



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOFÍSICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AUGUSTO CESAR LOBO BARBOSA JUNIOR

**INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA COM O MÉTODO DA
ELETRORESISTIVIDADE (SEV) NA CIDADE DE AUGUSTO CORRÊA - PA**

Belém - Pará

2013

AUGUSTO CESAR LOBO BARBOSA JUNIOR

**INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA COM O MÉTODO DA
ELETRORESISTIVIDADE (SEV) NA CIDADE DE AUGUSTO CORRÊA - PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção de Bacharel em Geofísica.

Orientador: José Geraldo das Virgens Alves.

Belém - Pará

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Barbosa Junior, Augusto Cesar Lobo

Investigação geofísica de água subterrânea com o método da eletrorresistividade (SEV) na cidade de Augusto Corrêa – Pa / Augusto Cesar Lobo Barbosa Junior; Orientador: José Geraldo das Virgens Alves– 2013

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geofísica, Belém, 2013.

1. Prospecção -Métodos geofísicos2. Sondagem elétrica vertical. 3. Perfilagem. 4. Sistema de Ponteiros. I. Alves, José Geraldo das Virgensorient. II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22^a ed.: 622.15

AUGUSTO CESAR LOBO BARBOSA JUNIOR

**INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA COM O MÉTODO DA
ELETRORESISTIVIDADE (SEV) NA CIDADE DE AUGUSTO CORRÊA - PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará-UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção de Bacharel em Geofísica.

Data de Aprovação: 27/03/2013

Conceito: BOM

Banca Examinadora

Prof. José Geraldo das Virgens Alves –Orientador
Mestre em Geofísica
Universidade Federal do Pará

Prof. Cristiano Mendel Martins– Membro
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará

Prof. Carolina Barros– Membro
Doutora em Geofísica
Universidade Federal do Pará

*A minha família,
Eterna gratidão.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela dádiva da vida e a Nossa Senhora de Nazaré por sua intercessão nos momentos em que precisei.

A minha família que sempre me apoiou nesta caminhada desde a infância, por isso faço questão de compartilhar com eles minha vitória.

Ao meu orientador, professor José Geraldo das Virgens Alves, por todo apoio e paciência durante o curso, em especial no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos da turma de 2009 pelos 4 anos de alegria e amizades para todas as horas.

Ao técnico e amigo Paulo Magalhães por toda a ajuda e pelos conhecimentos e experiências passadas.

A turma de 2010, por sua ajuda na aquisição dos dados durante a disciplina de GTII.

A todos os amigos e professores do ensino médio da escola Centro Educacional Olimpus, por todos os bons momentos vividos e experiências compartilhadas.

*Há duas formas para viver a sua vida:
Uma é acreditar que não existe milagre.
A outra é acreditar que todas as coisas são um milagre.*

Fernando Pessoa

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um estudo geofísico, através do Método Elétrico, na modalidade de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), para investigar a subsuperfície rasa da sede do Município de Augusto Corrêa, a fim de delimitar aquíferos, visando indicar novas áreas de captação para atender a proposta de ampliação do sistema de abastecimento de água na cidade. O estudo foi realizado em ruas envolvendo tanto as áreas antigas de captação como os novos bairros advindos da recente expansão urbana. Como dado inicial, foi usada uma perfilagem corrida em um furo de 120 metros que identificou somente 25 metros de sedimentos areno/argilosos sobre um pacote de folhelho contínuo até o fim do furo. Com as sondagens, ficou definido que o topo do pacote de folhelho varia de 24 até 36 metros de profundidade, correspondente a um substrato local condutivo e impermeável. Acima desse substrato ocorre uma camada arenosa, friável, de espessuras variando de 5.8 até 16.7 metros e resistividades de 89 ohm.m até 2297 ohm.m que deve conter o aquífero confinado local. Sobre essa camada arenosa uma camada bastante condutiva com resistividades em torno de 2 a 5 ohm.m, que deve corresponder a um pacote argiloso ou de matéria orgânica localizado nas porções Nordeste, Leste e Sul da área. Nesse mesmo horizonte, a Oeste, a camada é areno-argilosa que deve conter o aquífero freático local. E acima vem a cobertura com solos areno-argilosos. Para delimitar o aquífero confinado usou-se um critério de extensão lateral considerando-se apenas as porções da camada arenosa com resistividades entre 500 e 2200 ohm.m. e, tomou-se como substrato para a área, o topo de todas as camadas condutivas, gerando, também, uma base para o aquífero e uma delimitação para novas áreas da captação. O aquífero, embora raso, deve ser usado para ampliação dos sistemas de abastecimento local, posicionando-se os furos em área dentro dos critérios estabelecidos e propostos através de sistema de ponteira

Palavras-chave: Prospecção - Métodos geofísicos. Sondagem elétrica vertical. Perfilagem. Sistema de Ponteiras.

ABSTRACT

We have developed a geophysical study by the Electrical Method, in the form of vertical electrical sounding (VES) to investigate the shallow subsurface of the seat of the municipality of Augusto Corrêa, in order to delineate aquifers in order to indicate new catchment areas to meet the proposed expansion of the water supply system in the city. The study was conducted in the streets involving both former catchment areas as new neighborhoods arising from recent urban expansion. As initial data, we used a profiling run into a hole of 120 meters which identified only 25 meters of sandy silt / clay on a package of shale continue until the end of the hole. With the polls, it was determined that the top of the package shale ranges from 24 to 36 feet deep, corresponding to a conductive substrate site and waterproof. Above that is a layer substrate sandy, crumbly, with thicknesses ranging from 5.8 to 16.7 meters and resistivity of 89 ohm m to 2297 ohm.m which should contain the confined aquifer site. On this sandy layer with a layer conductive enough resistivities around 2-5 ohm m, which must correspond to a package of clay or organic matter located in the northeastern portions, and South East area. That same horizon, the West, the layer is sandy loam which should contain the groundwater aquifer site. And up comes the cover with sandy-clay soils. To delimit the confined aquifer was used as a criterion for lateral extension considering only the portions of the sandy layer with resistivity between 500 and 2200 ohm.me, was taken as substrate for the area, the top of all conductive layers, generating, Also, a base and an aquifer for the delimitation of areas for further abstraction. The aquifer, although shallow, should be used to expand the local supply systems, positioning itself in the holes within the area proposed criteria and through ferrule system.

