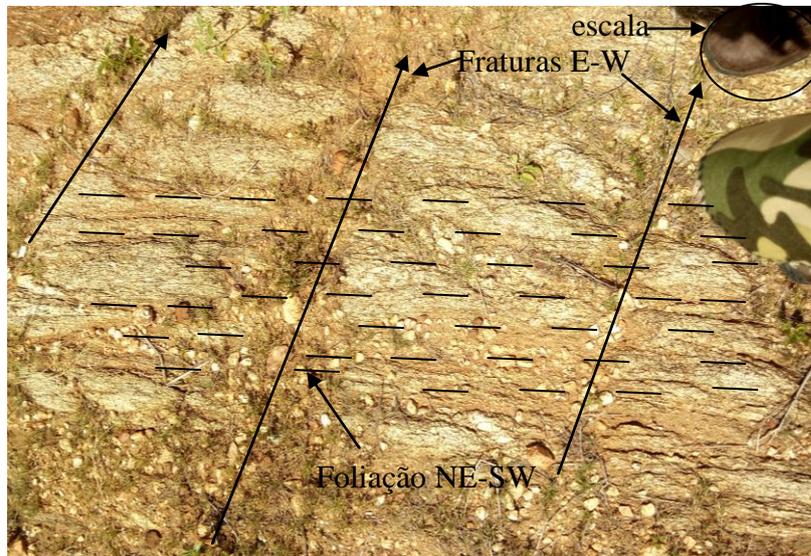
A geologia estrutural da área é dividida em três unidades lioestratigráficas distintas: Complexo Jaguaretama composta por ortognaisses bandados orientados e bastantes fraturados; Suíte intrusiva Serra do Deserto formada por augen gnaisses bandados de composição granítica a granodiorítica pouco fraturados, e os Granitoides Plutônicos (Plúton Pereiro e Plúton sem Denominação) constituídos por rocha granítica maciça (Figura 08).

O Complexo Jaguaretama apresenta uma foliação ondulada, com mergulhos médios inferiores a 45°, o que caracteriza uma tectônica tangencial (BEZERRA *et al.* 1992). Na área, esse Complexo é caracterizado por ortognaisses tonalíticos composto por mobilizados trondhjemíticos, ortognaisses graníticos, bandados e parcialmente migmatizados, com direções preferencial de NE-SW. As fraturas são perpendiculares à foliação do gnaisse, com direção SE-NW (Figuras 09, 10 e 11).

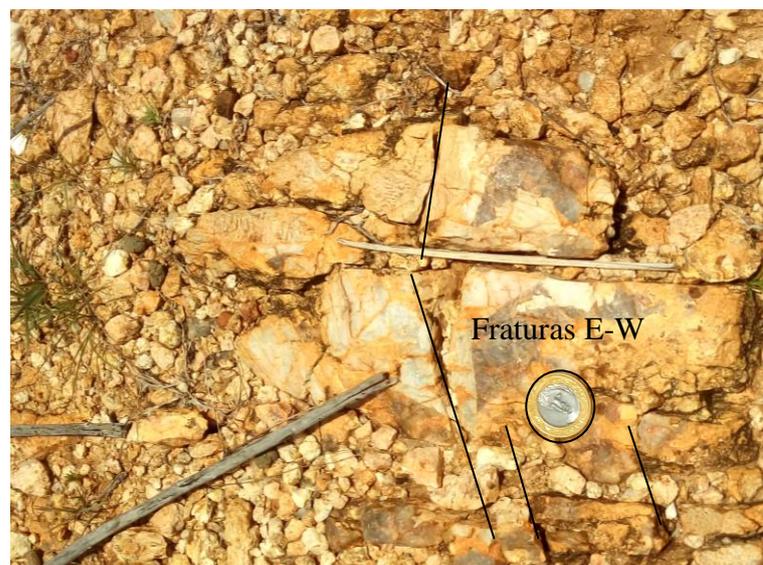
**Figura 08** - Mapa de lineamentos vetoriais do município de Iracema, com os diagramas de roseta exibindo a orientação principal destas feições.



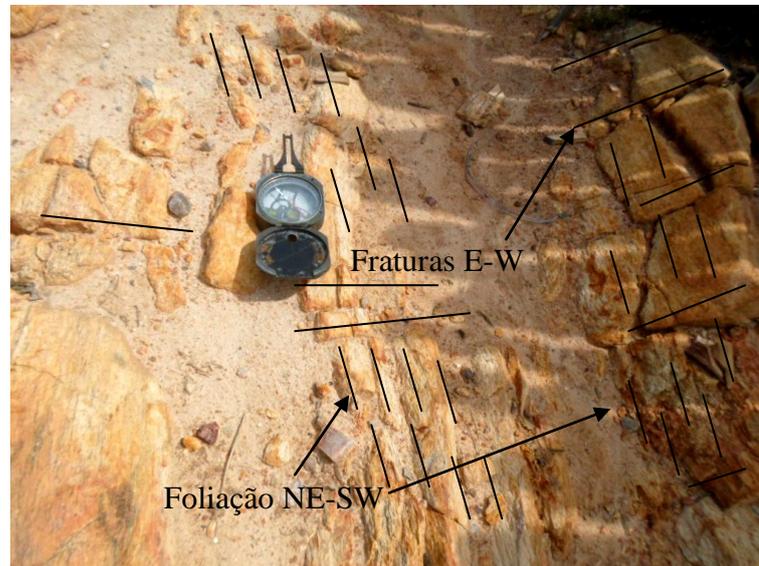
**Figura 09** – Afloramento de ortognaisse bandado de granulação grossa, com predominância de leitos xistosos, orientados segundo a direção  $N70^{\circ}/40^{\circ}SE$ , cortadas por fraturas escalonadas de direção E-W, com espaçamento de 40 cm entre elas situado na localidade Mororó – Iracema/CE, coordenadas UTM: 571327mE/9347292mN.



**Figura 10** – Afloramento de ortognaisse bandado de granulação grossa, orientados segundo a direção NE-SW, com predominância de camadas de quartzo e feldspato (Complexo Jagaretama), cortadas por fraturas subverticais com direção  $N112^{\circ}/90^{\circ}$ , situado na localidade Fazenda Bom Sucesso – Iracema/CE, coordenadas UTM: 574653mE/936096mN.



**Figura 11** – Afloramento de augen gnaisse bandado de granulação fina, orientados segundo a direção NE-SW, de composição granodiorítica, com predomínio de bandas de quartzo e feldspatos bastante fraturados e alterados, coloração amarelada (Suíte Intrusiva Serra do Deserto) situada na localidade de Chapada – Iracema/CE, coordenadas UTM: 561867mE/9350925mN.



## **5 MÉTODO GEOFÍSICO**

Neste capítulo descrevem-se as fundamentações teóricas do método da eletrorresistividade.

### **5.1 Introdução**

O objetivo da prospecção geofísica é detectar e localizar corpos e estruturas geológicas do subsolo e, se possível, determinar suas dimensões através de suas propriedades físicas. A prospecção geofísica consiste na execução de varias medidas sobre a superfície do terreno, no ar e ao longo de um som para determinação de variações no espaço ou no tempo de um ou vários campos de força. As propriedades das rochas mais usadas em prospecção geofísicas são: densidade, susceptibilidade magnética, elasticidades e condutividade elétrica (GRIFFITHS & KING, 1972).

Os métodos geofísicos mais aplicados para a prospecção de água subterrânea são: o eletrorresistivo e o eletromagnético. Nesta pesquisa foi utilizado o método da eletrorresistividade aplicando a técnicas do caminhamento elétrico – arranjo gradiente investigando as propriedades físicas de resistividade e condutividade elétrica.

### **5.2 Eletrorresistividade**

De acordo com Butler (2005), o método da eletrorresistividade tem origem na década de 1920 com os trabalhos dos irmãos Schlumberger e de Frank Wenner. Segundo Orellana (1972), a eletrorresistividade, bem como outros métodos elétricos (polarização induzida e potencial espontâneo), iniciou no século XVIII com a descoberta da resistividade elétrica dos materiais geológicos por Gray e Wheller. Porém, o seu auge de desenvolvimento ocorreu na década de 70, impulsionada pelo avanço da informática que permitiu o aperfeiçoamento de softwares para processar e analisar os dados em grande escala (REYNOLDS, 1997).

Esse método é embasado nos diferentes tipos de materiais condutivos que ocorrem no subsolo, que são responsáveis pela alteração no fluxo de corrente da subsuperfície da terra, também chamadas de variações de potencial elétrico. Essas variações dependem do tamanho, forma, localização e resistividade dos corpos em subsuperfície, são identificadas por medições de potencial elétricos executadas na superfície do terreno.

A corrente elétrica é injetada no terreno através de dois eletrodos de injeção (A e B), produzindo uma diferença de potencial que é medida por um segundo par de eletrodos de recepção (M e N), localizados entre os eletrodos (A e B). A partir das medições de intensidade de corrente injetada no terreno (I) e dos valores de diferença de potencial ( $\Delta v$ ), associados à separação dos eletrodos é calculada a resistividade aparente do subsolo ( $\rho_a$ ). (BRAGA, 2001; GRIFFITHS E KING, 1972).

Na maioria das litologias, de acordo com Griffiths e King (1972), a condução será eletrolítica, sendo o meio condutor uma solução de água e sais minerais presentes nos interstícios das rochas, tornando-a condutora. Devido as rochas cristalinas possuírem baixa porosidade, a condução elétrica é realizada ao longo de fissuras, e sua resistividade será inversamente proporcional a abundancia de fissuras presentes na rocha.

A resistividade dos materiais geológicos, segundo Telford *et al* (1990), possui ampla variação, podendo atingir valores da ordem ordem de  $10^{-5}$  ohm.m para minerais metálicos até valores da ordem de  $10^7$  ohm.m ( $\Omega m$ ) para sedimentos extremamente secos ou rochas maciças, como destaca a Tabela 01.

**Tabela 01 - Resistividade dos materiais geológicos.**

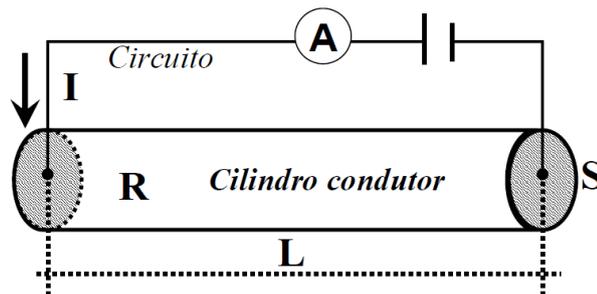
<i>Minerais ou Rochas</i>	<i>Resisitividade (ohm.m)</i>
Bauxita	200 – 6000
Água superficial	10 – 100
Água do mar	0,2
Grafita	$10^{-4} - 5 \times 10^{-3}$
Granito porfírico (saturado)	$4,5 \times 10^{-3}$
Diabásio	$20 - 5 \times 10^7$
Basalto	$10 - 1,3 \times 10^7$
Xisto	$20 - 10^4$
Gnaiss (Seco)	$3 \times 10^6$
Quartzito	$10 - 2 \times 10^8$
Argilas consolidadas	$20 - 2 \times 10^3$
Argilas inconsolidadas úmidas	20
Conglomerados	$2 \times 10^3 - 10^4$
Arenitos	$1 - 6,4 \times 10^8$
Calcários	$50 - 10^7$

Fonte: Telford *et al.* (1990)

### 5.3 Fluxo de corrente

O método da eletrorresistividade baseia-se na Lei de Ohm, expressa pela relação, entre a resistividade ( $\rho$ ) e a resistência ( $R$ ) de um cilindro condutor e homogêneo, ilustrado na Figura 12, é dada pela Equação 01, (retirado de BRAGA, 2006)

**Figura 12** – Fundamentos da lei de Ohm.



Fonte: Braga (2006)

$$R = \rho \frac{L}{S} \text{ (ohms)} \quad (1)$$

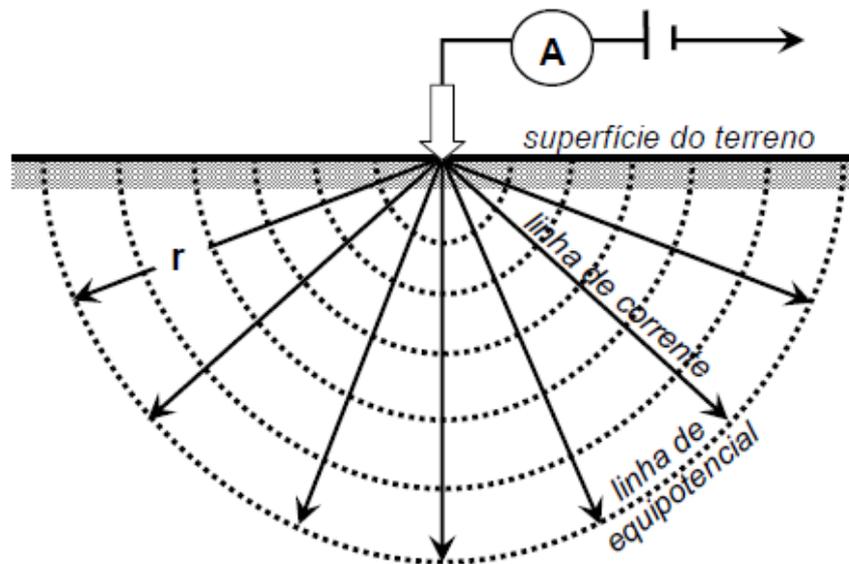
De acordo Bortolim (2009) e Braga (2006), a resistividade  $R$  é dada pelas unidades volts por amperes (V/A) ou Ohm ( $\Omega$ ), onde  $L$  é o comprimento e  $S$  a seção transversal do condutor. O parâmetro de resistividade  $\rho$  é um coeficiente que depende da natureza e do estado físico do material considerado. A resistividade se define pela Equação 02:

$$\rho = R \frac{L}{S} \text{ (ohms)} \quad (2)$$

Segundo Bortolim (2009) e Braga (2006), a resistividade pode ser definida como uma medida da oposição de um material ao fluxo de corrente elétrica. A unidade SI da resistividade é o ohm metro ( $\Omega\text{m}$ ).

A Terra é um corpo tri-dimensional, heterogêneo e anisotrópico, portanto a corrente elétrica flui por vários caminhos, de forma radial ao longo de linhas diretas, conforme mostrado na Figura 13. (ORELLANA, 1972; BRAGA, 2006).

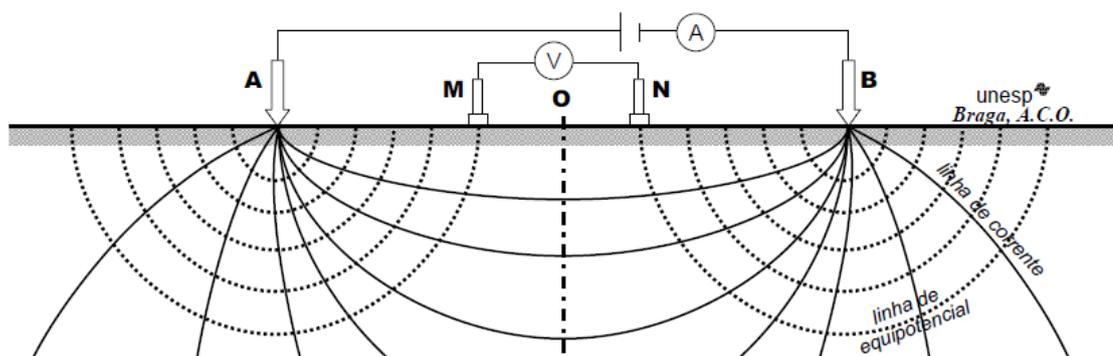
**Figura 13** – Fluxo de corrente e as equipotenciais. .



Fonte: Braga (2006)

A corrente elétrica é injetada no subsolo através de dois eletrodos (A e B) conectados a uma bateria por cabos, e é medida a diferença de potencial (voltagem) entre outros dois eletrodos (M e N). A Figura 14 mostra a aplicação do método na superfície do terreno. (BRAGA, 2006).

**Figura 14** – Configuração dos eletrodos na superfície do terreno para aplicação do método da eletrorresistividade.



Fonte: Braga (2006)

É possível calcular a resistividade elétrica para um meio homogêneo e isotrópico conhecendo-se o valor da corrente e da diferença de potencial, por meio da Equação O3:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

Conforme Lago (2009), na prática, o subsolo é em geral heterogêneo, a resistividade que é medida nos estudos geofísicos é a resistividade elétrica aparente ( $\rho_a$ ), que varia de acordo com a posição e direção dos eletrodos utilizados em campo, mostrada na Equação O4.

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (4)$$

Em que:

$\rho$  → Resistividade elétrica. [  $\Omega.m$  ]

$\Delta V$  → Diferença de potencial elétrico medida entre M e N. [ Volt ]

$I$  → Corrente aplicada entre A e B. [ Amper ]

$K$  → Fator geométrico para o arranjo dos eletrodos AMNB, que é dado por

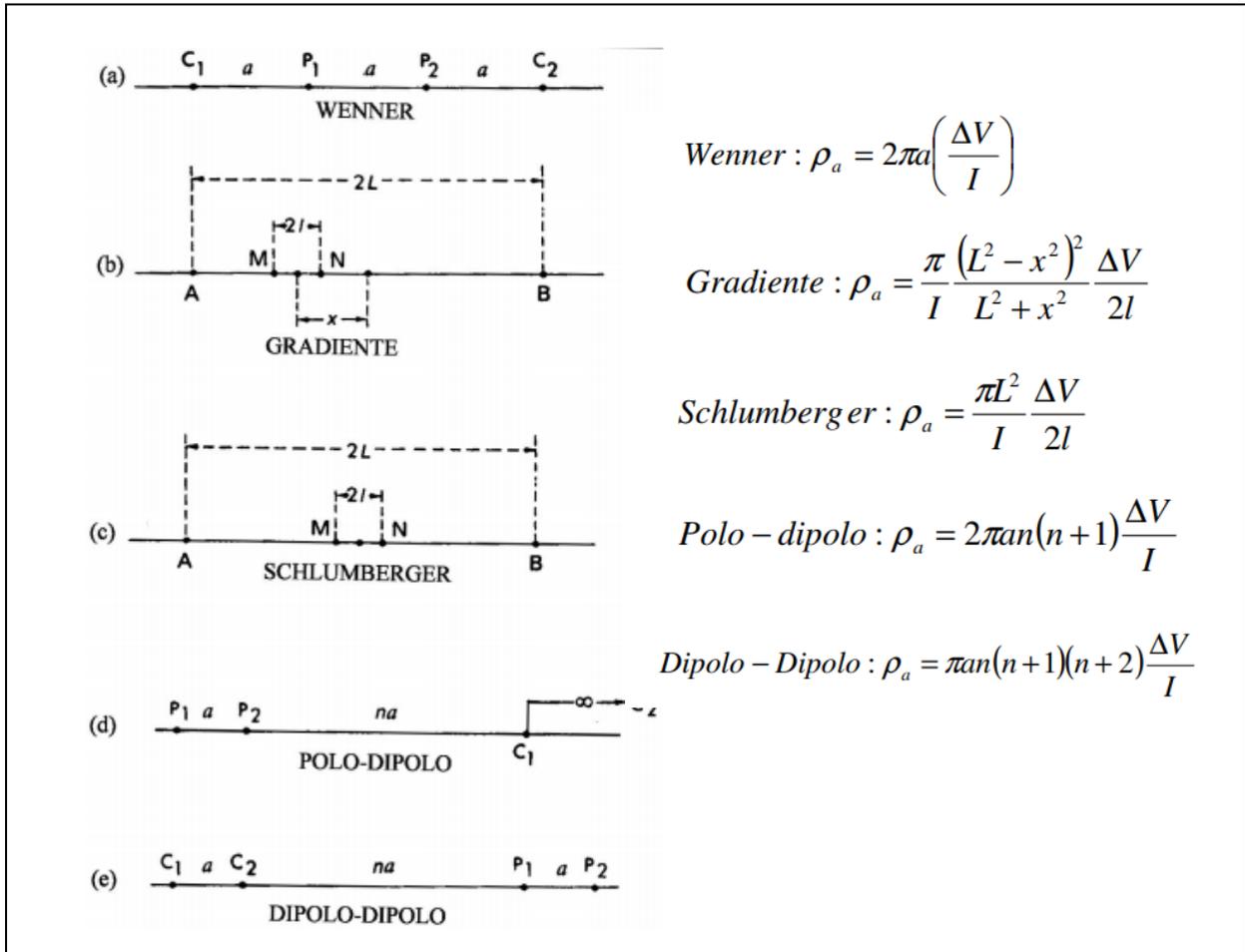
$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \quad (5)$$

sendo AM, AN, BM e BN distâncias entre os eletrodos.

#### 5.4 Dispositivos geoeletricos

Nos levantamentos geofísicos pelo método geoeletrico podem ser usados vários tipos de arranjos, a diferença esta na disposição dos eletrodos (A,M,N,B) na superfície do terreno. As configurações mais comuns dos arranjos utilizados são Wenner, Gradiente, Schlumberger e Dipolo-Dipolo (SHARMA, 1997), ilustrados na Figura 15.

**Figura 15** - Dispositivos geoeletricos mais usados nos estudos de resistividade e equações correspondentes em cada dispositivos.



Fonte: Sharma (1997).

### 5.4.1 Arranjo Gradiente

Este arranjo, segundo Orellana (1972) e Braga (2001), é indicado para de determinar falhas e/ou fraturas de grandes dimensões. O levantamento é rápido, mantendo-se fixos os eletrodos de corrente (A e B) com abertura igual L, somente os eletrodos de recepção (M e N) são deslocados ao longo de uma linha paralela aos alinhamentos formados pelos eletrodos (A e B), conforme mostrado na Figura 16.