Keywords: Prospecting - Geophysical methods. Vertical electric sounding. Profiling. System Tip.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Localização de Augusto Corrêa no Estado do Pará.....	13
Figura 02 – Rota de acesso para Augusto Corrêa	14
Figura 03 – Mapa geológico do NE do Estado do Pará	15
Figura 04–Ilustração dos Arranjos Schlumberger e Wenner.....	18
Figura 05–Esquema de funcionamento de medição de Raios Gama.	20
Figura 06–Representação esquemática do comportamento do Perfil de Potencial.....	21
Figura 07 –Esquema de funcionamento da medição de Resistência Elétrica	22
Figura 08 –Equipamento ResistivímetroGeotest.	23
Na figura abaixo tem-se as disposições das SEV´s mostrando as áreas da cidade de Augusto Corrêa onde foram realizadas as Sondagens elétricas verticais (SEV´s).	24
Figura 09 –Mapa da área com a localização das SEV's	24
Figura 10 –Interpretação da Perfilagem	25
Figura 11 –Gráfico contendo todas as SEV's.....	27
Figura 12 – Secção Geo-elétricas (a) Seção 1: S7-S4-S3-S6; (b) Seção 2: S7-S5-S3-S6;(c) Seção 3: S7-S5-S9-S8.....	30
Figura 13 – Critério de delimitação vertical e lateral do aquífero.....	31
Figura 14 – Mapa de contorno de delimitação da base do aquífero.....	32
Figura 15 – Mapas de contorno do topo do embasamento(verde) e espessuras dos aquíferos (rosa),com a indicação da área para construção da nova rede de abastecimento.	33
Figura 16 – Mapa com a Área ótima do aquífero. (hachurada)	34

LISTA DE TABELA

Tabela 1 –Modelos obtidos	28
---------------------------------	----

SUMÁRIO

1INTRODUÇÃO	12
2 LOCALIZAÇÃO	13
3 ACESSO	14
4 GEOLOGIA E RELEVO.....	15
5HIDROGRAFIA	16
6MÉTODOS GEOFÍSICOS.....	17
6.1 SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL (SEV).....	17
6.2 PERFILAGEM GEOFÍSICA.....	19
6.2.1 Registro de raios gamas.....	19
6.2.2 Perfil de potencial espontâneo (SP)	20
6.2.3 Perfil de resistência elétrica.....	21
7DADOS DO LEVANTAMENTO GEOFÍSICO	23
7.1 SONDAGENS ELETRICAS VERTICAIS (SEV)	23
7.2 PERFILAGEM	25
8ANÁLISE DOS RESULTADOS	26
8.1 CURVAS DE SONDAGENS – SEV’S	26
8.2 SECÇÕES GEO-ELÉTRICAS.....	28
9CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	35
REFERÊNCIAS.....	36
ANEXOS	37
ANEXO A – PERFILAGEM	38

1 INTRODUÇÃO

Um dos fortes indicadores do subdesenvolvimento é a qualidade da água distribuída à população. No Brasil, o índice de saneamento e abastecimento público de água nas regiões urbanas limita-se a apenas partes das grandes cidades. A maioria das vilas e pequenas cidades não possuem um sistema de captação, tratamento e distribuição de água, ou quando tem, o sistema é incipiente e de atendimento parcial. Nessas localidades, geralmente, o abastecimento é feito direto da fonte para a rede de distribuição, mesmo sendo a fonte superficial.

Na cidade de Augusto Corrêa, localizada no nordeste paraense, não é diferente e, com o recente crescimento da cidade, esse problema de abastecimento vem se agravando. Lá, a captação de água da COSANPA se dá pelo sistema chamado de ponteiras, que é um sistema geralmente utilizado onde os aquíferos são rasos e de pequena espessura e agrupa vários poços rasos interligados a uma bomba. Neste caso, a captação da COSANPA tem 10 poços, com profundidade média de 8 metros, bombeando água para a cisterna. A água é distribuída diretamente na rede para apenas parte do centro da cidade e somente em duas oportunidades por dia. A situação piora no período de estiagem, quando a vazão dos poços cai para menos da metade.

Com a intenção de ampliar o abastecimento, a Prefeitura está construindo um grande reservatório para atender as partes norte e noroeste da cidade. Também, construiu um pequeno poço (18m, 4mm), que no período de realização deste trabalho estava em teste de bombeamento.

O problema pode ser observado a partir de uma perfilagem corrida em um poço profundo (120 metros) realizada em 15/12/2002, a qual mostra uma cobertura sedimentar de pequena espessura, em torno de 25 metros, sobre um embasamento de rocha sedimentar (folhelho) de grande espessura que vai além da profundidade do poço perfurado. Isso, conseqüentemente, significa um grande problema hidrogeológico, pois resta uma pequena espessura da cobertura, que mesmo com sedimentos friáveis não pode oferecer, portanto, potencial hídrico para o abastecimento em grande escala a partir de um único poço.

A proposta do trabalho geofísico é justamente investigar a variação lateral das camadas de sedimentos dessa cobertura, identificar e delimitar zonas aquíferas para indicar novas áreas de captação, onde a Prefeitura possa construir poços.

2 LOCALIZAÇÃO

Augusto Corrêa é um município do nordeste do Estado do Pará, zona bragantina. Localiza-se na latitude 01°01'18" S e a uma longitude 46°38'06" W, estando a uma altitude media de 20 metros. Possui uma área 889,279 km² e sua população, em 2010, era de 40.435 habitantes.

Figura 01 – Localização de Augusto Corrêa no Estado do Pará



Fonte: Modificado de Mapa do site wWikipedia. (2013).

3 ACESSO

Para chegar ao Município de Augusto Corrêa, saímos de Belém pela Rodovia Federal – BR- 316, até o município de Capanema. Segue-se viagem pela Rodovia Federal – BR- 308 até o município de Bragança. A partir daí, segue-se numa estrada estadual que leva até Augusto Corrêa, distante cerca de 15 Km de Bragança.

Figura 02 – Rota de acesso para Augusto Corrêa



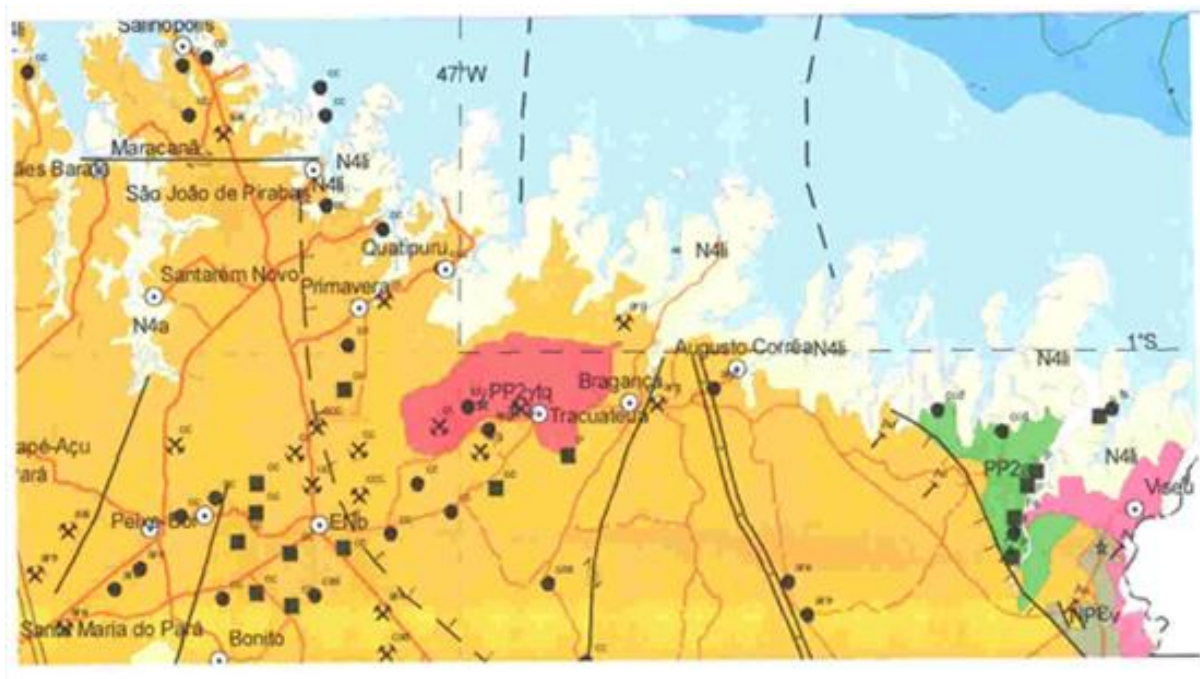
Fonte: Figura modificada do site Wikipedia.

4 GEOLOGIA E RELEVO

O arcabouço geológico do Município de Augusto Corrêa é caracterizado, predominantemente, por sedimentos de idade terciária que constituem a Formação Barreiras (arenitos, argilitos caolíticos e siltitos), compondo cerca de 90% de seu território, e por sedimentos inconsolidados do Quaternário Antigo e Recente, estes posicionados, preferencialmente, em torno da faixa litorânea, constituída das áreas de praias e zonas inundáveis. O município está localizado sobre a borda da bacia Bragança- Vizeu, sendo o embasamento constituído de rochas da Formação Chega Tudo do Grupo Gurupi.

A simplicidade geológica reflete-se, diretamente, em suas formas de relevo, apresentando, ao norte, planícies litorâneas e flúvio-marinhas, onde predominam feições, como praias, dunas e falésias. As falésias foram esculpidas sobre rochas de Formação Barreiras, que se estendem para as porções centro e sul do Município, onde predominam feições tabuliformes, com dissecação em forma de colinas de topo aplainado, com vales pouco profundos. Esse conjunto de caracteres está inserido, regionalmente, nas unidades morfoestruturais do Planalto Rebaixado da Amazônia (Zona Bragantina), Litoral de “Rias” e Lençóis Maranhenses.

Figura 03 – Mapa geológico do NE do Estado do Pará



Fonte: Do autor

5 HIDROGRAFIA

A característica principal a sua hidrografia é a de conter, em seu território, portentosas e amplas baías litorâneas, para onde converge toda a intensa rede de drenagem do Município.

A noroeste destaca-se a Baía do Caeté, que recebe, neste quadrante, os rios: Caeté, limite ocidental com Bragança; Urumajó, que banha a sede municipal, próximo de sua foz, e que tem como principal afluente, pela margem esquerda, os rios Tijoca e Aturaí, na porção central, cujas nascentes estão contidas no Município.

A nordeste destacam-se as baías do Emboraí, do Chum e do Camará-Açu. Para a primeira, dirigem-se os rios Emboraí, que secciona a porção central do município com direção geral Sul/Norte, e Araí, que guarda certo paralelismo com o Emboraí. Para a bacia do Chum, dirige-se o Rio Emboranunga, limite natural oriental, com o município de Viseu.

Destaca-se, ainda, no contexto hidrográfico de Augusto Corrêa, a presença de numerosas e importantes ilhas, tais como: Coroa Comprida, Ponta do Cardoso, Ponta do Rodrigo, Camará-Açu ou do Meio e da Coroa Seca.

Os cursos de água doce sem influência da maré têm comportamento sazonal, alagando grandes áreas no período chuvoso, mas tornam-se quase secos no período de estiagem. O mais próximo, cerca de 9 km é o Rio Anoirá e, depois, as nascentes do Rio Emboraí, que fica a 27Km do Município de Augusto Corrêa, no Ramal da Vila de Nova Olinda.

6 MÉTODOS GEOFÍSICOS.

Neste trabalho, a investigação da subsuperfície foi realizada com o método geofísico de eletrorresistividade (SEV) através do arranjo Schlumberger (Figura 4), devido seus baixos custos e resultados expressivos em pesquisas hidrogeológicas. Também, fez-se uso de uma perfilagem geofísica corrida em um furo de 120 metros na área da cidade.