Relação Usual: AB / MN ~ 30 a 40

Profundidade Teórica de Investigação: L/10 a L/2 (AB/4)

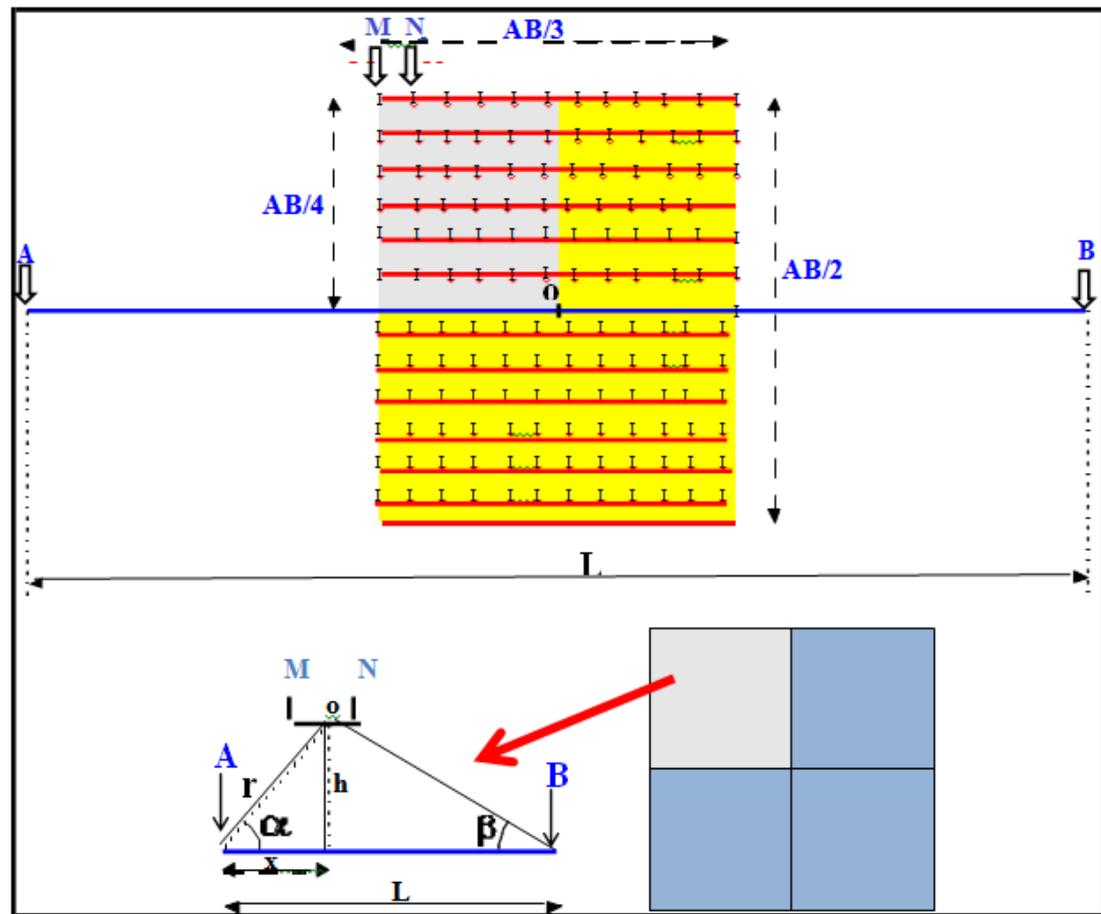
Medidas do Parâmetro Físico:

Resistividade: a resistividade é calculada a partir das Equações 6 e 7:

$$\rho a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (6)$$

$$K = \frac{2\pi}{MN} \left( \frac{\cos \alpha}{OA^2} + \frac{\cos \beta}{OB^2} \right)^{-1} \quad (7)$$

Figura 16 – Arranjo Gradiente – CE



Fonte: Adaptado de Braga (2001)

## 6 PROSPECÇÃO GEOFÍSICA

### 6.1 Introdução

O caminhamento elétrico é considerado o método mais indicado para prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos, determinando falhas e fraturas presentes nas litologias. Está baseado na realização de medidas de resistividade aparente ao longo de uma linha, com o objetivo de investigar variações em um ou mais níveis em profundidade (SHERRIF, 1989). Dentre os diversos tipos de arranjos de campo disponíveis para o método do caminhamento elétrico, o presente trabalho utiliza o Arranjo Gradiente em um nível de investigação - 1D (uma dimensão). Este levantamento é rápido e prático, mantendo-se fixos os eletrodos de corrente (A e B) e somente os eletrodos de recepção (M e N) são deslocados ao longo de uma linha paralela aos alinhamentos formados pelos eletrodos A e B, reduzindo o tempo e o custo da locação dos poços, tornando o método viável financeiramente para o Ceará, devido ao baixo valor pago por cada locação.

Nessa pesquisa foram executados 28 perfis de resistividade com direção NE-SW (paralelo à direção preferencial da foliação das rochas gnáissicas do Complexo Jaguaretama), com abertura dos eletrodos de corrente (A/B) = 240 metros e abertura dos eletrodos de recepção (M/N) = 8m, com profundidade de investigação teórica de 60 metros (Figura 17). Foram locados 19 poços na sede do município de Iracema e 11 distribuídos unitariamente nas localidades de Chapada, Jurema, Mororó, Foz de Cima, Foz/Germano, Tabuleiro Alto, Serra Vermelha, Água Nova/Ema, Bom Sucesso/Ema, Sítio Bom Sucesso e Fazenda Bom Sucesso. (Figura 18).

Para execução dos perfis elétricos de resistividade foram utilizados dois resistivímetros: o primeiro da CTRL TECH CDC 12/1000 Vcc composto por um conversor com entrada de 12 Volts, saída de 0 a 1000 mV (milivolt) e 0 a 5 Amperes e um milivoltímetro com alimentação de pilhas AA recarregáveis. E o segundo da X5XTAL da AUTOENERGIA composto por um conversor com entrada de 12 Volts, saída de 0 a 600 mV (milivolt) e um milivoltímetro com alimentação de pilhas AA recarregáveis. Os dados de resistividade aparente obtidos foram tratados com o software Excel 2010 e plotados ao longo de perfis em uma dimensão, considerando-se as estações de leitura e seus espaçamentos (Figura 19).

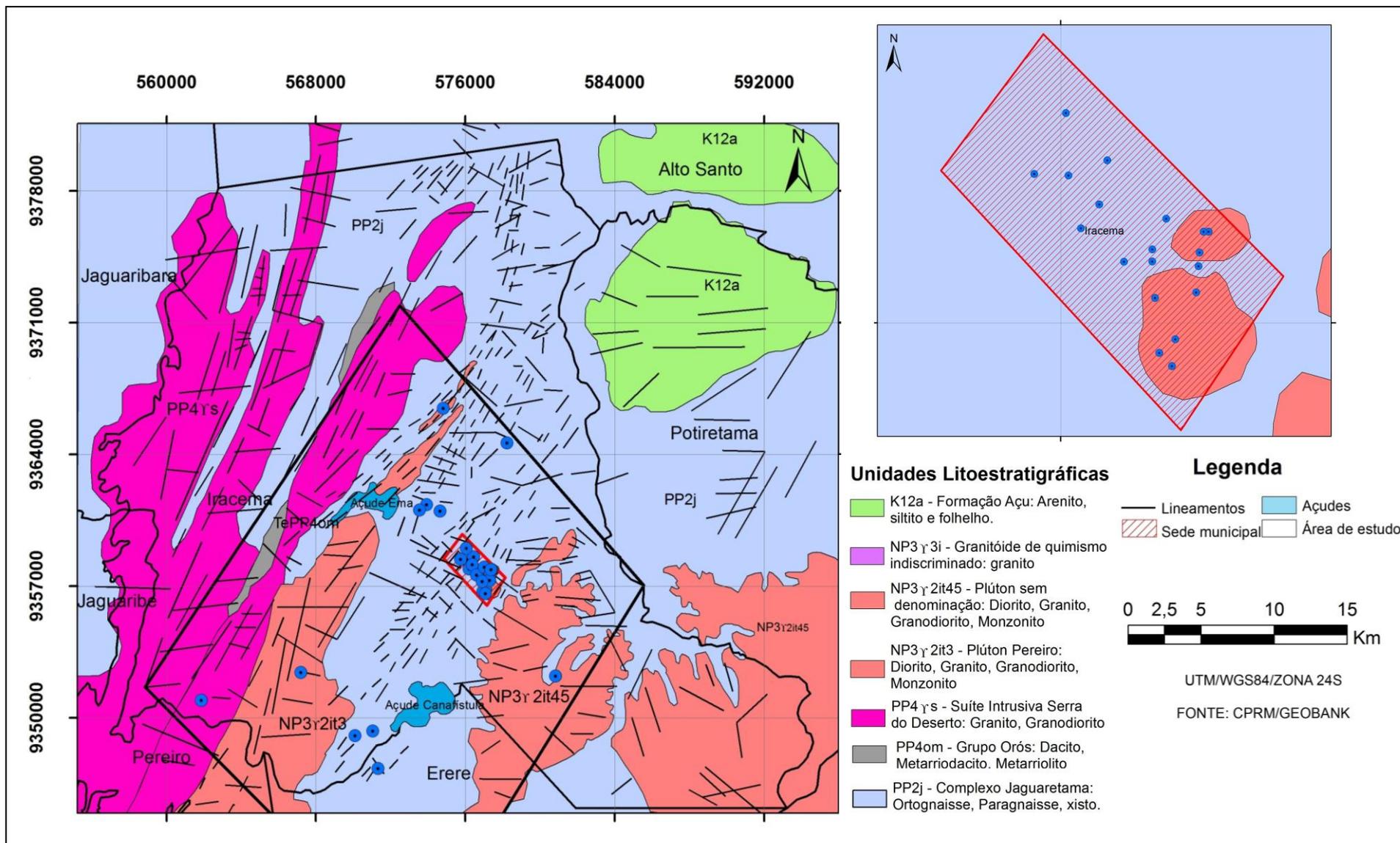
**Figura 17** – Aquisição dos dados de resistividade, arranjo gradiente na sede do município de Iracema.



**Figura 18** – Fotografias mostrando os dois resistivímetros utilizados para coleta das medidas de resistividade aparente em campo com auxílio de um notebook, bobinas e eletrodos para injeção de corrente elétrica e recepção da medida de diferença de potencial.



**Figura 19** - Mapa geológico do município de Iracema mostrando a área de estudo e as locações dos poços tubulares.



## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e analisados, de modo integrado, todos os dados e informações adquiridas nesta pesquisa.

### 7.1 Poços tubulares

A partir do levantamento geofísico foram locados 30 alvos que resultaram na construção de 30 poços tubulares pela Superintendência de Obras Hídricas (SOHIDRA), onde 19 localiza-se na sede do município de Iracema e 11 unitariamente distribuídos nas localidades de Chapada, Jurema, Mororó, Foz de Cima, Foz/Germano, Tabuleiro Alto, Serra Vermelha, Água Nova/Ema, Bom Sucesso/Ema, Sítio Bom Sucesso e Fazenda Bom Sucesso (Tabela 2). Os poços foram construídos em dois tipos litológicos que predominam na área, os gnaisses do Complexo Jaguaretama (20 poços) e os granitos do Plúton Pereiro e/ou Plúton sem Denominação (10 poços). As informações dos poços tubulares foram retiradas das FICHAS DE CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS POÇOS - SOHIDRA (Figura 20).

Nesse trabalho foi utilizada a classificação da SOHIDRA, que considera poços tubulares com vazão inferior a  $0,40\text{m}^3/\text{h}$  como improdutivo e os que têm vazão igual ou superior a  $0,40\text{m}^3/\text{h}$  como produtivos. Os resultados das construções dos poços mostraram que 24 (80%) foram produtivos com vazões entre  $0,40\text{ m}^3/\text{h}$  a  $16\text{m}^3/\text{h}$  e 6 (20%) foram improdutivo com vazões inferiores a  $0,40\text{ m}^3/\text{h}$ . Os 20 poços construídos nas rochas gnáissicas foram produtivos e dos 10 poços construídos nos granitos, 6 deles foram improdutivo. Analisando esses resultados podemos afirmar que os gnaisses do Complexo Jaguaretama tem um bom potencial hídrico com 100% acerto na locação dos poços e os granitos dos Plúton Pereiro e Plúton Sem Denominação tem baixo potencial hídrico, obtendo apenas 40% de acerto nas locações.



**Tabela 2** – Dados dos 30 poços tubulares construídos na área de estudo.

Item	Local	Longitude	Latitude	Profundidade (m)	Revestimento (m)	Nível estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m³)	Fraturas (m)	Litologia
1	Tabuleiro Alto P3	580846	9353987	81,00	5,00	4,40	61,30	16,00	16; 22; 32	Gnaisse
2	Água Nova / Ema	578241	9364610	85,00	8,00	7,70	19,82	10,30	17; 22; 29	Gnaisse
3	Foz - Germano / Bastiões	571047	9349290	83,70	12,00	5,00	17,19	10,30	12; 24; 48	Gnaisse
4	Foz de Cima	570106	9349041	90,00	16,00	4,62	39,37	2,12	18; 26; 39	Gnaisse
5	Mororó - Poço 2	571327	9347292	70,00	8,00	4,60	35,35	2,40		Gnaisse
6	Bairro Campos / Rua Joaquim Farias de Sousa	576076	9358403	77,00	8,00	4,00	34,30	12,00	16; 25	Gnaisse
7	Bairro Campos / R. José Osvaldo Diógenes	576448	9358547	76,00	12,00	5,30	44,10	8,50	-	Gnaisse
8	Bairro Beira Rio / Francisco Roque de Oliveira	576196	9357900	60,00	18,00	6,10	36,30	7,20	-	Gnaisse
9	Avenida Gervásio de Holanda - Poço 1	576882	9357583	80,00	8,00	10,00	64,00	1,00	24	Gnaisse
10	Avenida Gervásio de Holanda - Poço 2	576881	9357700	100,00	6,00	12,00	59,00	5,50	76; 84	Gnaisse
11	Rua Francisco Lucinha de Sousa nº119	577325	9357540	60,00	14,00	10,00	39,00	4,80	10; 24	Gnaisse
12	Rua Maria Rosa Flor nº87	576050	9358998	80,00	21,00	10,00	48,00	5,70	16; 36; 50	Gnaisse
13	Fazenda Bom Sucesso	574653	9360966	85,00	7,00	6,30	57,80	4,70		Gnaisse
14	Bairro Pedra Bola / R. Fanca Diógenes.	576371	9358127	60,00	18,00	8,50	46,00	3,00	20; 25	Gnaisse
15	Bairro Caixa d'água próximo a Creche	577103	9356843	80,00	4,00	30,00	58,00	1,80	16; 35	Gnaisse
16	Bairro Campos / em frente ao Clube Campo	575746	9358418	60,00	10,60	6,00	53,80	2,00	-	Gnaisse
17	Centro próximo a Praça do Carrapicho	576609	9357581	69,00	12,00	15,30	53,00	2,00	17; 24; 32	Gnaisse
18	Rua Francisco das Chagas Queiroz Campelo	577016	9357992	80,00	12,00	10,00	62,00	1,50	-	Gnaisse
19	Bom Sucesso / Ema	573937	9361326	85,00	12,70	7,34	38,75	1,40	16; 19; 31	Gnaisse
20	Sítio Bom Sucesso	573551	9361035	72,00	20,00	7,20	39,40	1,00	-	Gnaisse
21	Sede - Bairro Caixa d'água / Rua Maria Florentina	576949	9356714	85,00	11,40	-	-	<b>Seco</b>	-	Granito
22	Bairro CAGECE	577070	9356587	97,00	8,00	-	-	<b>Seco</b>	22	Granito
23	Jurema (Bastiões)	567194	9352410	70,00	8,00	-	-	<b>Seco</b>	13	Granito
24	B. Holandino / Rua Ulisses de H. Campelo.	577335	9357669	94,00	8,00	-	-	<b>Seco</b>	-	Granito
25	Chapada/ Bastiões	561867	9350925	80,00	4,00	8,04	17,44	0,12	13; 19; 29; 37	Granito
26	Sede - Rua São José/ ao lado do Cemitério	577304	9357289	80,00	8,00	6,00	53,80	0,20	-	Granito
27	Serra Vermelha	574812	9366448	70,00	12,00	6,26	41,98	0,85	21; 28; 58	Granito
28	Avenida Maria Nilde de Queiroz	576908	9357237	80	11,00	6	64,6	1,14	25	Granito
29	Sede -B. Holandino/ Rua Cap. Manoel Rufino de N. Poço1	577423	9357868	80	8,00	10	63	1,0	24	Granito
30	Sede - Bairro Holandino - Rua Cap. Manoel Rufino. Poço 2	577374	9357868	80	14,00	11,6	69,4	0,4	16; 32	Granito

### 7.1.1 Características Hidrodinâmicas

Com base nas informações dos poços tubulares construídos no município de Iracema durante essa pesquisa, foi possível analisar as características hidrodinâmicas do meio aquífero através de histogramas de profundidade, vazão, revestimento, fraturas, nível estático (NE), nível dinâmico (ND) (Tabela 3).

**Tabela 3** – Variáveis estatísticas dos poços tubulares construídos na área a partir desse estudo.

<i>Parâmetros estatísticos</i>	<i>Profundidade (m)</i>	<i>Revestimento (m)</i>	<i>Fratura (m)</i>	<i>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</i>	<i>N.E (m)</i>	<i>N.D (m)</i>
<b>Média</b>	78,32	10,82	27,64	3,56	7,41	40,56
<b>Desvio Padrão</b>	10,21	4,42	15,09	4,10	5,55	20,88
<b>Mínimo</b>	60,00	4,00	10,00	0,10	4,00	17,20
<b>Máximo</b>	100,00	21,00	87,00	16,00	30,00	69,40
<b>Nº de dados (uni)</b>			30			

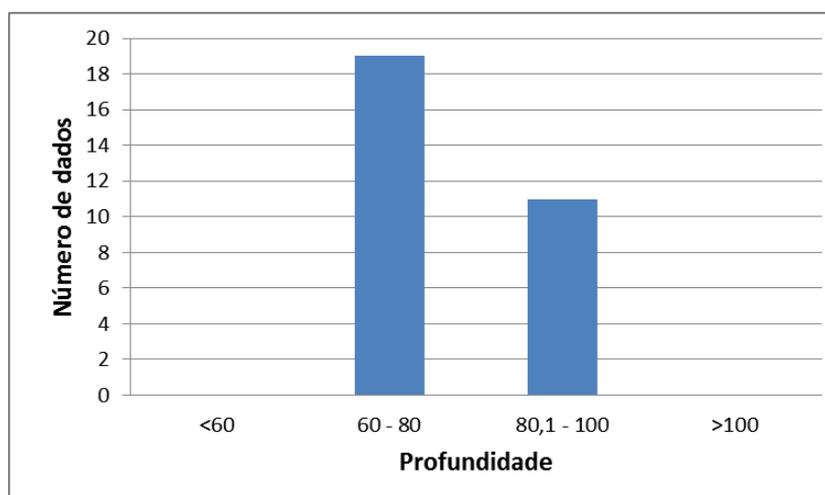
### 7.1.2 Histogramas de frequência

Compreender o comportamento dos poços e suas características hidrodinâmica a partir da análise histogramas de frequências, o que nos permitiu obter as seguintes informações:

#### 7.1.2.1 Profundidades dos poços

A média da profundidade dos poços é de 78,32m, todos os poços possuem profundidade igual ou superior a 60m e são classificados poços tubulares profundos (Figura 21).

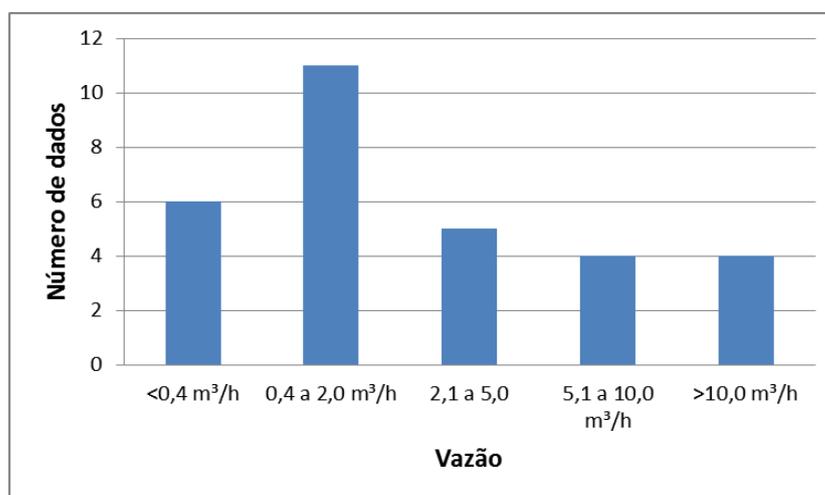
**Figura 21** – Histograma de frequência profundidade dos poços.



### 7.1.2.2 Vazão

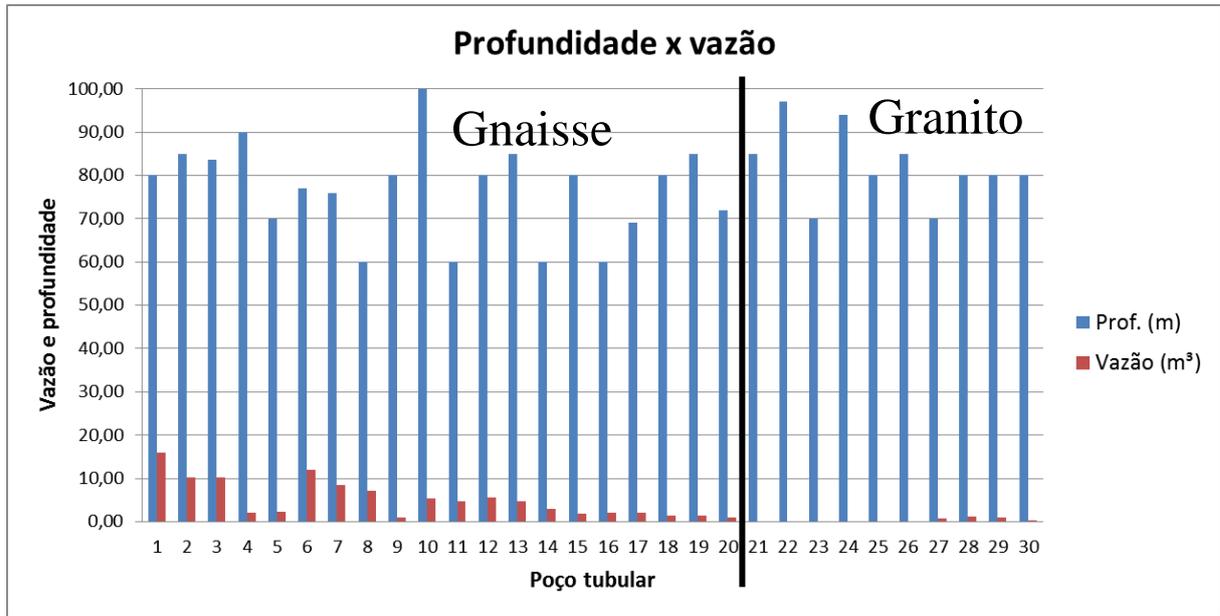
A média das vazões dos poços tubulares é de 3,6m<sup>3</sup>/hora, sendo maior que a média do Ceará para poços construídos em terrenos cristalinos que é 2,0 m<sup>3</sup>/h. O histograma mostra que dos 30 poços construídos, 6 (20%) deles são improdutivos com vazão inferior a 0,4 m<sup>3</sup>/h, 37% possui vazão entre 0,4 a 2,0 m<sup>3</sup>/h, 13 (43%) possui vazão superior a 2,0 m<sup>3</sup>/h, considerados de boa produtividade para esse ambiente e 4 (13%) deles tem vazão superior a 10 m<sup>3</sup>/h (Figura 22).

**Figura 22** – Histograma de frequência vazão.



A partir da combinação de dados de profundidade x vazão podemos observa que a vazão não depende da profundidade de perfuração dos poços. Levando em consideração que os poços numerados de 1 a 20 foram construídos nos gnaisses do Complexo Jagaretama e os poços de 21 a 30 foram construídos nos granitos dos Plúton Pereiro e Plúton Sem Denominação, pode-se observar que a vazão possui uma relação direta com a litologia, onde se pode observar que os poços construídos nos gnaisses tem maior produtividade comprada com os poços construídos nos granitos (Figura 23).

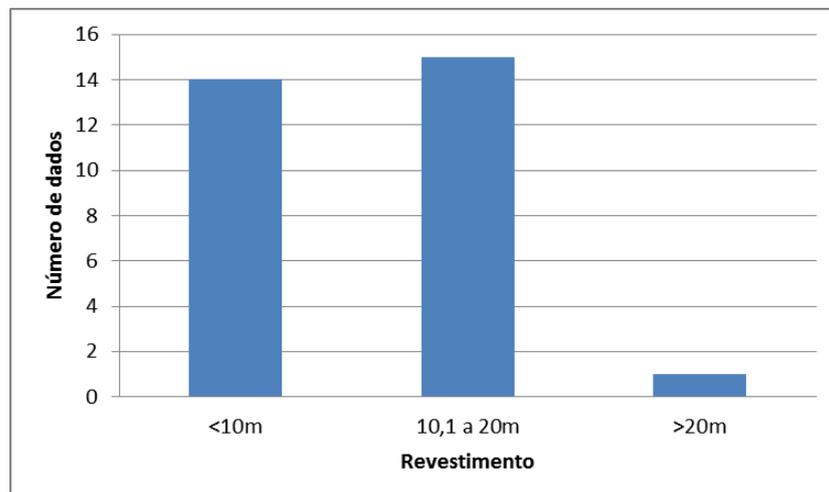
**Figura 23** – Histograma de profundidade do poço x vazão x litologia.



**7.1.2.3 Revestimento dos poços**

A média da profundidade de revestimento dos poços é de 10,82 m, sendo que 14 (47%) tem revestimento inferior a 10m, 15 (50%) tem revestimento entre 10,1 a 20m e apenas um 1 (3%) tem revestimento superior a 20m. A partir desses dados pode-se afirmar que aproximadamente a metade deles possuiu uma pequena espessura de regolito (rocha alterada) e a outra metade possui uma espessura moderada. Considerando que apenas um poço foi utilizado filtro, conclui-se que a contribuição de água nessa camada alterada é quase nula, e que a ocorrência de água subterrânea está especificamente associada às fraturas em rocha sã (Figura 24).

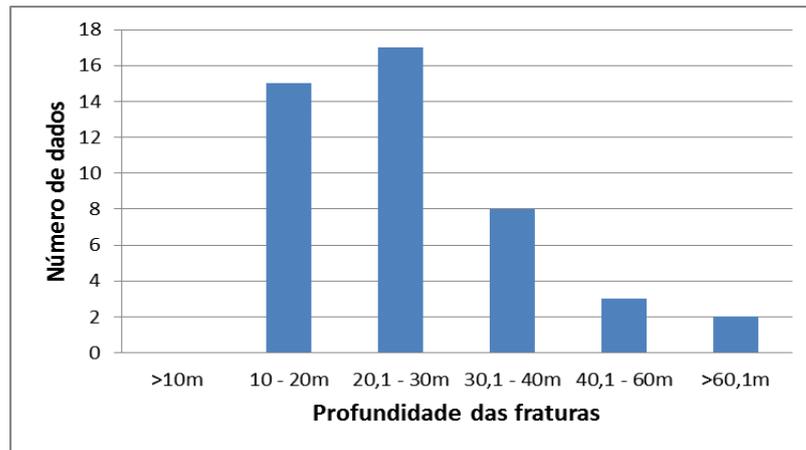
**Figura 24** – Histograma de frequência revestimento.



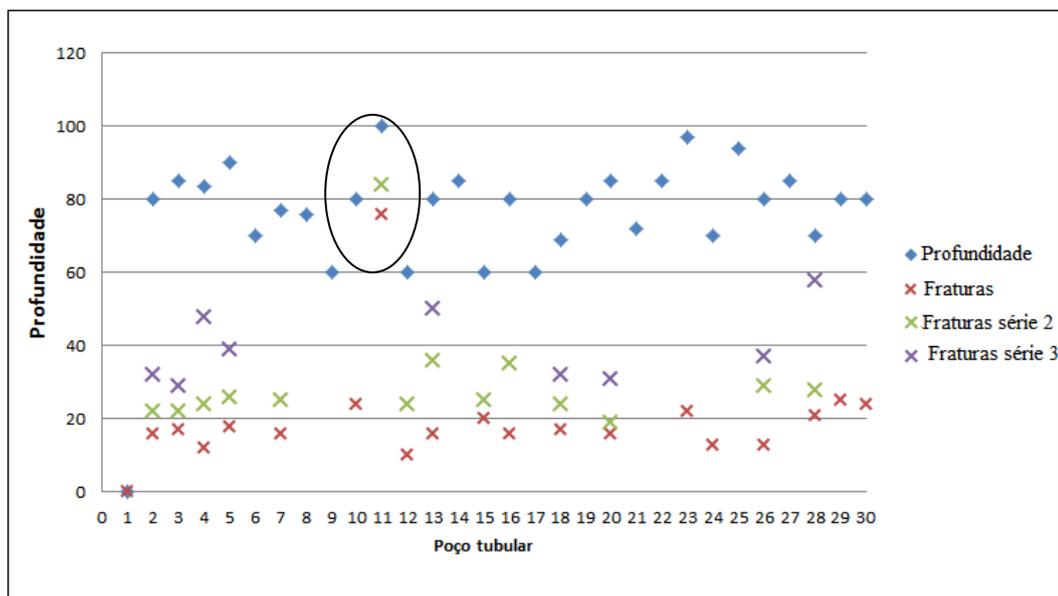
7.1.2.4 Fraturas

Considerando que nas fichas de características gerais dos poços da SOHIDRA não faz especificação entre fraturas secas e com águas, utilizaremos o termo fraturas para designar esses dois tipos. A média da profundidade das fraturas é de 27,64m. Analisando o histograma pode-se afirmar que 89% delas ocorrem entre os 10 a 40m de profundidade, 7% delas ocorrem entre 40,1 a 60m e apenas 4% ocorrem após os 60m (Figura 25). Analisando a figura 26 podemos observar que apenas duas fraturas ocorrem após os 60 m, o que se pode sugerir uma profundidade de perfuração ideal de 60m para o município de Iracema, já que após essa profundidade as chances de se atravessar uma fratura produtora são mínimas, reduzindo assim o custo das construções de poços na região.

**Figura 25** – Histograma de frequência de fraturas.



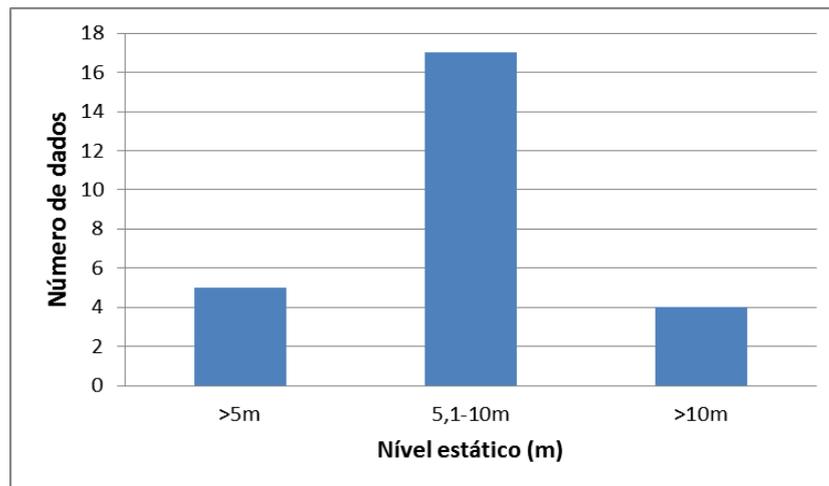
**Figura 26** – Gráfico de dispersão de profundidade do poço x profundidades das fraturas.



#### 7.1.2.5 Nível Estático (N.E)

A média do Nível Estático dos poços é de 7,41m, sendo que 5 (19%) deles é inferior a 5m de profundidade, 17 (66%) está entre os 5,1 a 10m e 4 (15%) está acima dos 10m de profundidade. Analisando os dados podemos observar que o nível estático dos poços são rasos, se considerarmos que a maioria dos poços tem profundidades superior a 60 metros, pode-se mencionar a presença de colunas d'água satisfatórias a exploração (Figura 27).

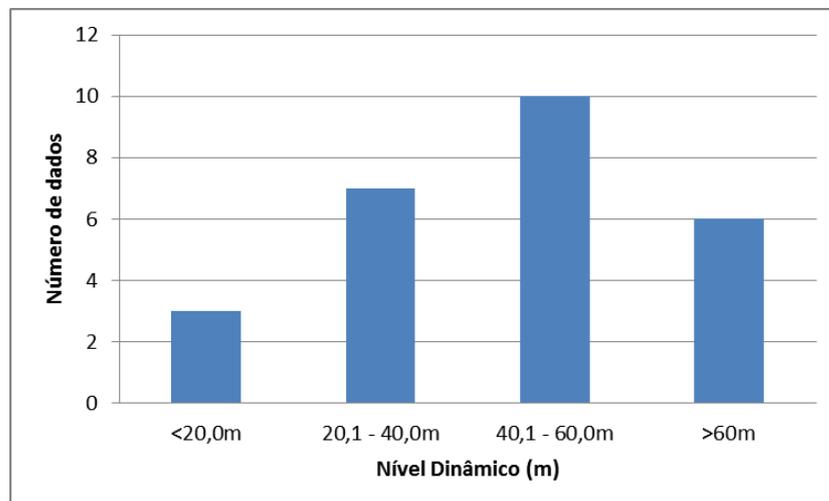
**Figura 27** – Histograma de frequência nível estático



#### 7.1.2.6 Nível Dinâmico (N.D)

A média do Nível Dinâmico dos poços é de 40,56m, sendo que 4 (12%) deles é inferior a 20m, 7 (27%) deles está entre os 20,1 a 40m, 10 (38%) deles está entre os 40,1 a 60m e 6 (23%) deles está acima dos 60m (Figura 28).

**Figura 28** – Histograma de frequência nível dinâmico.



## 7.2 Método de Detecção de Anomalias Geométricas – DAGE.

Esse método baseou-se na necessidade de se obter uma relação entre as propriedades geométricas das zonas fraturadas (anomalias geométricas) e propriedades hidráulicas (produtividade do poço) em meio fissural com objetivo de melhorar o índice de acerto na locação e melhorar a produtividades de poços tubulares em terrenos cristalinos.

De acordo com Davis & Wiest (apud Feitosa *et al*, 2008, p 69):

Poucas tarefas em hidrogeologia são mais difíceis do que a locação de poços em rochas cristalinas. Variações extremas de litologia e estrutura, associadas com zonas produtoras de água localizadas em pontos preferencias dificultam as investigações geológica e geofísica. O solo e a vegetação, muitas vezes, mascaram os afloramentos e impedem um mapeamento geológico detalhado. Além disso, pequenas fraturas que produzem a maior parte da água dos poços em rochas não intemperizadas não são detectada por métodos geofísicos. Não surpreende, portanto que em algumas regiões a porcentagem de insucesso na perfuração de poços seja alta mesmo quando as locações são feitas por hidrogeólogos experientes.

Defendem, também, que a grande dificuldade da locação de poços em terrenos cristalinos é a identificação de relações objetivas entre propriedades geométricas e propriedades hidráulicas do meio fissural.

Sem o estabelecimento de uma metodologia eficiente, dificulta bastante à locação dos poços. Portanto, é importante uma metodologia capaz de garantir uma efetiva melhoria na produtividade de poços tubulares em terrenos cristalinos ou um método que possibilite o conhecimento do processo que explique os resultados obtidos.

Para tentar solucionar o problema citado acima, foi desenvolvido nessa pesquisa um método que relaciona as propriedades geométricas das zonas fraturadas (anomalias geométricas) com as propriedades hidráulicas (produtividade dos poços) do meio fissural. Esse estudo foi fundamentado com base na análise das formas geométricas de curvas (anomalias geométricas), valores de resistividade obtidos e informações das litologias e produtividades dos 30 poços tubulares locados nessa pesquisa. Foram definidos dois tipos distintos de curvas. A primeira foi classificada como curva em “U” (apresenta anomalia geométrica com geometria em U), caracterizada por exibir dois ou mais valores de baixa resistividade, ocorre principalmente em rochas gnáissicas fraturadas do Complexo Jaguaretama, a maioria dos poços construídos nessa litologia possui boa produtividade com vazão máxima de 16m<sup>3</sup>/h, a segunda foi classificada como curva em “V”(apresenta anomalia geométrica com geometria em V), caracterizada por exibir apenas um valor de baixa ou moderada resistividade, ocorrendo nas rochas graníticas dos Plúton Pereiro e Plúton Sem Denominação, os poços construídos nessa litologia possuem baixa produtividade com vazões

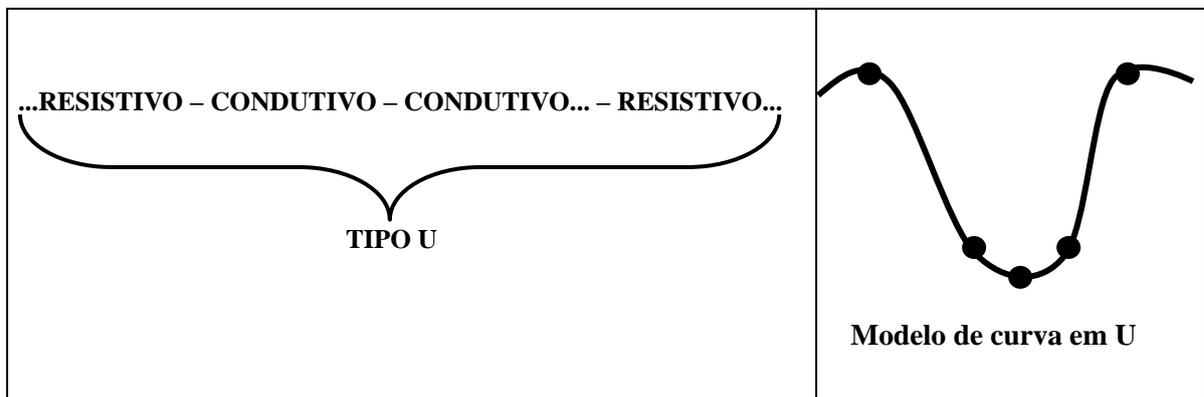
inferiores a 1,14 m<sup>3</sup>/h, inclusive com ocorrência de poços improdutivos.

### 7.2.1 Classificação qualitativa das Curvas (anomalias geolétricas).

As curvas foram classificadas em dois tipos distintos, fundamentada segundo a geometria das anomalias geolétricas, valores de resistividades, litologias e vazões dos poços tubulares.

- **Curvas com Geometria em “U”** é caracterizada por apresentar dois ou mais valores de baixa resistividade (condutivos) e exibe uma extensa anomalia geolétrica em forma de U (Figura 29).

**Figura 29** - Curva de resistividade com anomalia geolétrica em “U”.



- **Curvas com Geometria em “V”** é caracterizada por apresentar apenas um valor de baixa ou moderada resistividade (condutivo) e exibe uma estreita anomalia geolétrica em forma de V (Figura 30).

**Figura 30** - Curva de resistividade com anomalia geolétrica em “V”



### **7.2.2 Produção e análise das curvas de campo.**

Essa análise foi baseada em 28 locações pelo Método da Eletrorresistividade que resultaram na construção de 30 poços tubulares pela SOHIDRA, no município de Iracema-CE. Para o levantamento desses perfis de resistividade foi aplicado o Arranjo Gradiente com abertura dos elétrodos de corrente  $(A/B) = 240$  metros e elétrodos de recepção com abertura de  $(M/N) = 8,0$  metros, com profundidade teórica de investigação de 60m. Os estudos foram executados em dois tipos litológicos que predominam na área: os gnaisses do Complexo Jaguaretama e os granitos do Plúton Pereiro e Plúton Sem Denominação.

As curvas de resistividade aparente foram produzidas e analisadas com auxílio do Software Excel. Os dados foram plotados ao longo de perfil em uma dimensão -1D, considerando-se os valores de resistividade, as estações de leitura e seus espaçamentos.

#### *7.2.2.1 Curvas com geometria em “U”*

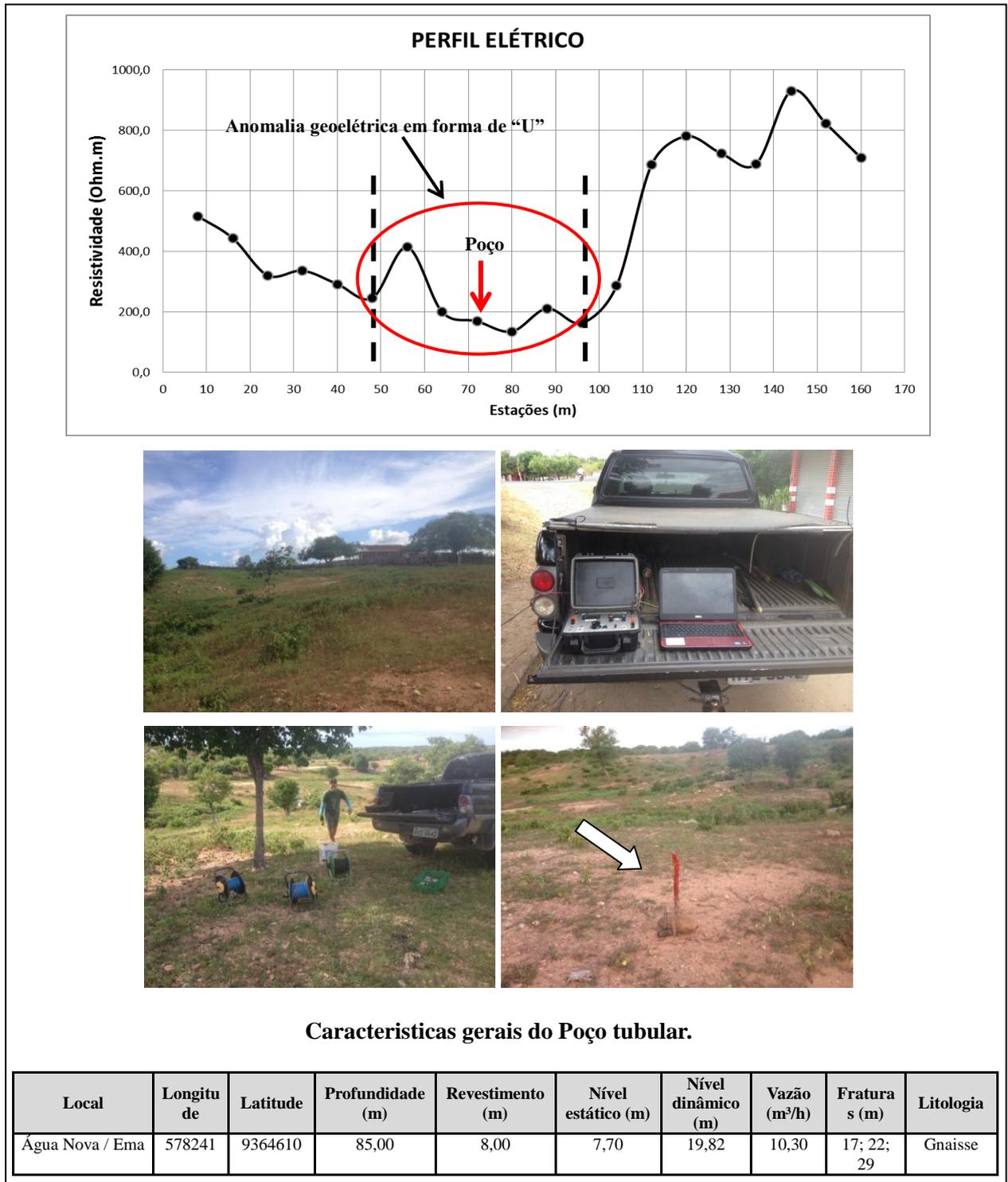
Esse tipo de curva predomina em rochas gnáissicas do Complexo Jaguaretama, possui uma extensa anomalia geométrica em forma de U, indicada por exibir baixos valores de resistividade (condutivos). Do ponto de vista hidrogeológico a maioria dos poços construídos nesses tipos de curvas possuem boa produtividade, justificado pela ocorrência de uma extensa zona fraturada que facilita o armazenamento de água e movimento através delas.

A forma geométrica desse tipo de curva e a boa produtividade dos poços podem ser explicadas segundo as informações contidas por Dunne & Hancock (1994); Van der Pluijm & Marshak (1997) e Aydin (2000), (apud Feitosa *et al*, 2008, p 110), onde citam que os xistos e gnaisses têm forte anisotropia e tendem a desenvolver um fraturamento mais denso e com dimensões mais reduzidas o que aumenta a conexão entre as fraturas, favorecendo a infiltração e acumulação de água. O plano de descontinuidade primária (foliação) presentes nos gnaisses associados às estruturas secundárias (fraturas) aumentam a intercomunicação e, conseqüentemente, a porosidade e permeabilidade da rocha, o que justifica a melhor produtividade dos poços nessa litologia. Em consequência desse adensamento de fraturas nessas litologias e a intercomunicação com a foliação, desenvolve-se anomalias geométricas mais extensas, apresentando mais de dois pontos de baixa resistividade. Foram identificados 19 perfis que exibem curvas em forma de “U”. Cada perfil será exibido abaixo, mostrando às anomalias geométricas, as locações dos poços, a documentação fotográfica do levantamento geofísica e às características gerais de cada poço tubular construído.

**Perfil 01 - Localidade Água Nova/Ema (vazão 10,3m³/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geolétrica (zona fraturada) em “U” localizada entre as estações 56 a 104m, largura 56m com resistividade de 135 Ωm (Figura 31).