6.1 SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL (SEV).

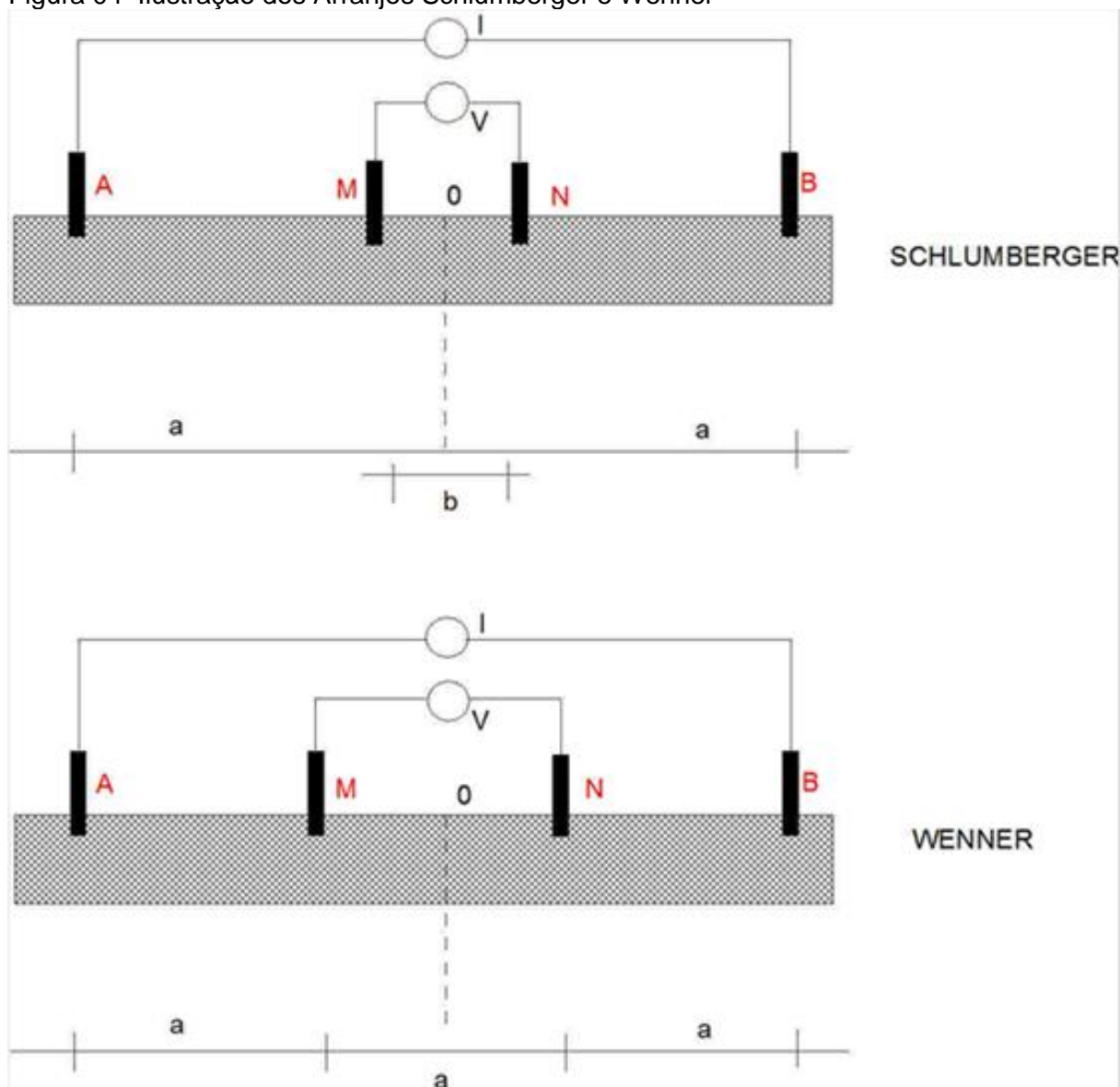
O método da eletrorresistividade consiste basicamente em injetar corrente contínua (ou de baixa frequência) no solo através de dois contatos galvânicos chamados eletrodos de corrente, os quais são comumente denominados de eletrodos **A** e **B** pela literatura, e medir a diferença de potencial através de mais dois contatos galvânicos denominados eletrodos de potencial, também chamados de eletrodos **M** e **N**.

Este método está fundamentalmente baseado na Lei de Ohm. Ao conhecermos a corrente contínua i injetada na superfície, a diferença de potencial ΔV e o valor de k previamente tabelado para cada uma das disposições dos contatos galvânicos **A**, **B**, **M** e **N** poderemos calcular os valores de resistividade aparente ρ_a dos materiais em subsuperfície. Considerando que o meio é homogêneo e isotrópico, a resistividade é calculada pela eq. 1:

$$\rho_a = \frac{k \Delta V}{i} \quad (1)$$

A técnica Sondagem Elétrica Vertical (**SEV**) é aplicada quando se deseja uma informação da variação vertical da resistividade, onde as posições dos eletrodos de corrente são regular e simetricamente expandidos com relação ao ponto investigado. Os valores de resistividade aparente são calculados fornecendo a curva de resistividade aparente, a qual é interpretada quantitativamente, de modo direto e inverso, através de softwares dedicados. Os modelos resultantes das sondagens podem gerar seções geo-elétricas, as quais podem ser associadas à seção dos estratos geológicos da subsuperfície.

Figura 04—Ilustração dos Arranjos Schlumberger e Wenner



Fonte: Do Autor

A eq. 2 e a eq. 3 representam a resistividade aparente (ρ_a) do meio em subsuperfície para o levantamento com arranjo Schlumberger e para o levantamento com o arranjo Wenner, respectivamente.

$$\rho_a = \frac{\pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \Delta V}{i} \quad (2)$$

$$\rho_a = \frac{2 \pi a \Delta V}{i} \quad (3)$$

6.2 PERFILAGEM GEOFÍSICA

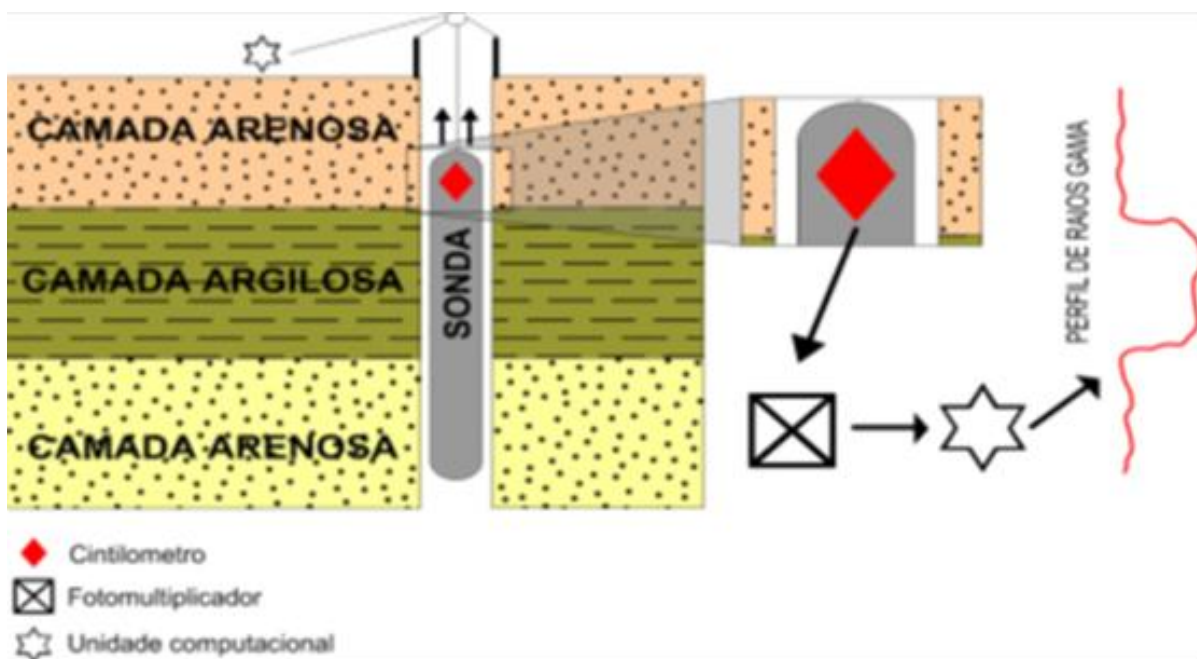
A perfilagem geofísica de poços consiste, essencialmente, no estudo das variações com a profundidade de certos parâmetros físicos das formações geológicas atravessadas pela perfuração. A medição dos parâmetros petrofísicos é feita através de modernas ferramentas, compostas de diversos sensores num movimento ascensional, constante e uniforme, no interior do furo, assim chamadas de “sondas ou ferramentas de perfilagem”. Os sensores emitem, a depender do tipo, corrente elétrica, som ou radioatividade para as rochas e captam sinais de volta dessas mesmas rochas. Estes sinais sobem para a superfície, através dos condutores do cabo da sonda, para processamento na superfície, na unidade de aquisição, onde existem painéis dotados de complexos circuitos eletro-eletrônicos de aquisição, medição, conversão e registro dos sinais provenientes dos sensores e gravação em computador. Para poços de água, é comum executar os registros de Raios Gama Natural (RG), Potencial Espontâneo (SP), Resistência ou Resistividade.

6.2.1 Registro de raios gamas

A radiação gama interage com as rochas de diversas formas, no entanto a mais importante delas, para a perfilagem geofísica, é o espalhamento, conhecido como Efeito Compton. O perfil de radiação gama pode ser utilizado como um indicador tanto quantitativo quanto qualitativo do conteúdo argiloso presente nas rochas, desde que a sua radioatividade dependa exclusivamente do teor de argilomineral presente na rocha.

Com perfil de raios gama é possível diferenciarmos os folhelhos e/ou argilas dos demais tipos litológicos. Uma característica importante na aquisição do perfil de raio gama é que podem ser adquiridos em poços já revestidos; os raios gama de nível energético médio perdem apenas a metade de sua intensidade ao atravessar um tubo de meia polegada de aço e perdem menos ao atravessar tubos plásticos. Como o perfil de raios gama diferencia folhelho ou argila dos arenitos, podemos utilizá-lo como um indicador do teor de folhelho ou argilosidade da rocha, que indica as porções (camadas) fechadas ou impermeáveis .

Figura 05—Esquema de funcionamento de medição de Raios Gama.

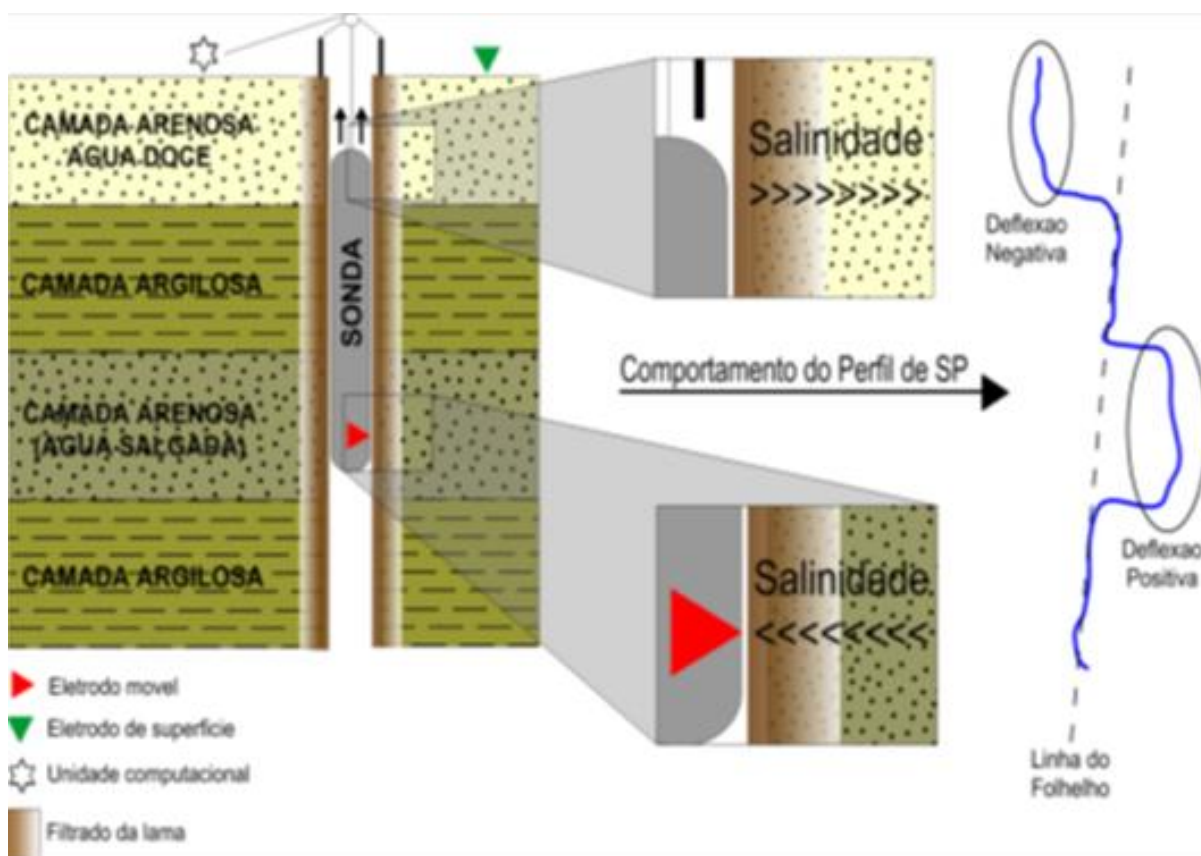


Fonte: Freimann, TCC 2012

6.2.2 Perfil de potencial espontâneo (SP)

O perfil SP é um potencial eletroquímico que ocorre basicamente quando uma camada permeável (areia ou arenito) está concordante com outra camada impermeável (argila). A medida deste perfil é obtida com um eletrodo dentro do poço e outro na superfície, a unidade usada no SP é o milivoltem relação a profundidade em metros (mv/m). Os pacotes de argila produzem valores de SP muito invariantes tendenciando a seguir uma linha reta denominada de “linha de folhelho”. As rochas capazes de armazenar água produzem deflexões em relação à linha do folhelho que variam tanto para esquerda quanto para direita a depender da salinidade relativa do filtrado da lama para a água da formação. Se o filtrado for mais salgado que a água intersticial a deflexão é para direita, e a deflexão é para esquerda quando a água intersticial for mais salgada que o filtrado. O potencial espontâneo é bastante usado para correlacionar estratos, determinar espessuras de camadas, identificar zonas permeáveis, bem como identificação de água salgada.

Figura 06–Representação esquemática do comportamento do Perfil de Potencial.