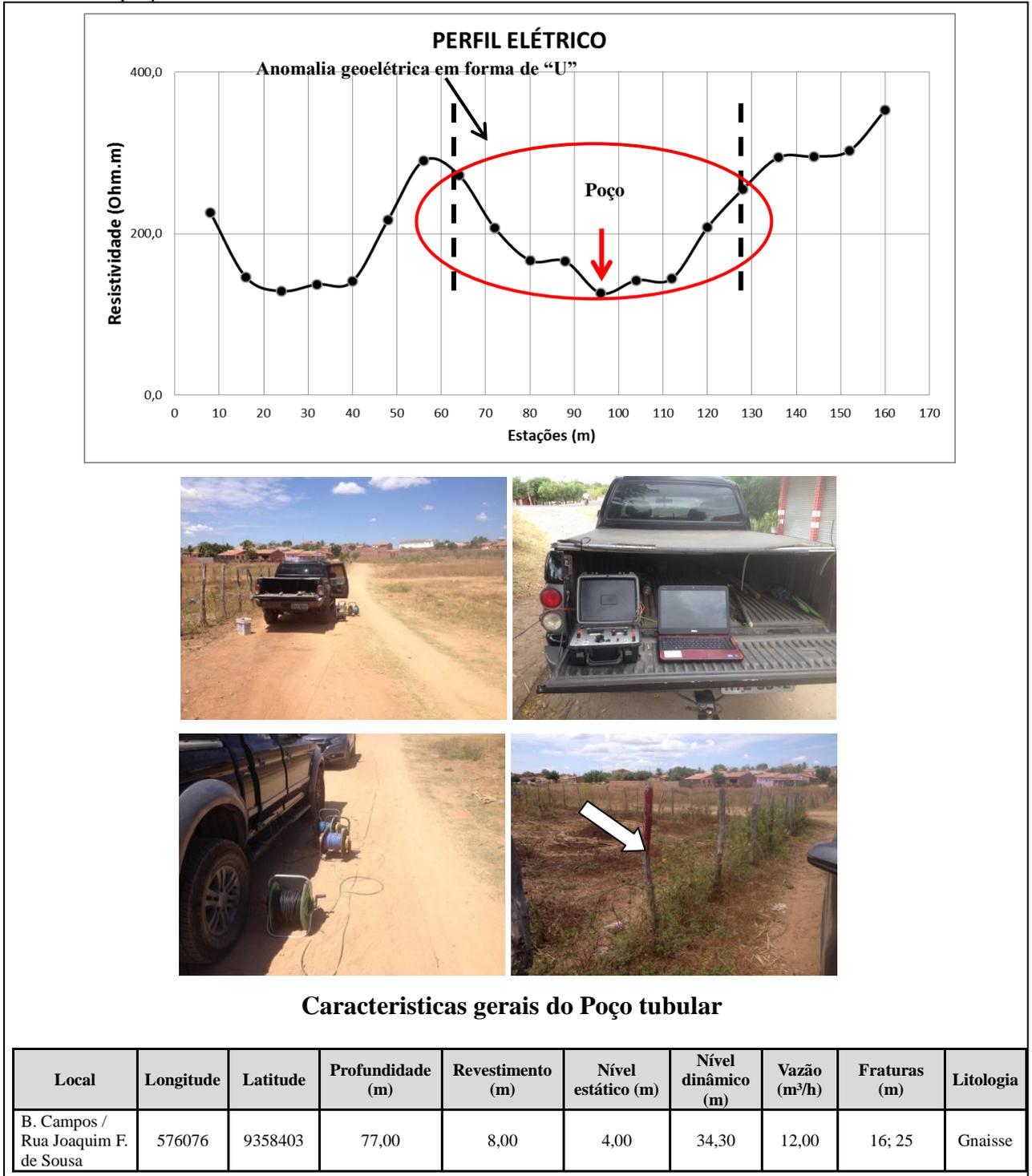
**Figura 31** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 02 - Bairro Campos – Rua Joaquim Farias de Sousa (vazão do poço 12m³/h)**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geoeletrica (zona fraturada) em “U” localizada entre as estações 64 a 128m, largura 64m com resistividade de 128 Ωm (Figura 32).

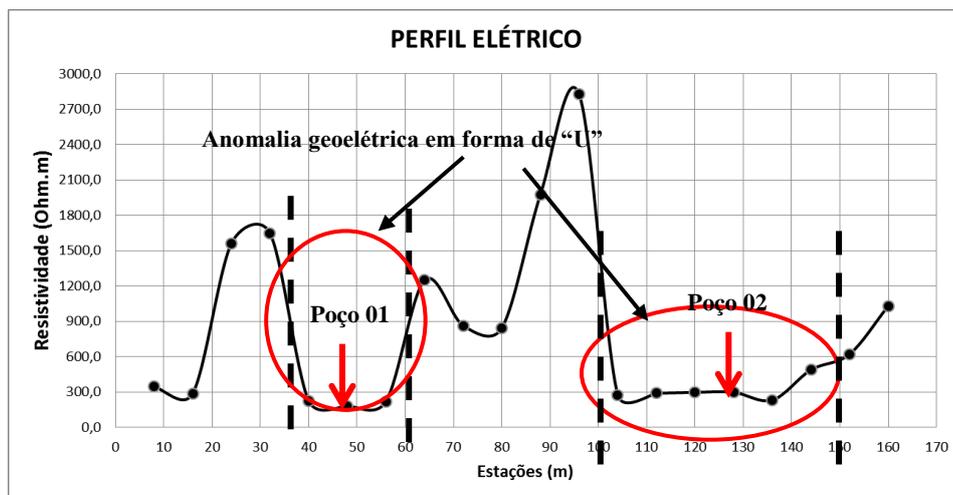
**Figura 32** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 03 - Avenida Gervásio de Holanda – Poço 01 (vazão 1,0 m³/h) e Poço 02 (vazão 5,5m³/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, primeira anomalia geolétrica em “U” localizada entre as estações 40 a 56m, largura 16m com resistividade de 135 Ωm, segunda anomalia geolétrica em “U” situada entre 104 a 144m, largura 40m, resistividade 231 Ωm (Figura 33).

**Figura 33** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



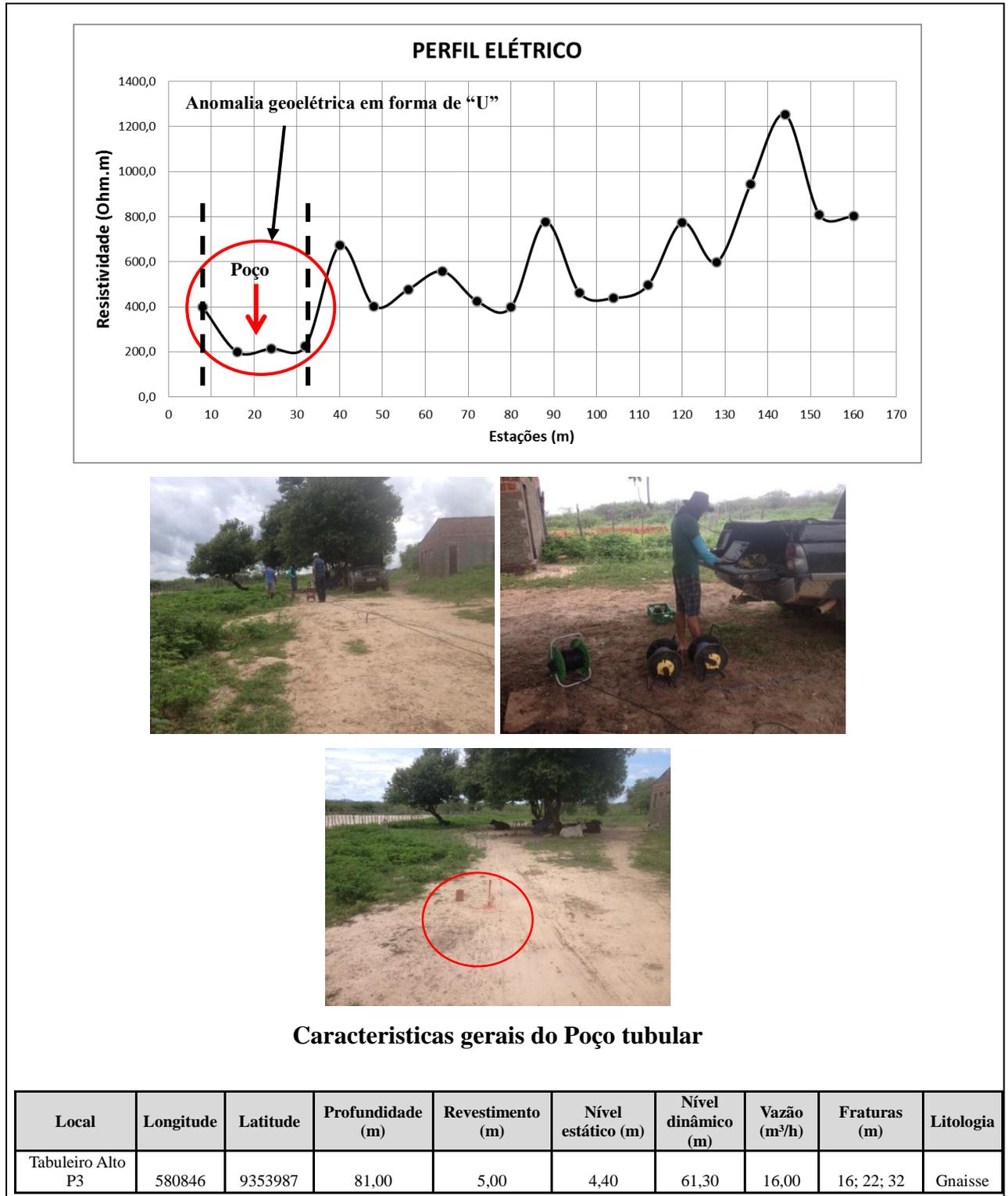
**Características gerais do Poço tubular**

Local	Longitude	Latitude	Profundidade (m)	Revestimento (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Fraturas (m)	Litologia
Av. Gervasio Holanda –Poço 1	576882	9357583	80,00	8,00	10,00	64,00	1,00	24	Gnaise
Av. Gervasio Holanda - poço 2	576881	9357700	100,00	6,00	12,00	59,00	5,50	76; 84	Gnaise

**Perfil 04 - Localidade Tabuleiro Alto (vazão 16 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geolétrica (zona fraturada) em “U” localizada entre as estações 8 a 32m, largura 24m, resistividade 199 Ωm (Figura 34).

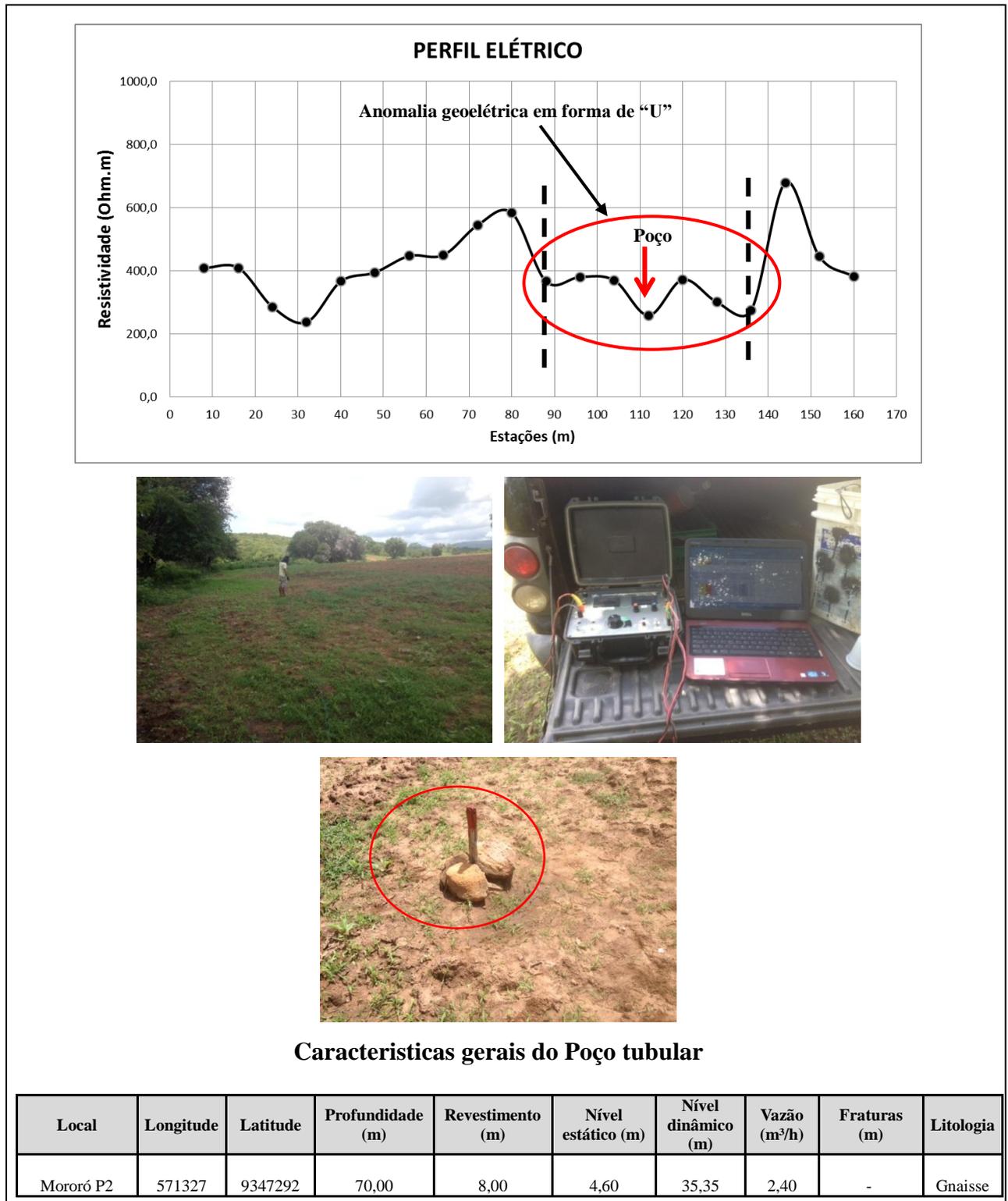
**Figura 34** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 05 - Localidade Mororó P2 (vazão 2,4 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 88 a 136m, largura 48m, resistividade 274  $\Omega$ m (Figura 35).

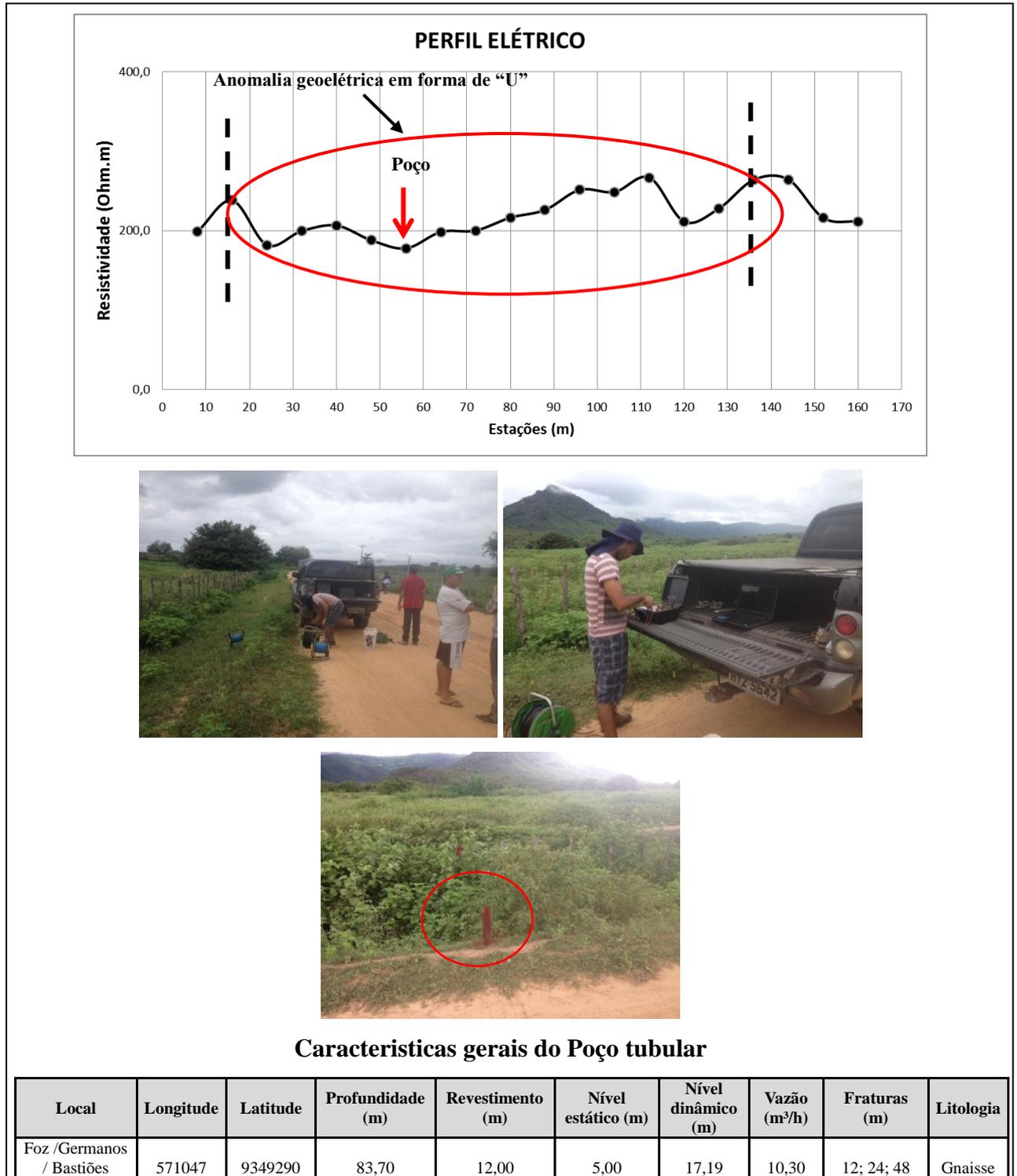
**Figura 35** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 06 - Localidade Foz/Germano/Bastiões (vazão 10,3 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 24 a 136m, largura 12m, resistividade 177 Ωm (Figura36).

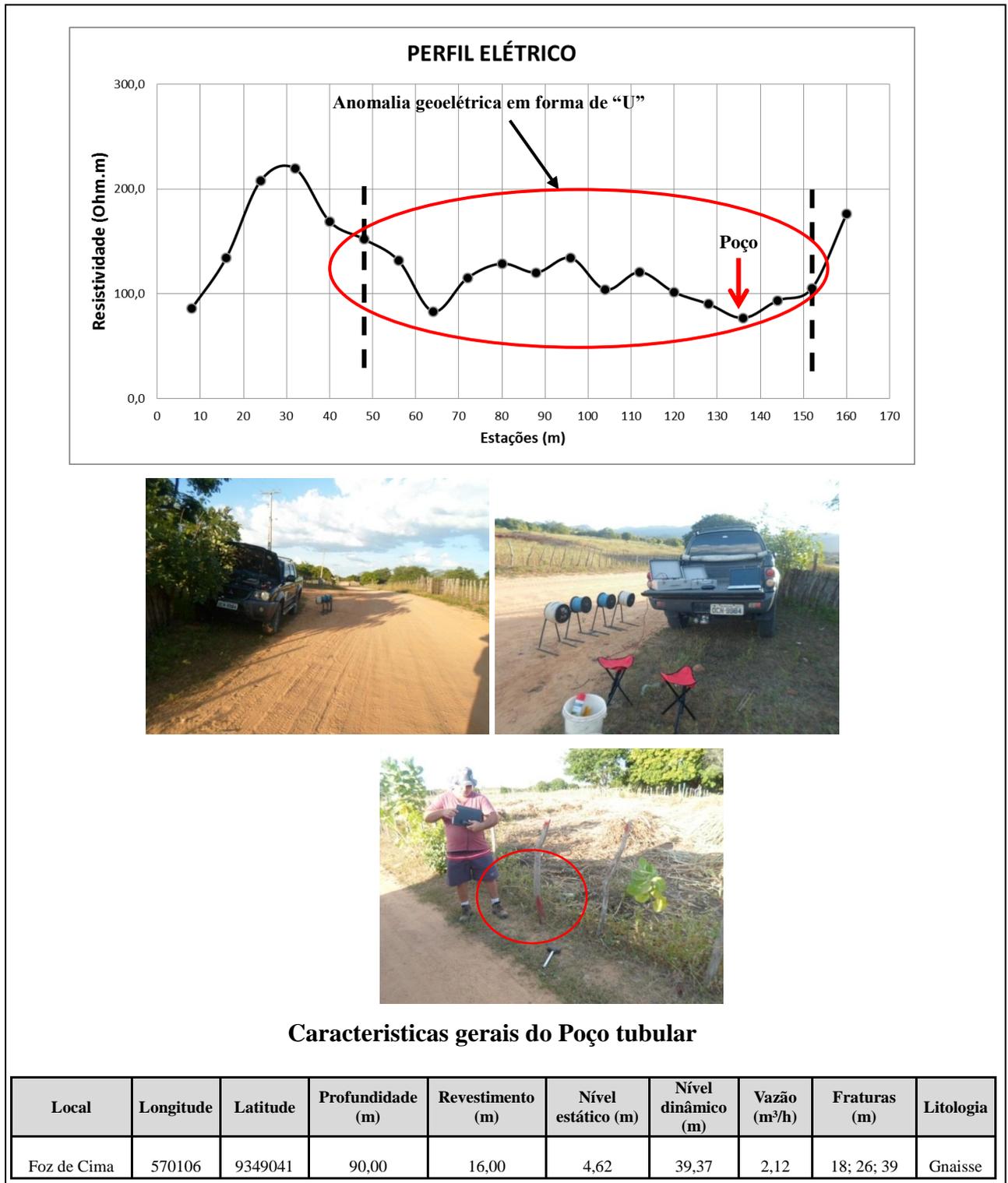
**Figura 36** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 07 - Localidade Foz de Cima (vazão 2,1 m³/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 48 a 152m, largura 108m, resistividade 76 Ωm (Figura 37).

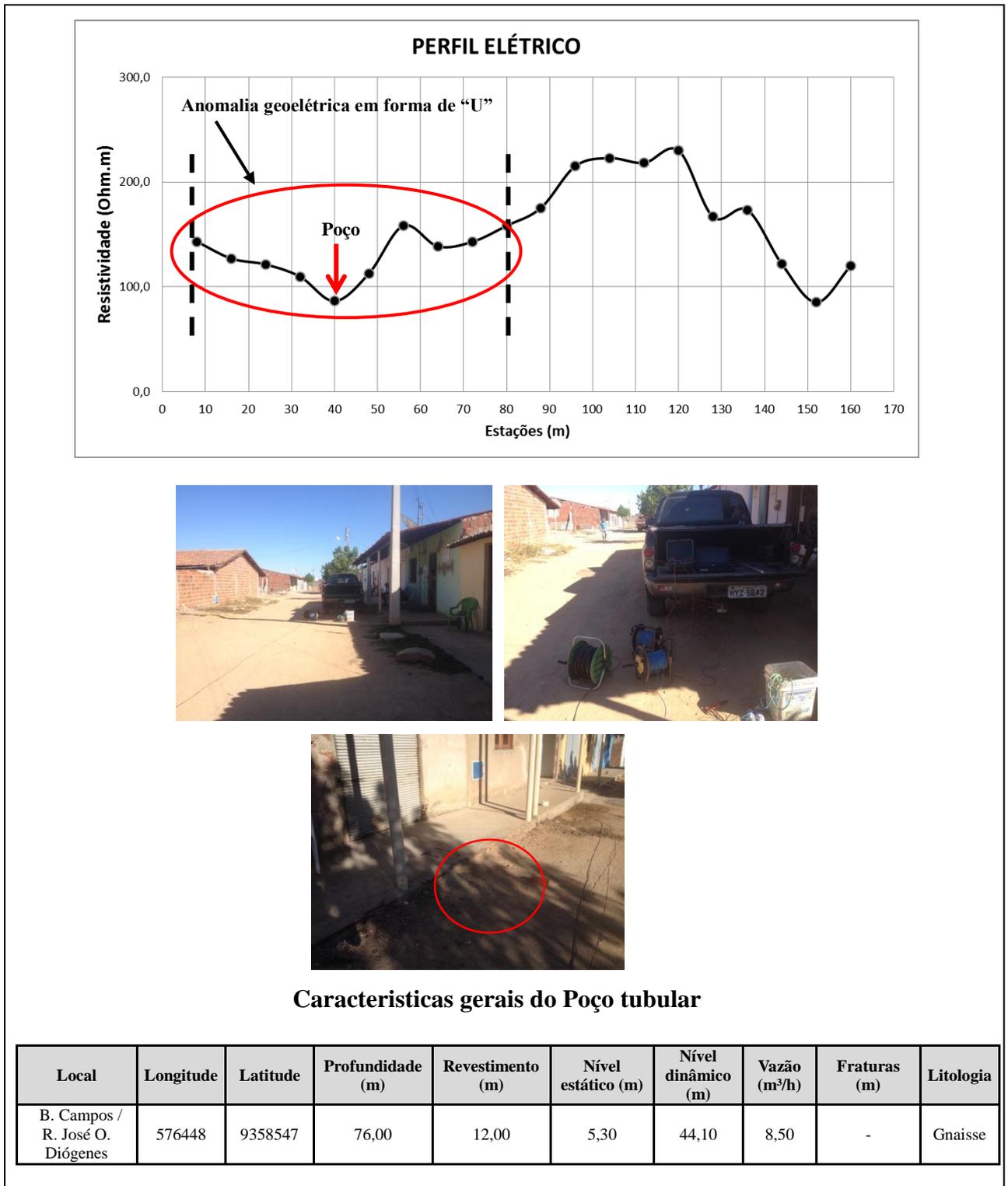
**Figura 37** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 08 - Bairro Campos / Rua José Osvaldo Diógenes (vazão 8,5 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geoeletrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 8 a 88m, largura 80m, resistividade 85 Ωm (Figura 38).

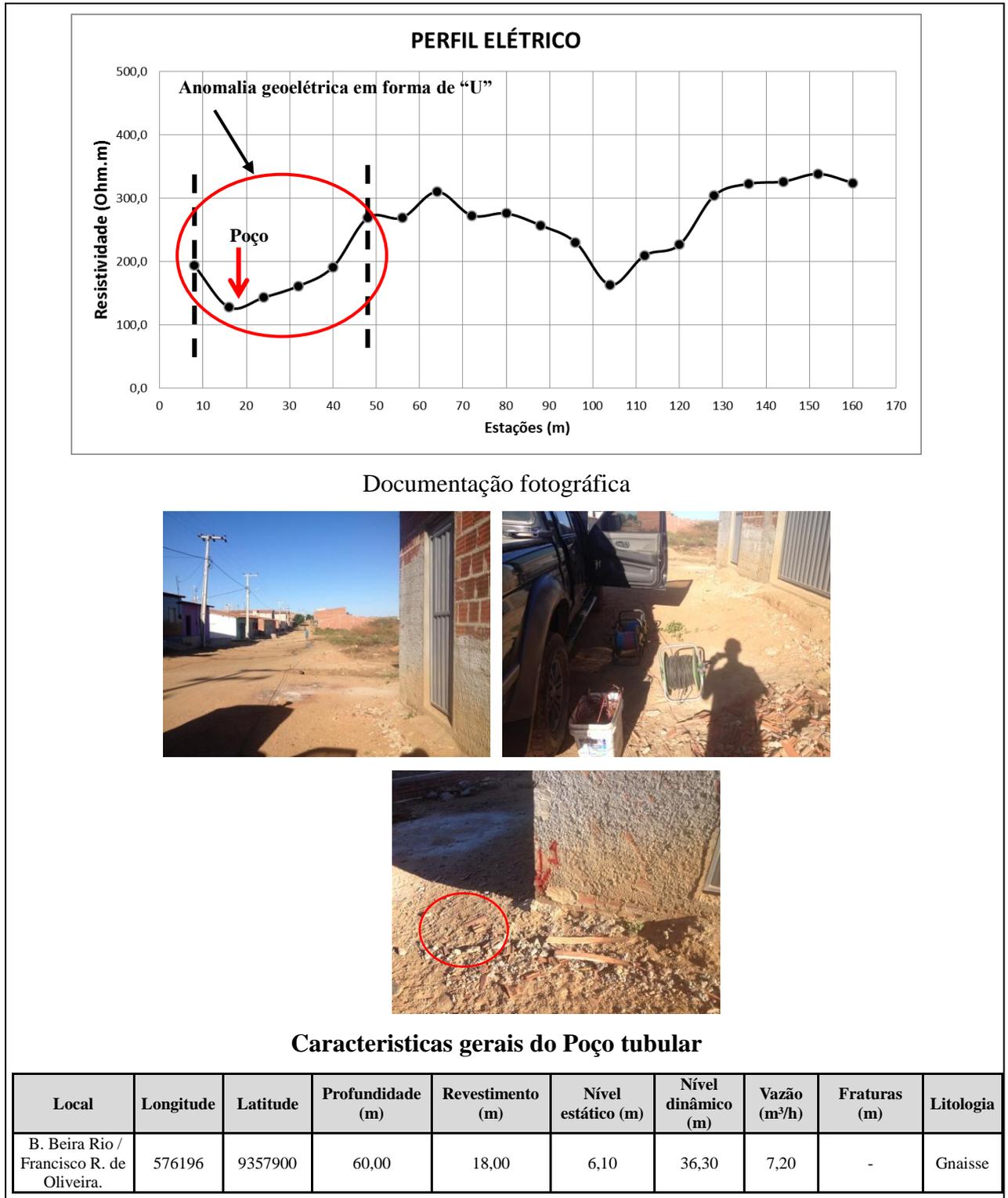
**Figura 38** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 09 - Bairro Beira Rio/ Rua Francisco Roque de Oliveira (vazão 7,2 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geoeletrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 8 a 48m, largura 40m, resistividade 127 Ωm (Figura 39).

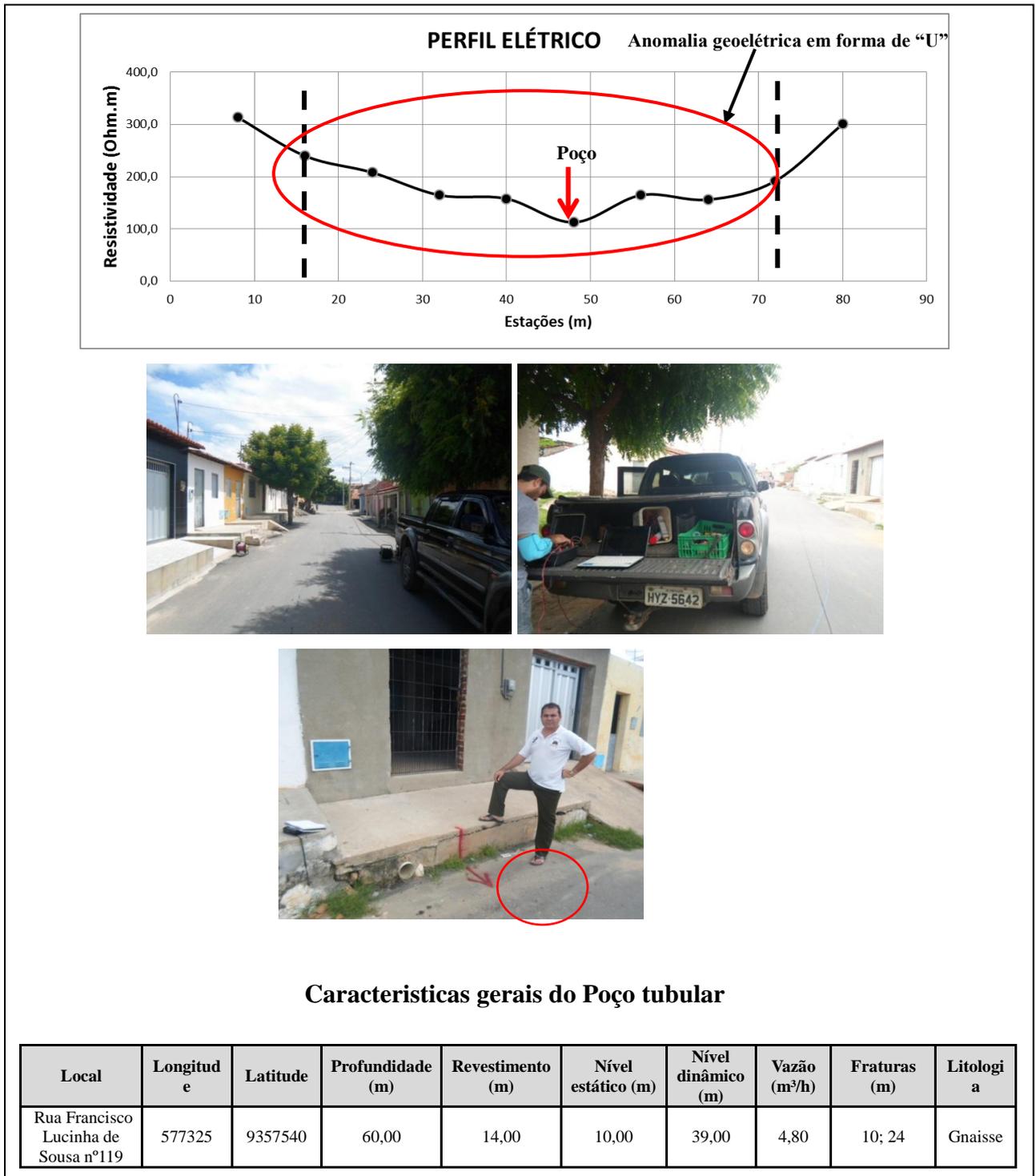
**Figura 39** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 10 - Rua Francisco Lucinha de Sousa nº119 (vazão 4,8 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 80m, direção NE-SW, anomalia geoeletrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 16 a 72m, largura 56m, resistividade 112  $\Omega$ m (Figura 40).

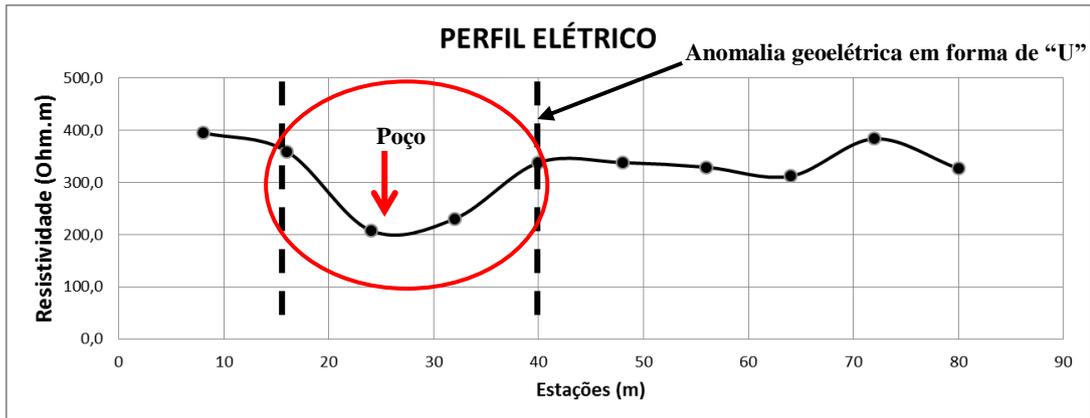
**Figura 40** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 11 - Rua Maria Rosa Flor nº87 (vazão 5,7 m³/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 80m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 16 a 40m, largura 24m, resistividade 208  $\Omega\text{m}$  (Figura 41).

**Figura 41** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



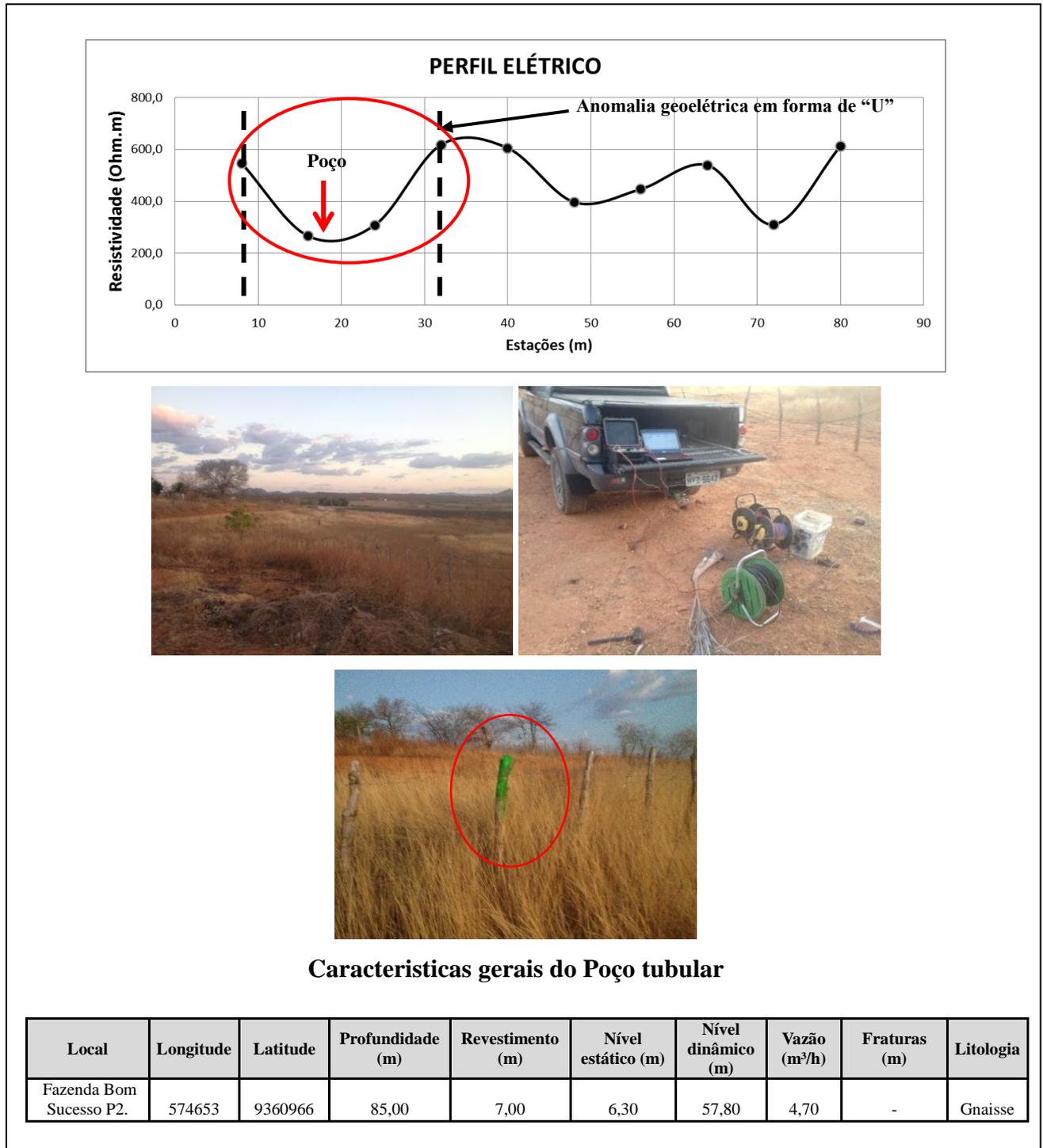
**Características gerais do Poço tubular**

Local	Longitude	Latitude	Profundidade (m)	Revestimento (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Fraturas (m)	Litologia
Rua Maria Rosa Flor nº87	576050	9358998	80,00	21,00	10,00	48,00	5,70	16; 36; 50	Gnaiss

**Perfil 12 - Fazenda Bom Sucesso P2 (vazão 4,7 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 80m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 8 a 32m, largura 24m, resistividade 266  $\Omega$ m (Figura 42).

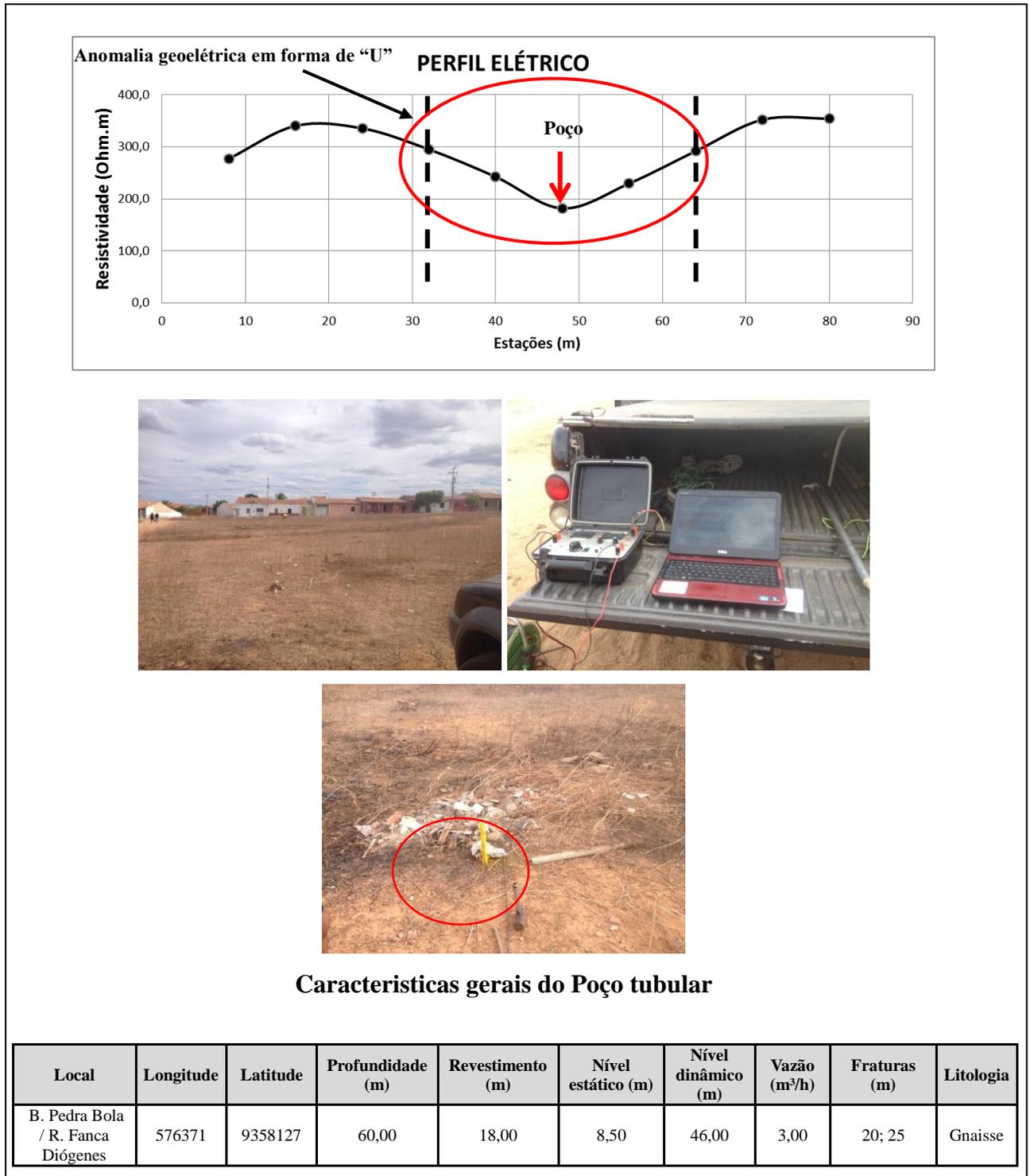
**Figura 42** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 13 - Bairro Pedra Bola / Rua Fanca Diógenes (vazão 3,0 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 80m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 32 a 64m, largura 32m, resistividade 182  $\Omega$ m (Figura 43).

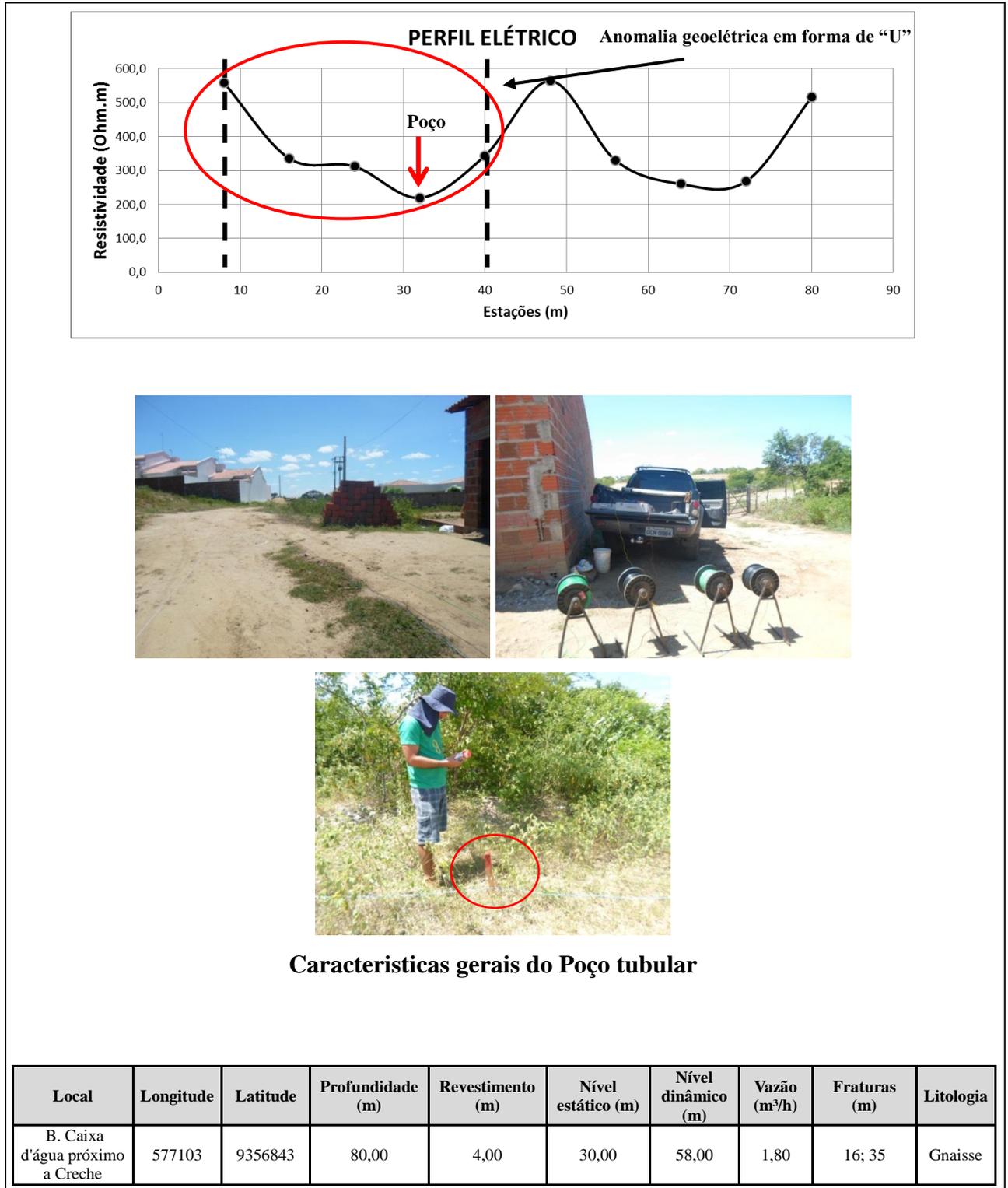
**Figura 43** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 14 - Bairro Caixa d'Água próximo a Creche (vazão 1,8 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 80m, direção NE-SW, anomalia geoeletrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 16 a 40m, largura 24m, resistividade 219  $\Omega$ m (Figura 44).