Fonte: Freimann, TCC 2012

6.2.3 Perfil de resistência elétrica.

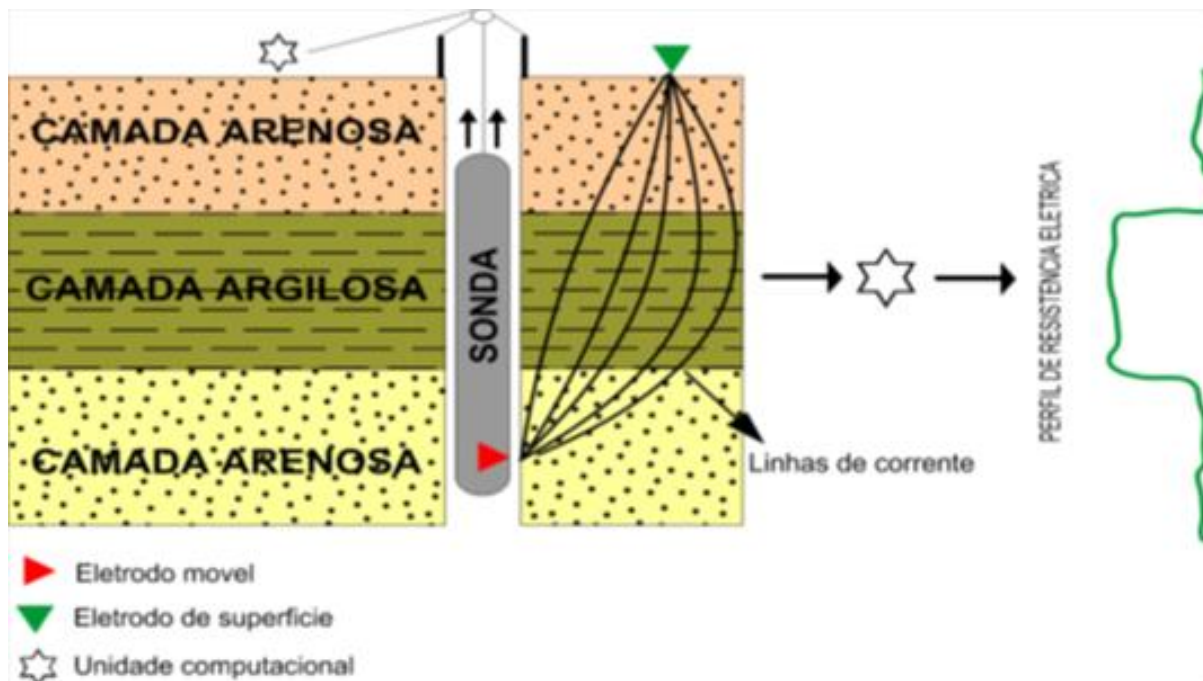
O perfil de resistência elétrica registra os valores de resistência das camadas geológicas em relação a profundidade, ou seja, ele mede a capacidade que uma rocha tem de conduzir eletricidade. As medidas são obtidas com um eletrodo no interior do poço e outro em superfície, o registro é feito de modo contínuo e sua unidade é em ohm.

A interpretação das medidas adquiridas é basicamente qualitativa, visto que com o sistema usado não pode-se obter valores absolutos de resistividade, isto é, com os valores medidos podemos apenas ter uma ideia se uma camada é mais ou menos resistiva que outra.

Como as argilas possuem valores de resistividade baixos em relação as areias e arenitos, os altos valores no perfil de resistência podem estar relacionados em geral com a areia, já os baixos valores de resistência com as argilas. Os valores que diferem dos valores característicos dos arenitos podem significar a presença de

zonas argilosas ou uma variação na salinidade da água presente no arenito. Os valores de resistência elétrica das camadas são muito importantes para a delimitação de aquíferos (topo e base), portanto sua espessura, bem como a presença de argilas e salinidade da água.

Figura 07 –Esquema de funcionamento da medição de Resistência Elétrica



Fonte: Freimann, TCC 2012

7 DADOS DO LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

O levantamento com o método da eletrorresistividade consistiu de medidas de resistividade aparente, tomadas através da aplicação de SEVs no Arranjo Schlumberger. Foram realizadas nove sondagens distribuídas na sede do município de Augusto Corrêa, principalmente nas ruas dos novos bairros. O equipamento utilizado nas medidas foi o Resistímetro GEOTEST.

7.1 SONDAGENS ELETRICAS VERTICAIS (SEV)

As sondagens foram feitas com a distância mínima entre os eletrodos de corrente igual a 2m ($AB=2m$) e a distância máxima variou entre 200 e 480 metros ($AB=200$ a $480m$). A máxima distância entre os eletrodos foi imposta pelas condições do terreno, evitando fortes desníveis topográficos, observando as condições de acesso para a expansão dos eletrodos e limitações do equipamento. Com essas aberturas de AB , poder-se obter resposta de profundidades dentro dos objetivos do trabalho, uma vez que a profundidade efetiva de uma SEV está entre $1/5$ a $1/3$ da separação máxima entre os eletrodos de corrente AB .

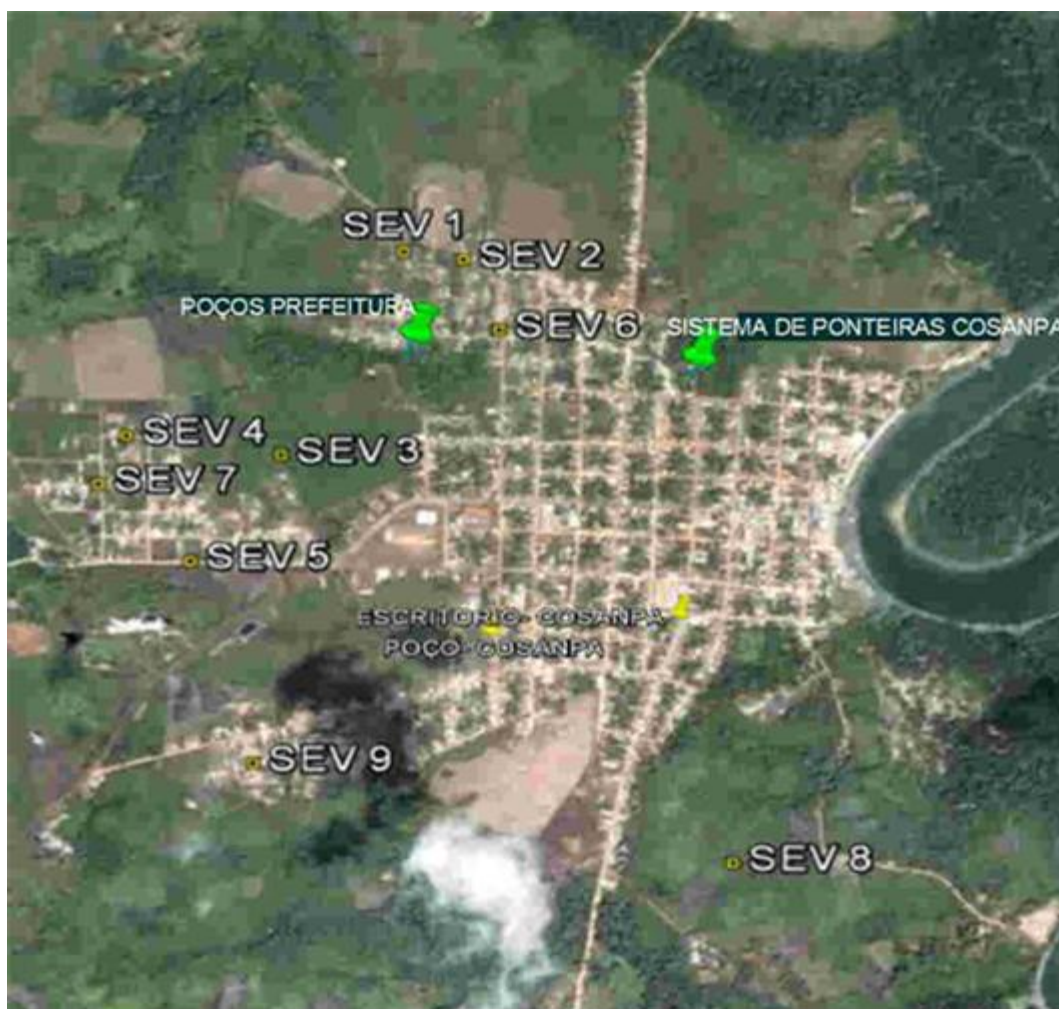
Figura 08 – Equipamento Resistímetro Geotest.