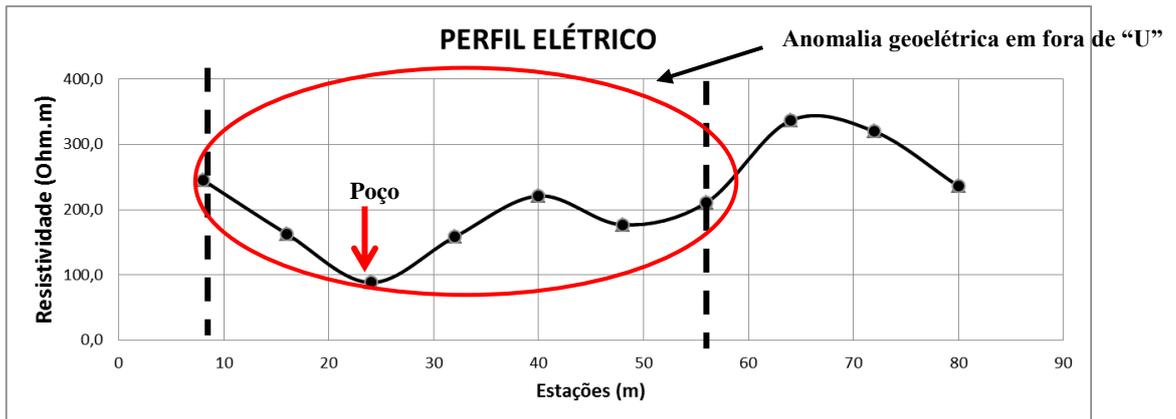
**Figura 44** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 15 - Bairro Campos / em frente ao Clube Campo (vazão 1,8 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 80m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 8 a 56m, largura 44m, resistividade 219  $\Omega$ m (Figura 45).

**Figura 45** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



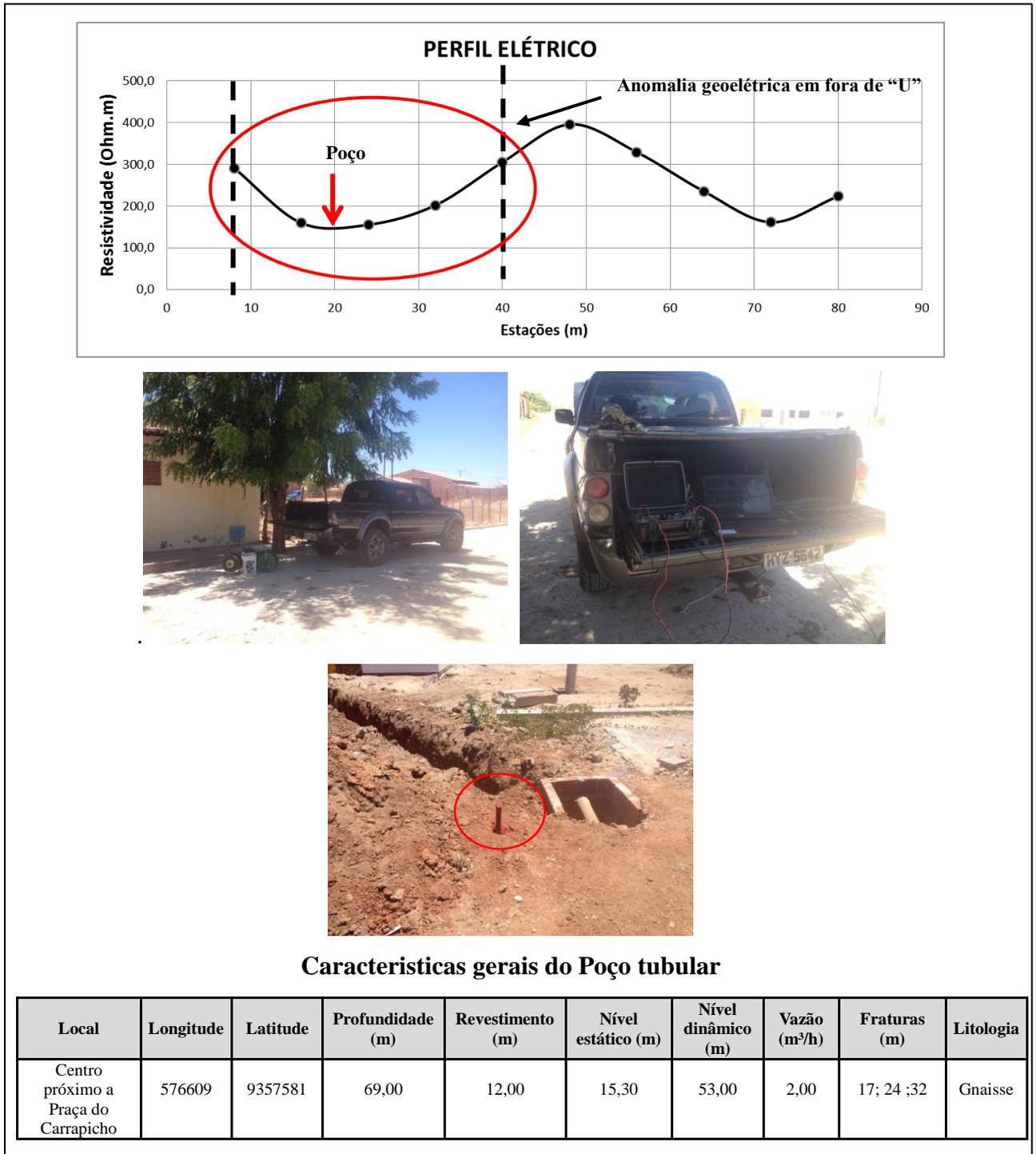
**Características gerais do Poço tubular**

Local	Longitude	Latitude	Profundidade (m)	Revestimento (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Fraturas (m)	Litologia
Bairro Campos / em frente ao Clube Campo	575746	9358418	60,00	10,60	6,00	53,80	2,00	-	Gnaisse

**Perfil 16 - Bairro Centro próximo a Praça do Carrapicho (vazão 2,0 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 80m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 8 a 40m, largura 32m, resistividade 155 Ωm (Figura 46).

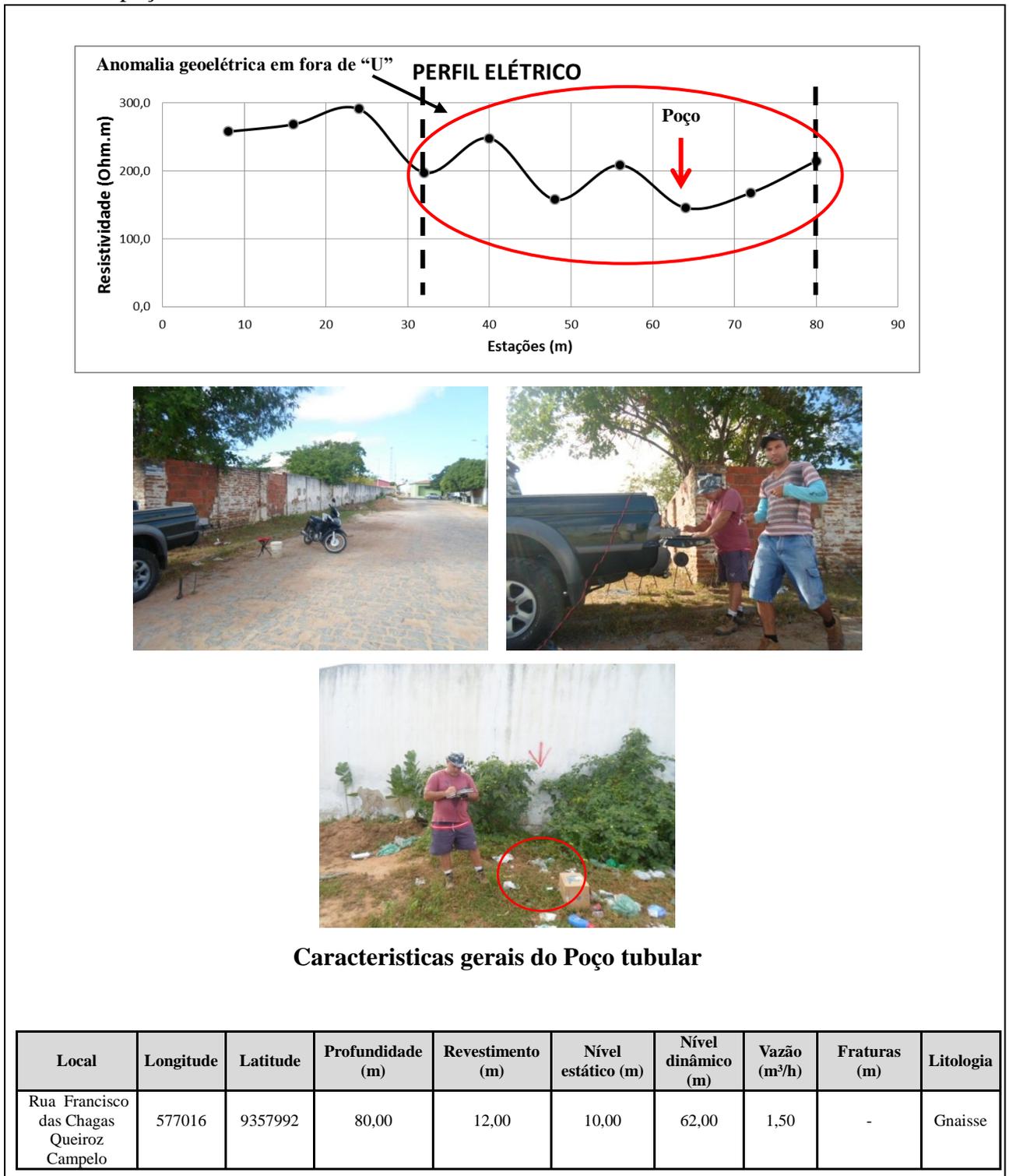
**Figura 46** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 17 - Rua Francisco das Chagas Queiroz Campelo (vazão 1,5 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 80m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 32 a 80m, largura 48m, resistividade 145 Ωm (Figura 47).

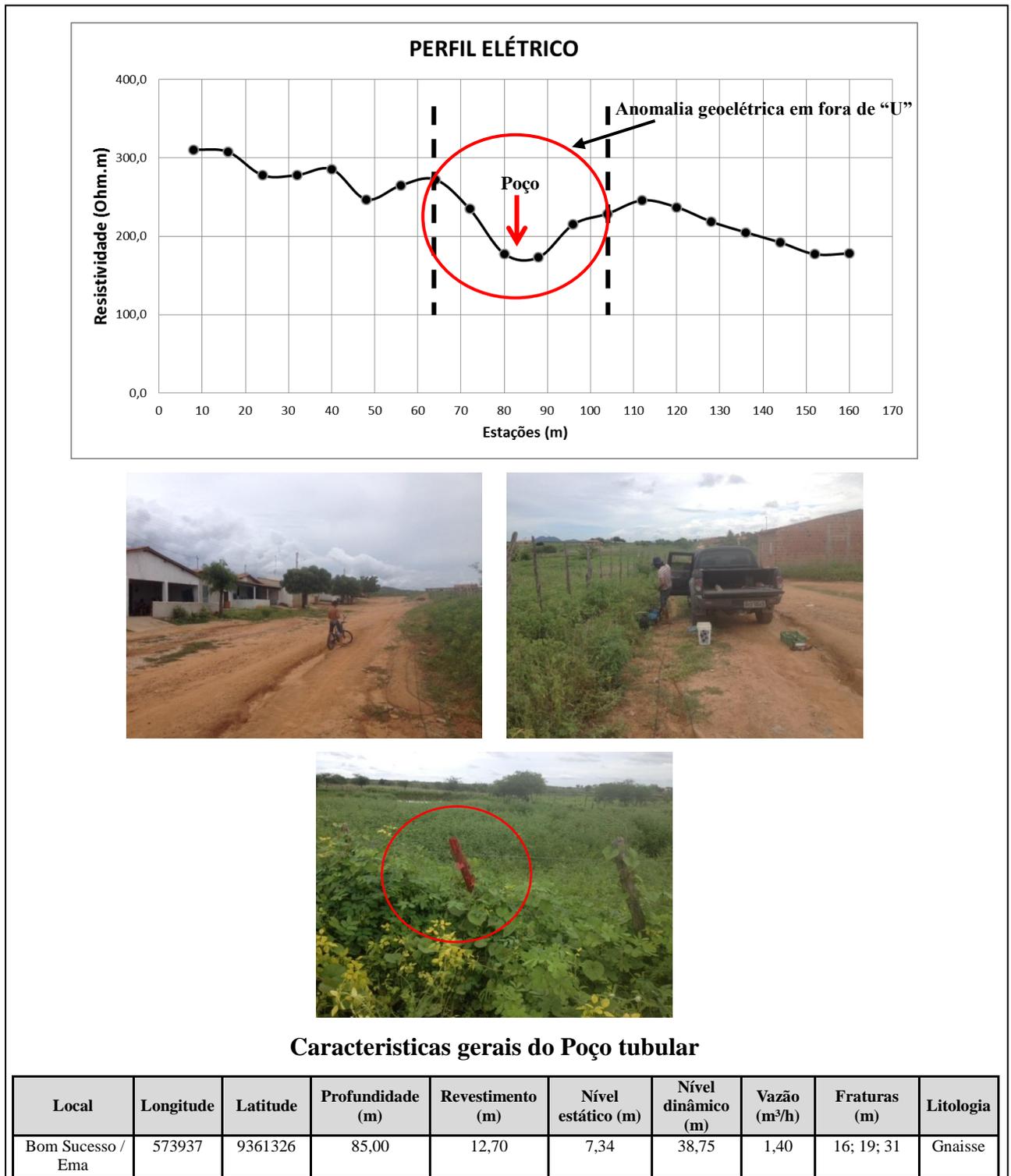
**Figura 47** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 18 - Localidade Bom Sucesso/Ema (vazão 2,0 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “U” (zona fraturada) a entre as estações 64 a 104m, largura 40m, resistividade 161  $\Omega$ m (Figura 48).

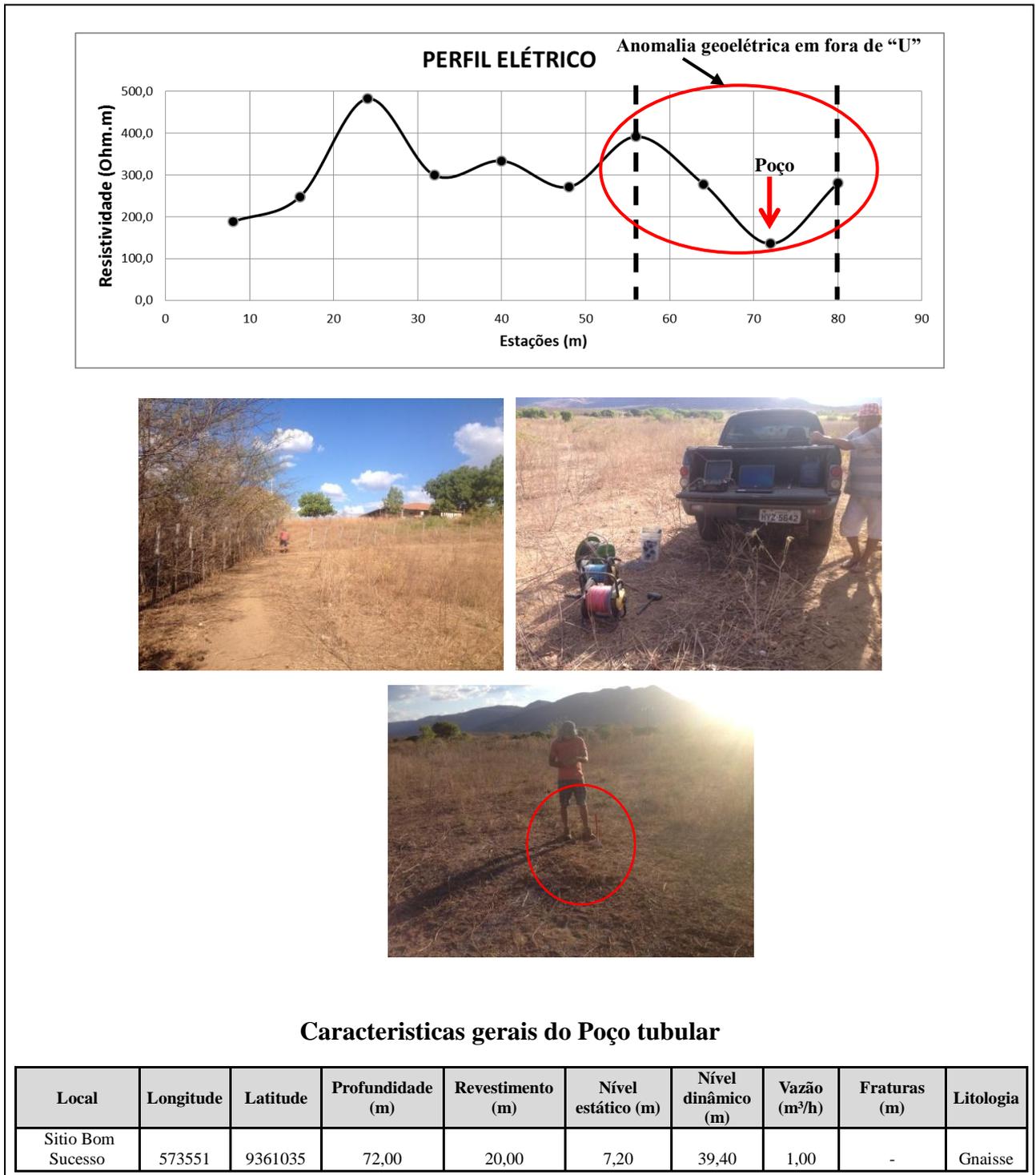
**Figura 48** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 19 - Localidade Sítio Sucesso/Em (vazão 1,0 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 80m, direção NE-SW, anomalia geoeletrica em “U” (zona fraturada) localizada entre as estações 56 a 80m, largura 24m, resistividade 135  $\Omega$ m (Figura 49).

**Figura 49** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



### 7.2.2.2 Curvas com geometria em “V”

Nas rochas graníticas as anomalias geolétricas apresentam curvas de resistividade com geometria em forma de “V”. Esse padrão geométrico nessas curvas ocorrem, com dominância, nas rochas com elevada competência e que não apresentam uma orientação (foliação, clivagem, xistosidade) tornando-as mais resistentes ao desenvolvimento estruturas que permite o armazenamento água (fraturas). De acordo com Dunne & Hancock (1994); Van der Pluijm & Marshak (1997) e Aydin (2000), (apud Feitosa *et al*, 2008, p 110), as rochas cristalinas maciças, com anisotropia mais fraca (foliação em granitoides pouco deformados) tendem a desenvolver fraturas mais longas, porém mais espaçadas, reduzindo a conexão entre as fraturas e diminuindo a capacidade de infiltração e de acumulação de água. Assim, a falta de planos de descontinuidade originais (foliações) diminui a intercomunicação entre as zonas de fraturas, reduzindo a porosidade e permeabilidade da rocha, justificando a baixa produtividade dos poços nessa litologia, apresentando vazões inferiores a 1,14 m<sup>3</sup>/h, inclusive com ocorrência de poços improdutivos.

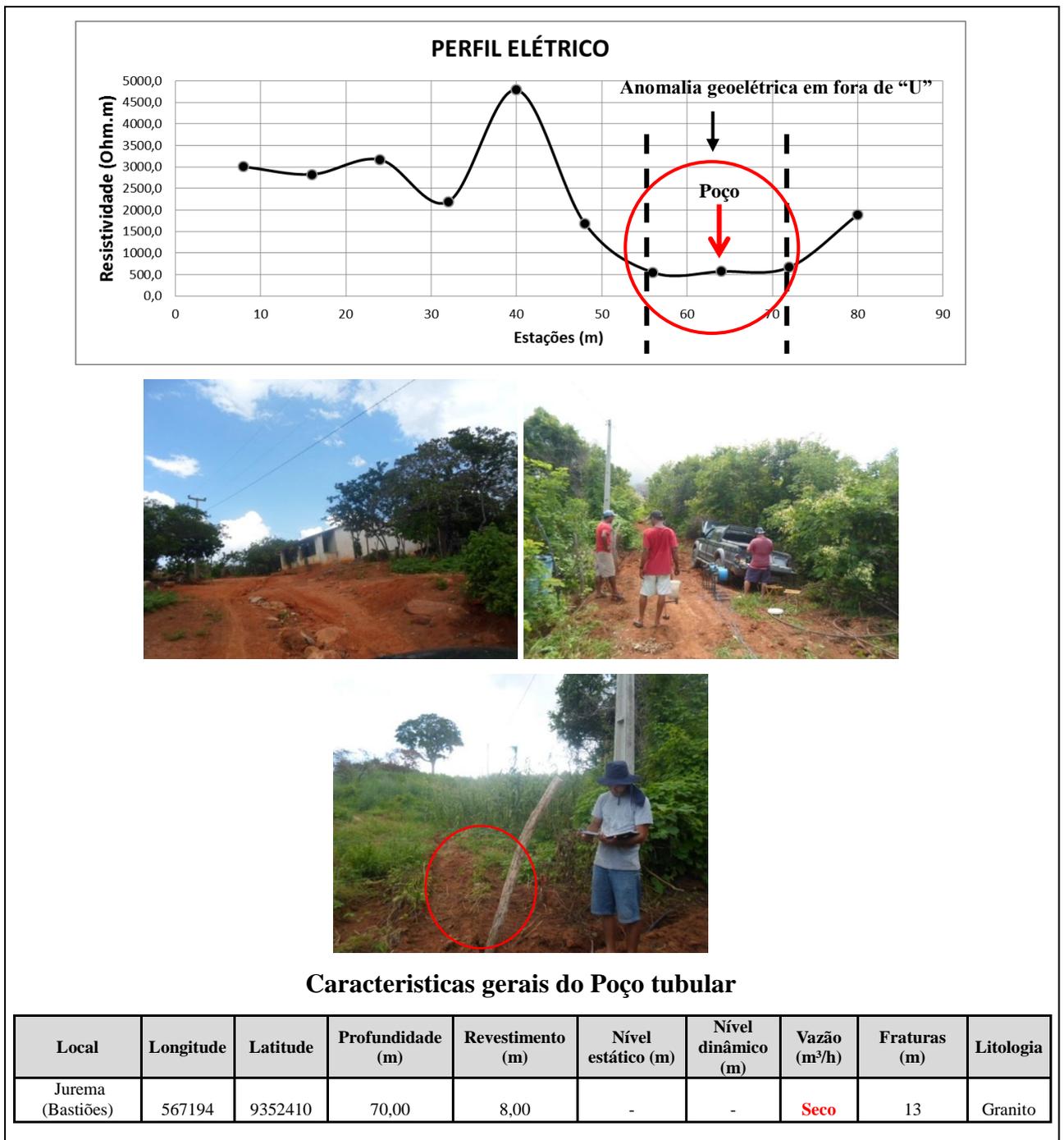
Do ponto de vista hidrogeológico o maior espaçamento entre fraturas e falta de foliação nessa litologia causa uma baixa intercomunicação entre as zonas fraturadas reduzindo a capacidade de armazenamento e transmissão de águas subterrâneas o que pode ser observada pela ocorrência de anomalias geolétricas estreitas e que apresenta apenas um ponto de baixa resistividade.

Na área de estudo foram identificados 9 perfis que exibem esse tipo de curvas com anomalias geolétricas em forma de “V”. Cada perfil será exibido abaixo, mostrando às anomalias geolétricas, as locações dos poços, a documentação fotográfica do levantamento geofísico e às características gerais de cada poço tubular construído.

**Perfil 20 - Localidade Jurema/ Bastiões – Poço improdutivo (Seco)**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 80m, direção NE-SW, anomalia geoeletrica localizada entre as estações 56 a 72m, largura 16m, resistividade 548  $\Omega$ m (Figuras 50). A anomalia geoeletrica possui forma em “U” (zona fraturada), porém apresenta elevados valores de resistividade, o que caracteriza a presença de rocha granítica pouco fraturada.

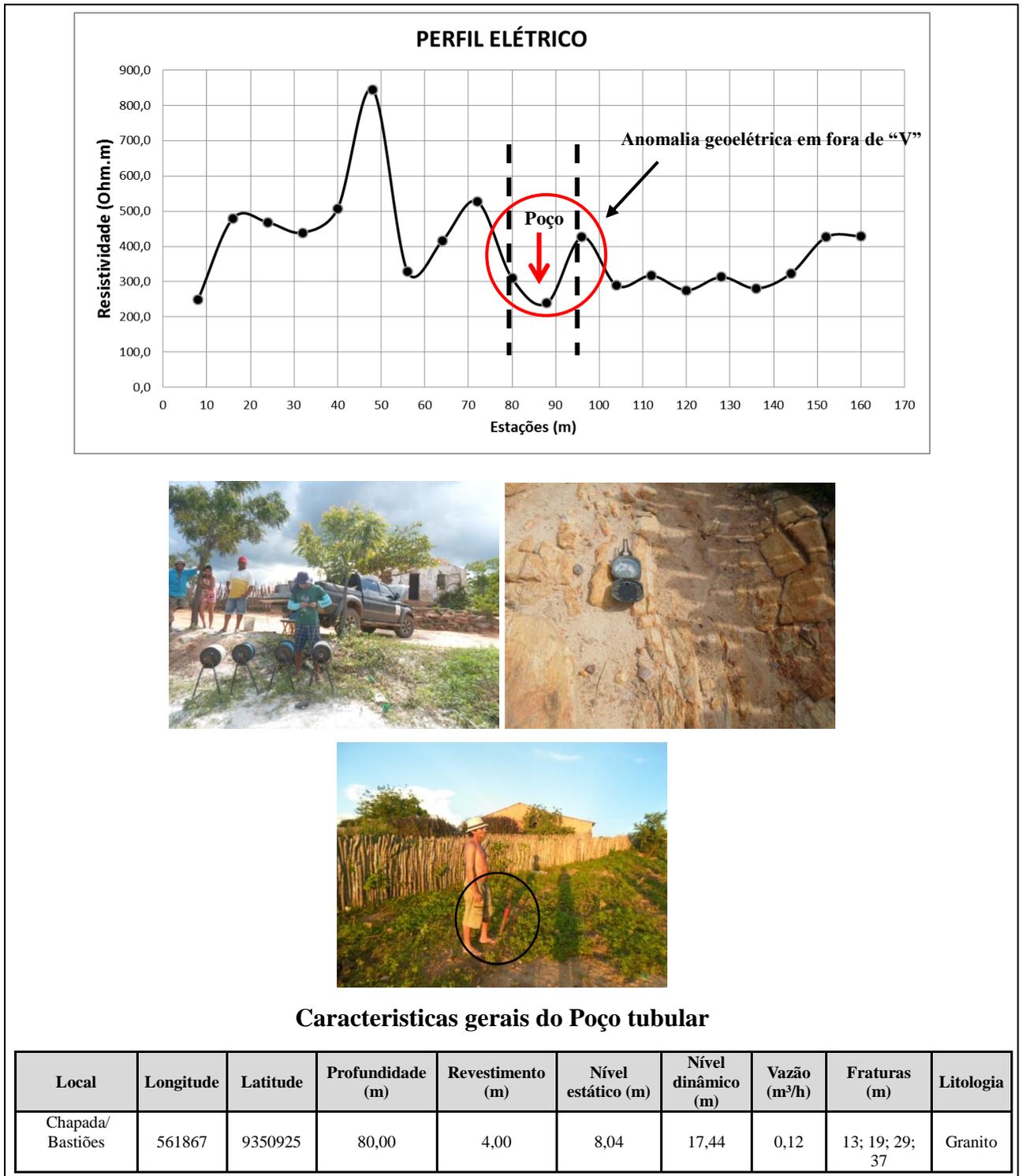
**Figura 50** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 21 - Localidade Chapada/ Bastiões (vazão 0,12m³/h)**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geoeletrica em “V” (zona fraturada) localizada entre as estações 80 a 96m, largura 16m, resistividade 237Ωm (Figura 51).

**Figura 51** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 22 - Bairro Caixa D'Água - Rua Maria Florentina – Poço improdutivo (Seco)**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “V” (zona fraturada) localizada entre as estações 64 a 88m, largura 24m, resistividade 56 Ωm (Figura 52).

**Figura 52** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



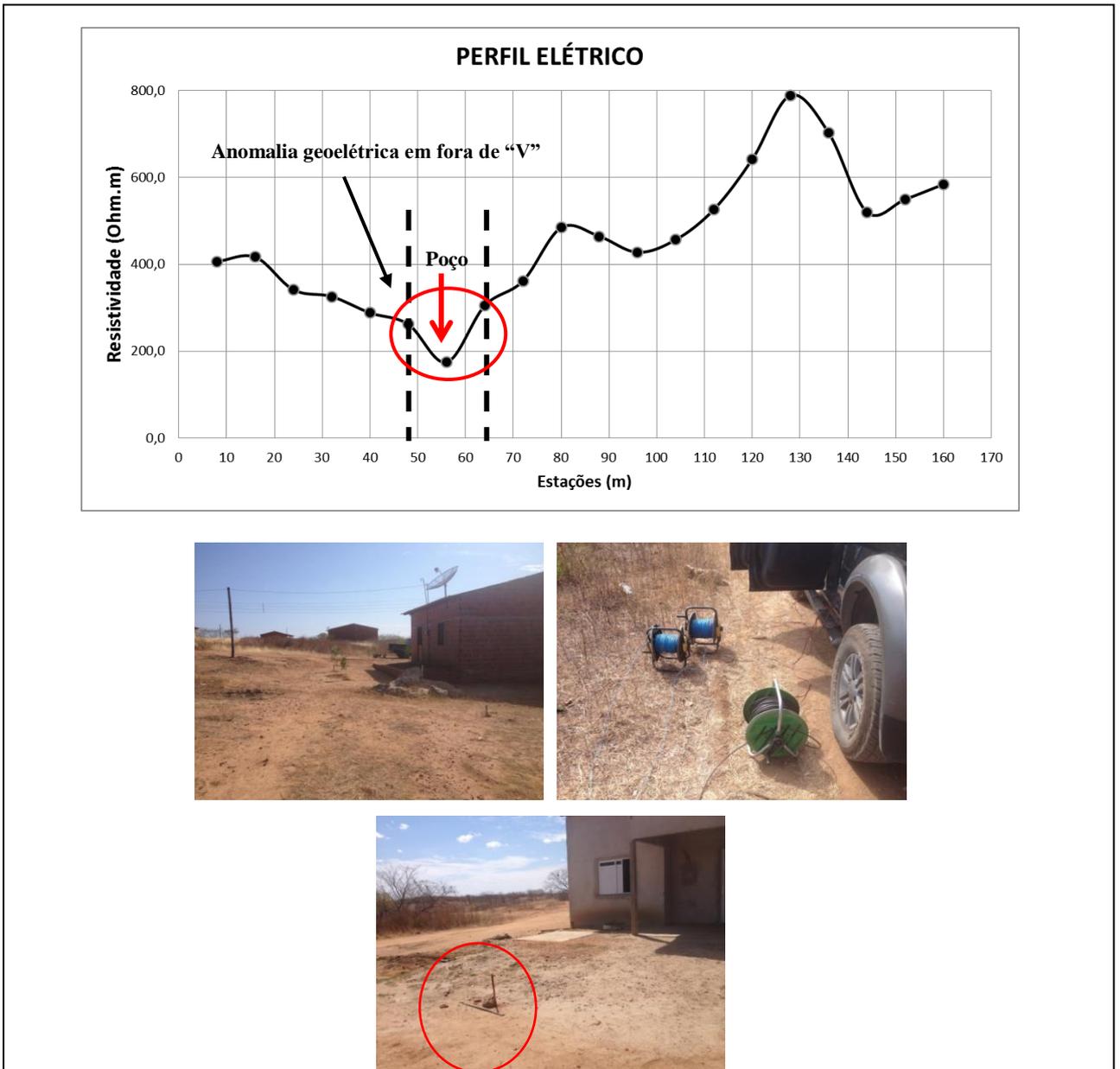
**Características gerais do Poço tubular**

Local	Longitude	Latitude	Profundidade (m)	Revestimento (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Fraturas (m)	Litologia
B. C. D'Água / Rua Maria Florentina	576949	9356714	85,00	11,40	-	-	<b>Seco</b>	-	Granito

**Perfil 23 - Bairro CAGECE/ Rua José Pereira Nunes de Queiroz – Poço improdutivo (Seco)**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “V” (zona fraturada) localizada entre as estações 48 a 64m, largura 16m, resistividade 174 Ωm (Figura 53).

**Figura 53** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



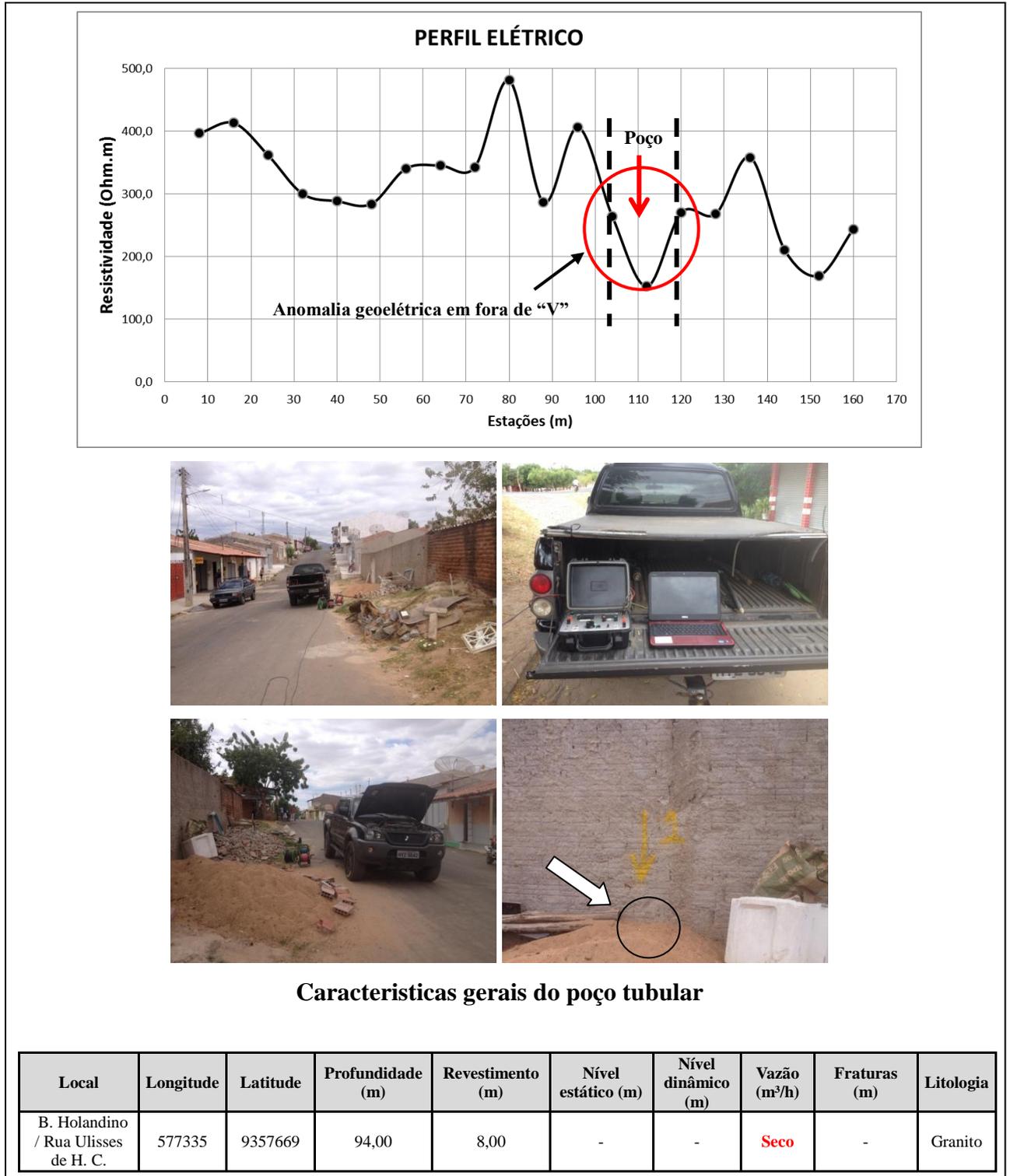
**Características gerais do Poço tubular**

Local	Longitude	Latitude	Profundidade (m)	Revestimento (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Fraturas (m)	Litologia
Bairro CAGECE	577070	9356587	97,00	8,00	-	-	<b>Seco</b>	22	Granito

**Perfil 24 - Bairro Holandino / Rua Ulisses de Holanda Campelo - Poço improdutivo (Seco)**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “V” (zona fraturada) localizada entre as estações 104m a 120m, largura 16m, resistividade 152 Ωm (Figura 54).

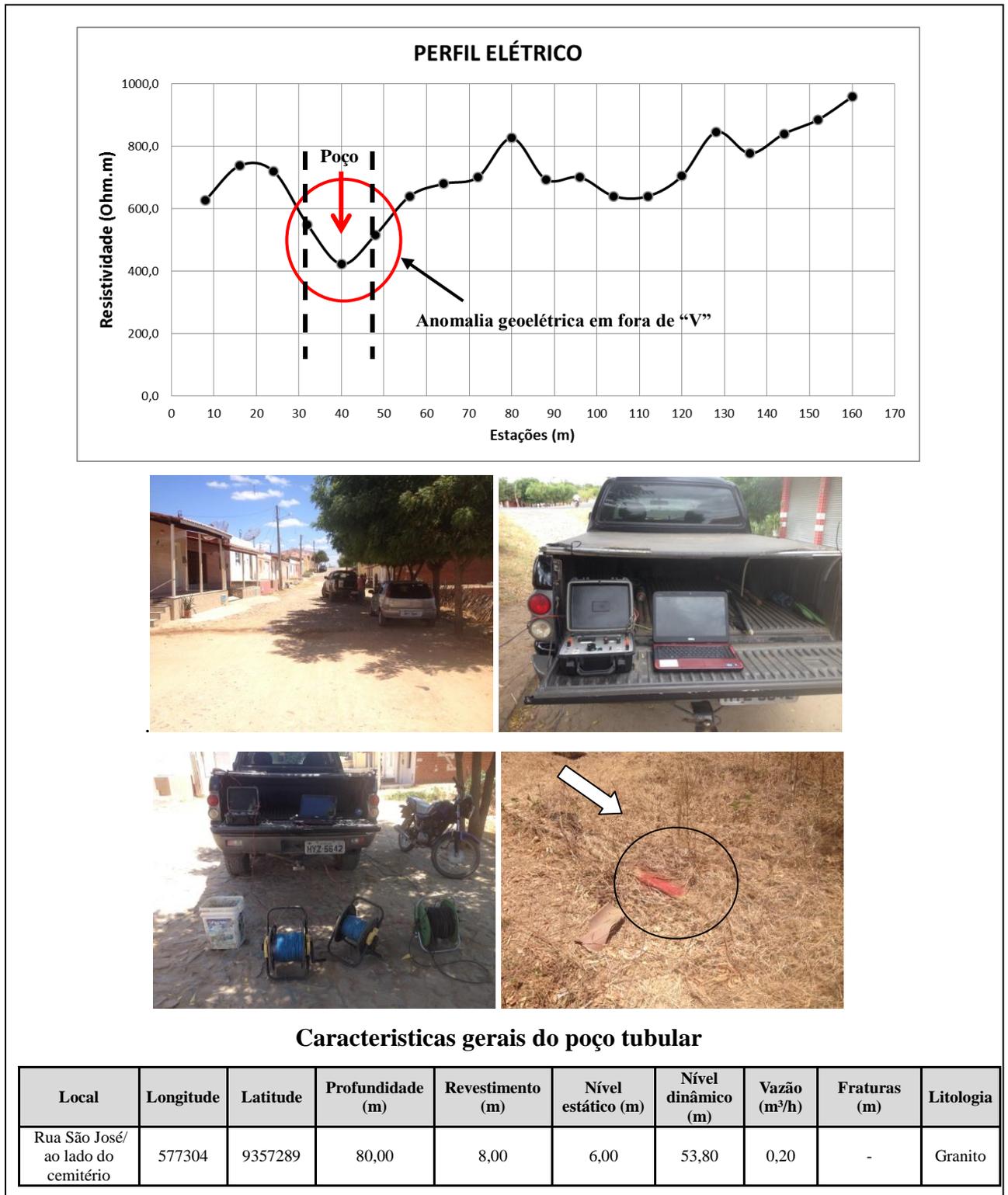
**Figura 54** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 25 - Rua São José/ ao lado do Cemitério (vazão 0,2 m³/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “V” (zona fraturada) localizada entre as estações 104m a 128m, largura 24m, resistividade 432 Ωm (Figura 55).

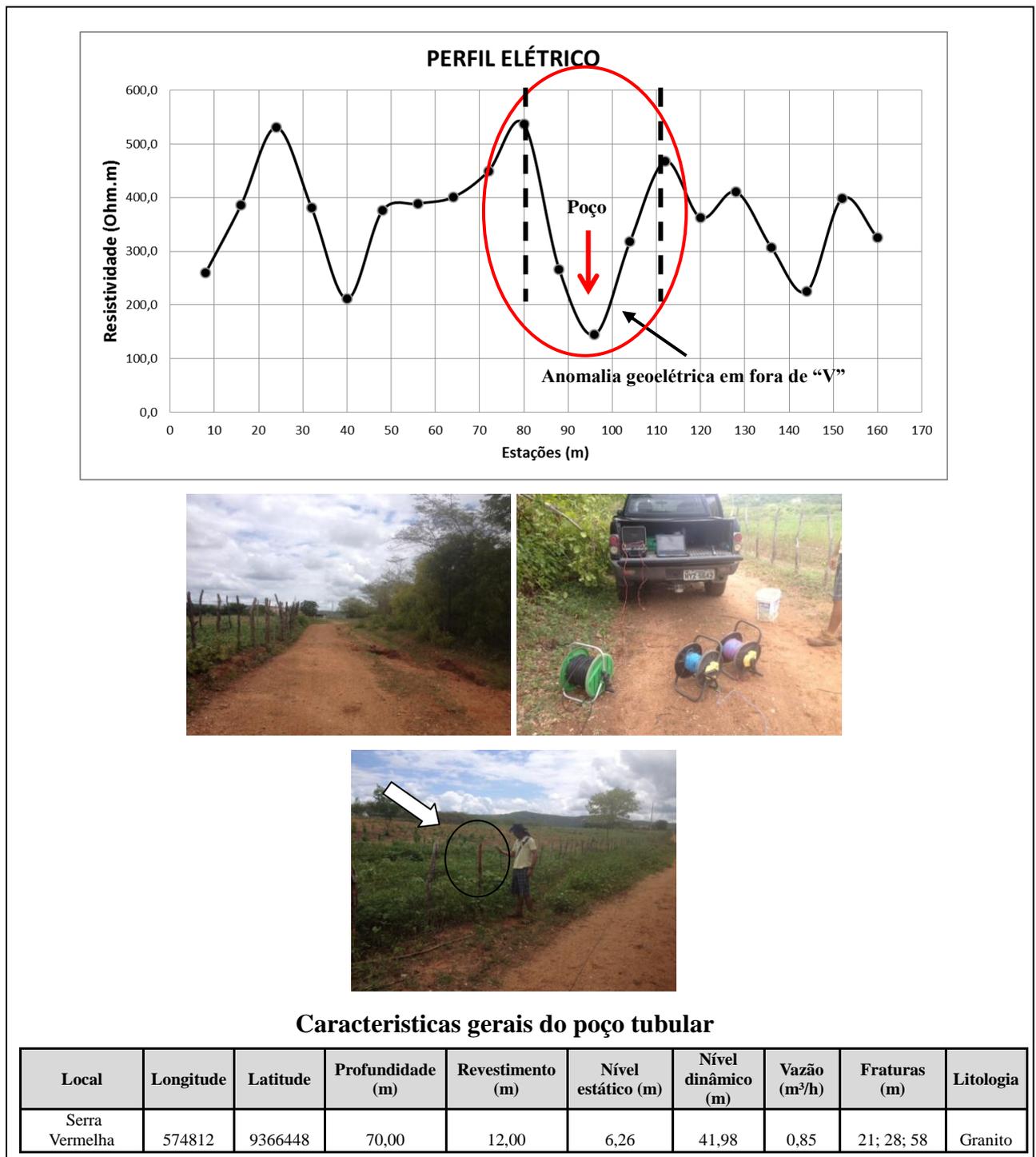
**Figura 55** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 26 - Localidade Serra Vermelha (vazão 0,85 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 160m, direção NE-SW, anomalia geolétrica em “V” (zona fraturada) localizada entre as estações 80m a 112m, com largura de 32m, resistividade 144 Ωm (Figura 56).