Fonte: Do autor

Na figura abaixo tem-se as disposições das SEV's mostrando as áreas da cidade de Augusto Corrêa onde foram realizadas as Sondagens elétricas verticais (SEV's).

Figura 09 –Mapa da área com a localização das SEV's

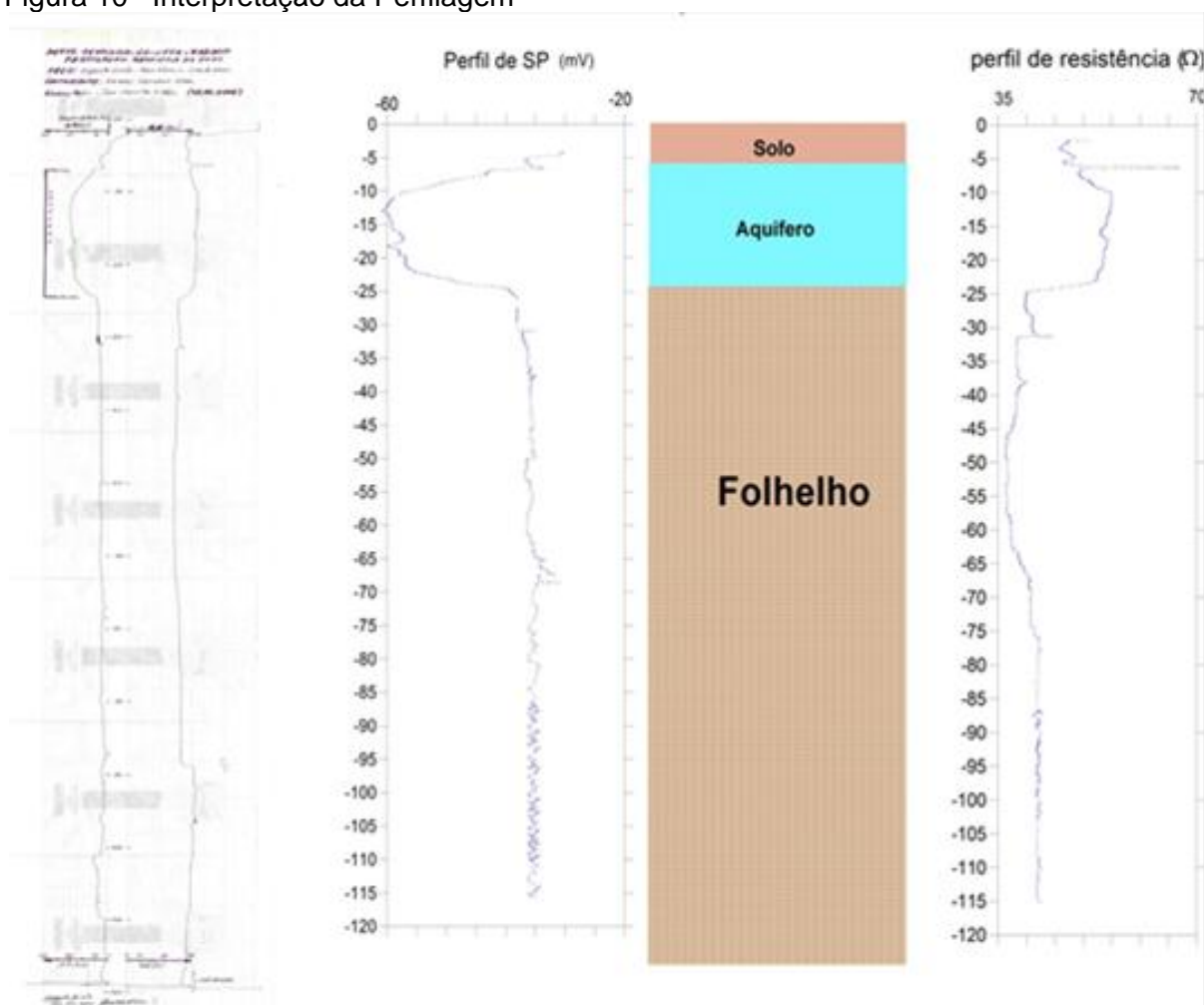


Fonte: Do autor

7.2 PERFILAGEM

Para auxiliar a interpretação das sondagens, foi utilizada uma perfilagem geofísica corrida em um furo realizado pela COSANPA, na cidade, no ano de 2002, com registros de SP e Resistência. Essa perfilagem mostra um pacote sedimentar permeável de 25 metros de espessura, seguida de folhelho, até a base do furo em 120 metros. A figura 10 mostra os registros de SP e RSP e a interpretação correspondente.

Figura 10 – Interpretação da Perfilagem



Fonte: Do autor

8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

8.1 CURVAS DE SONDAGENS – SEV'S

Os valores de resistividade aparente medidos nas SEV's foram representados em papel bi-logarítmico e depois suavizados para a eliminação do ruído geológico introduzido nas medidas, normalmente devido a variações laterais nas camadas geológicas. Em alguns casos, os valores não confiáveis (valores muito diferentes dos valores adjacentes) foram substituídos por outros obtidos a partir da interpolação ou da extrapolação de valores confiáveis (Figura 11).