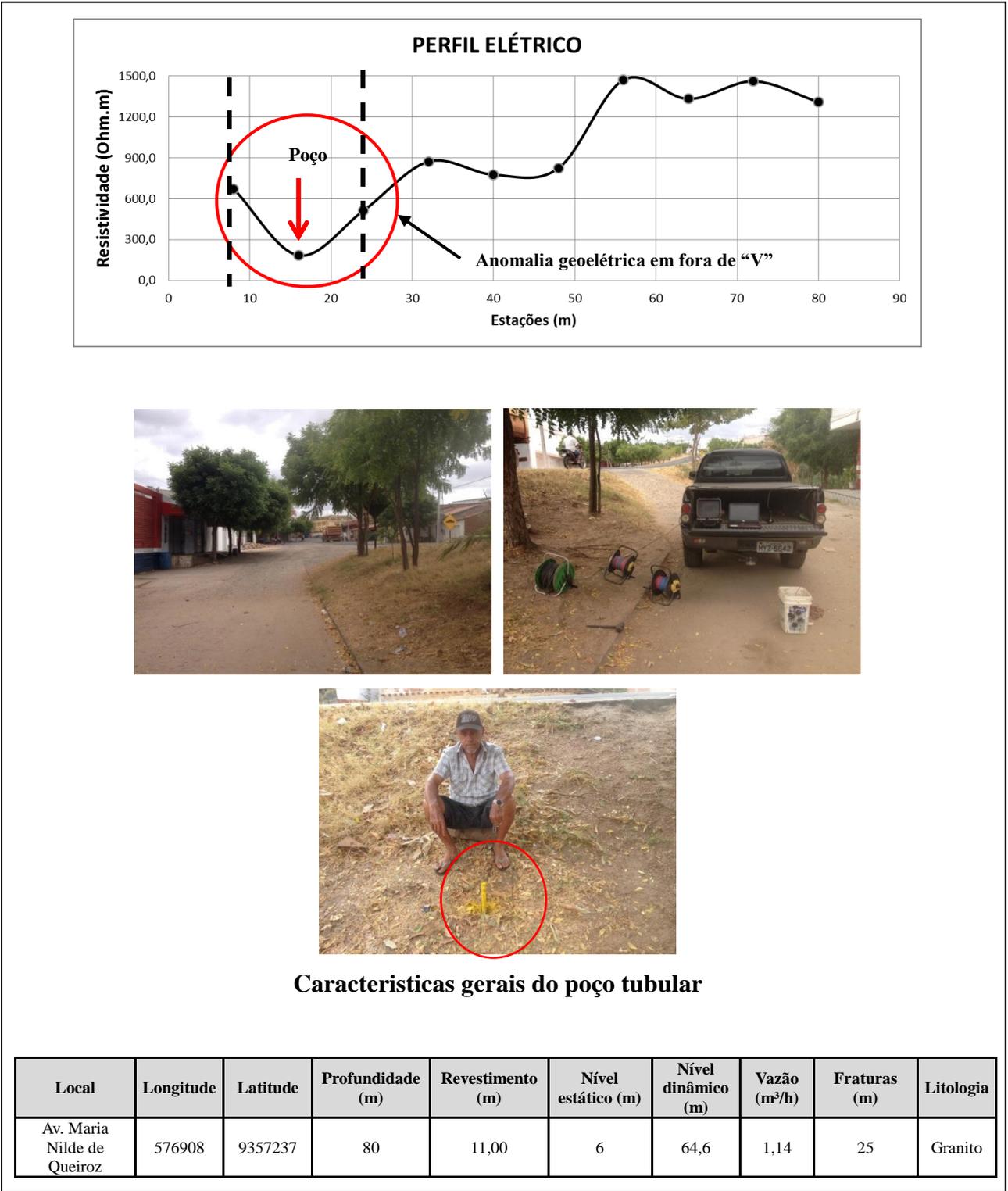
**Figura 56** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 27 - Avenida Maria Nilda de Queiroz (vazão 1,14 m<sup>3</sup>/h).**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 80m, direção NE-SW, anomalia geoeétrica em “V” (zona fraturada) localizada entre as estações 8 a 24m, largura 16m, resistividade 184 Ωm (Figura 57).

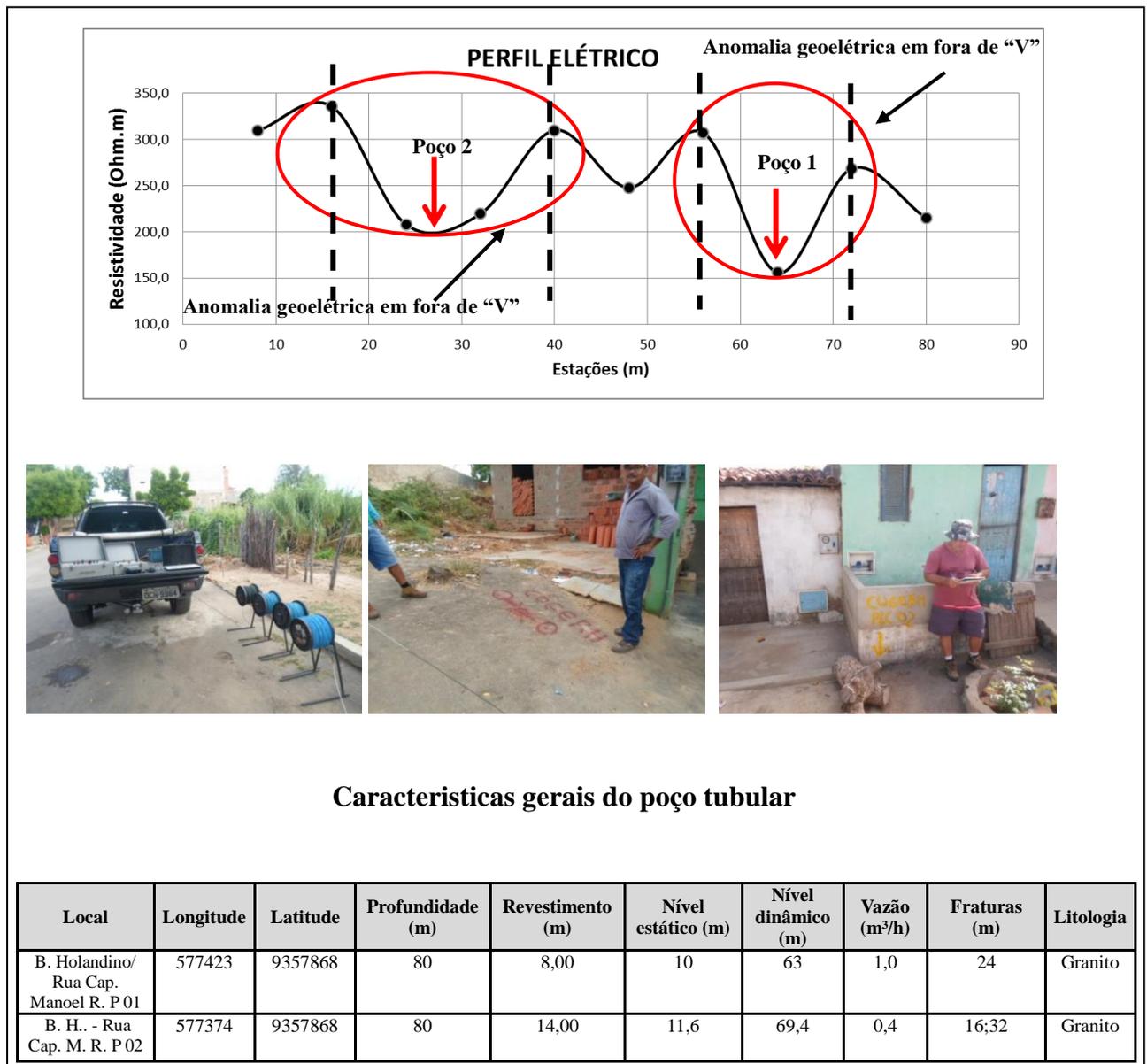
**Figura 57** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



**Perfil 28 - Bairro Holandino - Rua Capitão Manoel Rufino – Poço 01, vazão 1,0 m<sup>3</sup>/h e Poço 02, vazão 0,4m<sup>3</sup>/h.**

Perfil de resistividade em uma dimensão (1D), profundidade de investigação teórica de 60 m, extensão 80m, direção NE-SW. Poço 01 - anomalia geolétrica em “V” (zona fraturada) localizada entre as estações 8 a 32m, largura 24m, resistividade 208  $\Omega$ m, Poço 02 anomalia geolétrica em “V” (zona fraturada) situada entre 56 a 72m, largura 24m, resistividade 156  $\Omega$ m (Figura 58). Apesar do poço 01 está situado nas rochas graníticas, a anomalia geolétrica possui forma de “U”, o que pode justificar uma melhor produtividade em relação do poço 02 que apresenta forma em “V”.

**Figura 58** – Perfil mostrando a interpretação das curvas, as fotografias da geofísica e os dados do poço tubular.



## 8 CONCLUSÕES

A aplicação do método da eletrorresistividade - Arranjo Gradiente em uma dimensão (1D), utilizado para prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos nessa pesquisa, alcançou um alto índice de acerto nas locações dos poços, onde 24 (80%) são considerados produtivos com vazões entre 0,40 a 16m<sup>3</sup>/hora e apenas 6 (20%) foram improdutivos com vazão inferior a 0,40m<sup>3</sup>/h. A média das vazões dos poços construídos é de 3,56m<sup>3</sup>/h, estando acima da média das vazões de poços tubulares em terrenos cristalinos do estado do Ceará que é 2,0m<sup>3</sup>/h. Os resultados da aplicação desse arranjo comprovou a eficácia do método na locação de poços, reduzindo o tempo na execução dos perfis, devido à praticidade e rapidez na aquisição dos dados de resistividade, o que reduz os custos com hospedagem, alimentação e diárias com auxiliar de campo, tornando o método viável financeiramente no Ceará, mesmo com baixos valores pagos por cada locação.

A análise dos resultados dos poços tubulares mostrou que a vazão não depende da profundidade de perfuração do poço, mas sim, da litologia e do grau de fraturamento, quanto maior for a extensão da anomalia geoeétrica maior serão as chances de acerto nas locações e maior será a possibilidade de se encontrar poços com boa produtividade.

A partir da média da profundidade das fraturas que é de 27,64m e da análise do histograma pode-se observar que apenas 2 (4%) das fraturas ocorrem em profundidade superior aos 60 m, portanto com base nessas informações sugerimos uma profundidade ideal de 60m para construção de poços tubulares no município de Iracema, reduzindo assim o custo dessas obras de captação de água.

Através de integração das informações adquiridas nessa pesquisa foi desenvolvido um método de detecção de anomalias geoeétricas capaz de obter uma relação entre propriedades geométricas (zonas fraturadas) e propriedades hidráulicas (produtividade dos poços) do meio fissural. Essa metodologia foi fundamentada com base na análise das formas geométricas das curvas geoeétricas, dos valores de resistividade obtidos no levantamento geofísico, informações das litologias, estruturas e produtividades dos poços tubulares. Foram definidos dois tipos distintos curvas de resistividade. A primeira curva apresenta anomalia geoeétrica com geometria em forma “U” (com dois ou mais valores baixos de resistividade), onde predominam os gnaisses do Complexo Jaguaretama que apresentam extensas zonas fraturadas, associada à baixa competência e pouca resistência dessas rochas ao fraturamento devido à presença da foliação gnáissica. Os resultados da aplicação desse método mostraram

que todos os 20 poços locados nesse tipo de curvas geoeletricas são localizados nas rochas gnáissicas fraturadas e são produtivos com vazão máxima de 16m<sup>3</sup>/h. O segundo tipo de curva apresenta anomalia geoeletrica com geometria em forma “V” (com apenas um valor de baixa resistividade), que prevalecem nas rochas graníticas dos Plúton Pereiro e Plúton Sem Denominação, apresentando estreitas zonas fraturadas associadas provavelmente a alta competência e elevadas resistências dessas rochas ao fraturamento. Os resultados mostraram que todos os 10 poços locados nesse tipo de curvas são localizados nas rochas graníticas e que 6 deles foram considerados improdutivo com vazão inferior a 0,40m<sup>3</sup>/h. Após essas informações podemos afirmar que as anomalias geoeletricas em “U” tiveram melhores resultados em relação a locação hidrogeológica.

O desenvolvimento desse método permitiu identificar que análise da geometria das anomalias geoeletricas é mais importante que os valores de resistividade para interpretação de perfis em uma dimensão, justificando que alguns poços apresentaram baixos valores de resistividade, porém as curvas geoeletricas exibiram forma em “V” indicando do ponto de vista geológico uma estreita zona fraturada o que proporcionou uma baixa vazão nesses poços.

A correta aplicação desse Método Geofísico, seguindo os critérios previamente definidos, a exemplo de executar os perfis em áreas onde ocorrem rochas gnáissicas fraturadas e seguindo uma direção paralela a sua foliação (NE-SW) cruzando fraturas abertas de direção W-E, integrado a aplicação do método de detecção de anomalias geoeletricas desenvolvido nesse trabalho permitiu obter melhores resultados em relação à produtividade e aumentando o índice de acerto das locações desses poços tubulares. Os resultados das locações dos poços mostraram que o município de Iracema/CE, possui um bom potencial hídrico em rocha cristalina fraturadas com vazão média de 3,56m<sup>3</sup>/h.

Salientamos que a locação de poços em terrenos cristalinos é uma tarefa complexa, exigindo do geólogo não só um conhecimento prático do manuseio de equipamentos e domínio na aplicação de arranjos geoeletricos, mas também de um conhecimento geológico e hidrogeológico da região. Ressalta-se também que existem métodos e equipamentos mais modernos para locações de poços, como a Tomografia Elétrica (ou Imageamento Elétrico) 2D, 3D e 4D, com sistemas de aquisição automática de dados, a técnica se baseia em um número grande de medições de resistividade elétrica, usando diferentes arranjos de elétrodos. As informações são processadas e o resultado é apresentado na forma de imagens bi e tridimensionais de resistividade verdadeiras, em função da profundidade, com alta resolução.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES B. B.; FUCK R.A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Science Reviews**. s.I. 17(1-2):1-29, 1981.

AMARAL, W.S, SANTOS, T.J.S. e WERNICK, E. **Occurrence and geochemistry of metamafic rocks from the Forquilha Eclogite Zone, central Ceará (NE Brazil): Geodynamic implications.** (*Special Issue*) *Geological Journal* (DOI: 10.1002/gj.1224), 2010.

BORTOLIN, J.R.M. **Monitoramento temporal da pluma de contaminação do aterro controlado de Rio Claro (SP) por meio do método da eletrorresistividade.** Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, SP, 2009.

BRAGA, A. C. O. **Métodos da Eletrorresistividade e Polarização Induzida Aplicados nos Estudos da Captação e Contaminação de Águas Subterrâneas: Uma Abordagem Metodológica e Prática.** Tese de Livre-Docência na disciplina Métodos Geométricos Aplicados á Hidrogeologia do Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista – Unesp, 2006. 121p.

BRAGA, A. C. O. **Métodos geométricos aplicados: módulo: hidrogeologia.** Rio Claro/SP: UNESP/IGCE/DGA, 2001. 91p.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J. e VAN SCHMUS W.R. **Tectonic history of the Borborema Province.** In: *Cordani, U. G.; Milani, E. J.; Thomaz Filho, A.; Campos, D. A. (eds.). Tectonic Evolution of South America.* 31th International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, 2000. p. 151-182.

BRITO NEVES, B. B.; CAMPOS NETO, M.C.; FUCK, R. A. **From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage.** *Episodes* 22:155-166. 1999.

BRITO NEVES B.B., VAN SCHMUS W.R., SANTOS E.J. e CAMPOS NETO M.C. **O Evento Cariris Velhos na Província Borborema; integração de dados, implicações e perspectivas.** *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4): 279-296, 1995.

BUTLER, D. K. **Near - Surface Geophysics: Investigations in Geophysics.** Tulsa: Society of Exploration Geophysics SEG. No. 13, 2005. 732p.

CAMPOS, A. F. **Utilização de métodos geométricos na caracterização de rochas fraturadas. Estudo de caso nos arenitos do Grupo Itararé - Bacia do Paraná.** Dissertação de Mestrado – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. 104p.

CAVALCANTE J.C.; VASCONCELOS A.M.; MEDEIROS M. F. e PAIVA I.G. **Mapa Geológico do Estado do Ceará.** Ed. CPRM. Fortaleza, 2003.

CAVALCANTE, J. C. **Limites e evolução geodinâmica do sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1999. . 183 p.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Sistema de Informação de Águas Subterrâneas. Banco de Dados Mantido pela CPRM.** Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout>. Acesso em: 18 jan. de 2019

CORIOLOANO, A. C. F. **Reavaliação de Critérios Estruturais na Hidrogeologia de Terrenos Cristalinos, com Ênfase na Neotectônica e Sensoriamento Remoto.** 2002. 199 f. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

DANTAS E.L., VAN SCHMUS W.R., HACKSPACHER P.C., FETTER A., BRITO NEVES B.B., CORDANI U.G., NUTMAN A.P. e WILLIAMS I.S. **The 3.4-3.5 Ga Sao José do Campestre massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust in South America. Precambrian.** Research, 130:113-137, 2004.

DANTAS, E.L., NEGRÃO, M.M., BUHN, B. **2,3 Ga continental crust generation in the Rio Grande do norte terrane, NE-Brazil** (VI SSAGI, San Carlos Bariloche, 2008). Book of Abstracts. In: VI South American Symposium on Isotope Geology. pp. 40. also in CD rom, 2008.

FETTER, A. H.; SANTOS, T. J. S.; VAN SCHMUS, W. R.; HACKSPACHER, P. C.; BRITO NEVES, B. B.; ARTHAUD, M. H.; NOGUEIRA NETO, J. A.; WERNICKA, E. **Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of West Gondwana.** Gondwana Research, 6(2) :265-273. 2003.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Boletim diário de níveis dos açudes.** Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acesso em: 13 de abr. de 2018.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Levantamento geofísico integrado para exploração de água subterrânea no Cristalino.** Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acesso em: 20 de maio de 2018

GRIFFITHS, D. H. & KING, R. F. **Geofísica Aplicada para Ingenieros y Geólogos.** Madrid : Paraninfo, 1972. 231p.

IPECE. **Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica no Estado do Ceará.** Disponível em <http://www.ipece.ce.gov.br>. Acesso em 3 de dez. de 2018.

LAGO, A. L. **Investigação geofísica 2D e 3D com aplicação em meio ambiente: estudos sobre uma área de disposição de óleo lubrificante no município de Ribeirão Preto-SP.** Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2009. 194p.

LEMOS, E. C. L & MEDEIROS, F. W. - 2006. **Águas Subterrâneas e as Doenças de Veiculação Hídrica. Área Piloto: Bairros Bom Jardim e Granja Portugal – Município de Fortaleza / CE.** Relatório de Graduação. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE. 93p.

MAGINI, C., HACKSPACHER, P. C. **Geoquímica e ambiência tectônica do arco magmático de Pereiro, região NE da Província Borborema.** São Paulo: Revista Brasileira de Geociências 38, 336-355, 2008.

MARTÍN-LOECHES, M.; ALAMINOS, C.; REYES, J. **Metodología de prospección hidrogeológica y puesta en servicio de pozos perforados con bomba manual. Aplicación en la región cristalina de Caimbambo (Benguela, Angola).** M+A. Revista Electrónica de Medio Ambiente, Volumen 16, número 1: 13 – 33, 2015.

OLIVEIRA, M.A.S. **Aplicabilidade do Método Geofísico de Eletrorresistividade na Pesquisa de Água Subterrânea em Rochas Cristalinas na Região de Conceição do Coité-BA.** Monografia de final de curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências. Orientadora: Profa. Dra. Susana Silva Cavalcanti. 2011. 67p.

ORELLANA, E. **Prospection geoelectrica en corriente continua.** Paraninfo S.A. Madrid : Paraninfo, 1972.

Parente C. V. & Arthaud M. H. **O sistema Orós-Jaguaribe no Ceará, NE do Brasil.** Revista Brasileira de geologia, 25(4) 297-306. 1995.

PEREIRA, C. M. A. **mapeamento de Aquíferos Fraturados Empregando Métodos Geoelétricos e Emissão Natural de Radônio.** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2009. 63p.

PINÉO, T. R. G. **Integração de dados Geofísicos, Geológicos e de Sensoriamento Remoto aplicado à Prospeção de água subterrânea em meio fissural (Distrito de Juá, Irauçuba/CE).** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, 2005. 126p.

PINHEIRO, A. F. C.; PINHO, E. A. – **Mapeamento Geológico e as Águas Subterrâneas do Município São João do Jaguaribe – Ceará. (Monografia de Graduação).** Fortaleza: Departamento de Geologia – UFC, 2015. 498p.

REYNOLDS JM. **An introduction to Applied and Environmental Geophysics.** John Wiley & Sons, New York NY, USA, 1997. 796 p.

SÁ, H. S. **Imageamento Elétrico para Auxílio na Locação de Perfuração de Poços Tubulares – Estudo de Casos em Aquíferos Fraturados.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2017. 57p.

Sá, J.M., McCreath, I., Letterrier, J., 1995. **Petrology, geochemistry and geodynamic setting of Proterozoic igneous suites of the Orós fold belt (Borborema Province, Northeast Brazil).** J. South Amer. Earth Sc., v. 8, pp 299-314.

SÁ, J.M. **Evolution géodynamique de la ceinture protérozoïque d'Orós, Nord-Est du Brésil.** Doctoral thesis, Université de NANCY, FRANCE, 1991. 117P.

SANTOS, E. J.; BRITO NEVES, B. B. **Província Borborema.** In: Almeida, F. F. M.; Hasui, Y. (Coord.). **O Pré-Cambriano do Brasil.** São Paulo: Edgar Blucher, p. 123-186. 1984.

SHARMA, P. V. **Environmental and Engineering Geophysics.** Cambridge University Press,

Cambridge, 1997. 475 p.

**SHERIFF R. E.** Geophysical Methods – Prentice Hall, 1989. 605 p.

SRH. SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Atlas eletrônica dos Recursos Hídricos do Ceará.** Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/>>. Acessado em: 10 de julho de 2018.

SOHIDRA. SUPERINTENDÊNCIA DE OBRAS HIDRÁULICAS. **Banco de Dados de poços tubulares do Ceará,** Fortaleza. Acesso em 20 ago. de 2018.

SOUSA, G. B. **Prospecção de água subterrânea no município de Piçarra-PA usando VLF e resistividade.** Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011. 70p

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. E KEYS, D. A. **Applied Geophysics,** Cambridge Un. Press, Cambridge, 1990.