A seguir, os dados das SEV's foram interpretados para se estabelecer os modelos geo-elétricos aproximados para a subsuperfície na posição das SEV's. Depois, foi feita a interpretação direta e inversa em computador, gerando o modelo final de cada SEV. Há dois programas de computador disponíveis: Um que foi desenvolvido pelos professores de geofísica – UFPA na década de 80 (Sev1 D) e outro que pode ser adquirido na internet (IX1 Dv2 interpex).

As SEV's apresentam um mesmo padrão, tendo dois ramos principais. O ramo inicial apresenta as variações de resistividade aparente com a profundidade, correspondentes às camadas mais rasas. Depois, vem o ramo descendente, indicando um substrato condutivo, com diferentes afastamentos para o início do ramo. Esses afastamentos são decorrentes da variação de espessura, pelos quais, foi possível separar as curvas de SEV's em três grupos:

Grupo 1- SEV 6 e SEV 8,

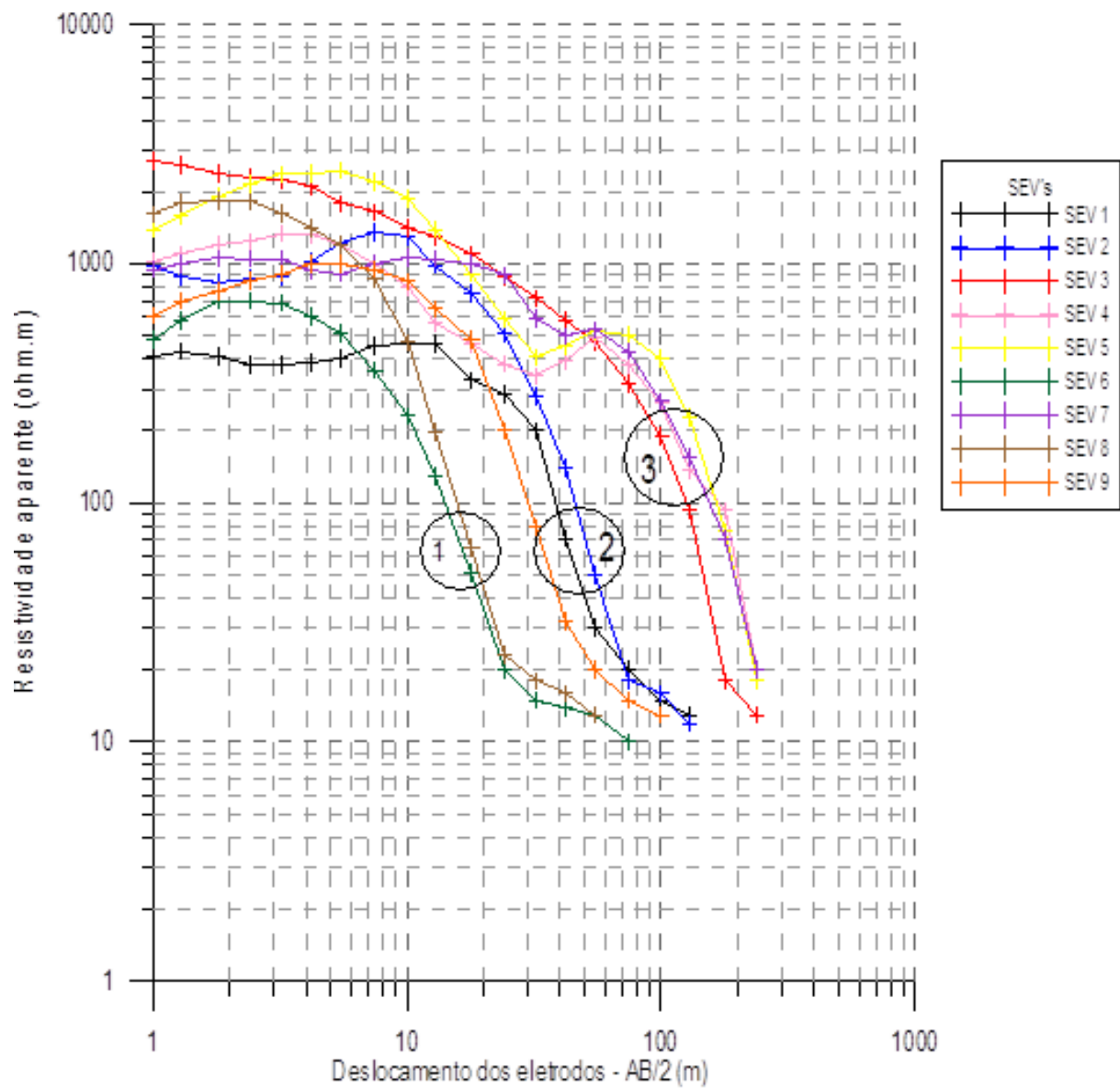
Grupo 2- SEV1, SEV2 e SEV 9

Grupo-3 -SEV3,SEV4,SEV5 e SEV7

O Grupo1 reúne as SEV's que indicam o substrato condutivo mais raso, tendo portanto, a cobertura de sedimentos menor espessura. E, o Grupo 3 reúne as sondagens onde o substrato está mais profundo. Isto indica que há uma variação da espessura do pacote de sedimentos acima do folhelho como indicada na perfilagem.

A Tabela1 mostra os modelos obtidos para cada sondagem.

Figura 11 –Gráfico contendo todas as SEV's
Curvas de Sondagens - Augusto Corrêa



Fonte: Do autor

Na tabela 1 temos em destaque camadas em vermelho que representam uma camada muito condutiva com resistividades de 1 a 5 ohm.m, e em azul destaca-se a camada que caracteriza o aquífero confinado existentes em algumas Sev's.

Tabela 1 – Modelos obtidos

Cama da	SEV 1	SEV 2	SEV 3	SEV 4	SEV 5	SEV 6	SEV 7	SEV 8	SEV 9
	R(ohm.m),h(m)	R(ohm.m),h(m)	R(ohm.m),h(m)	R(ohm.m),h(m)	R(ohm.m),h(m)	R(ohm.m),h(m)	R(ohm.m),h(m)	R(ohm.m),h(m)	R(ohm.m),h(m)
1	428; 1.3	1247;0.6	1250;0.5	967;0.9	834;0.4	371;0.4	743;0.4	1147;0.2	493;0.6
2	296; 3.6	474;1.6	2832;2.3	1805;3.9	3198;5.4	1036;1.7	1241;1.3	1925;3.1	1137;3.8
3	975; 9	3499;4.1	1187;5.6	246;16.8	169;14.1	374;5.2	554;3.1	355;6.5	1309;7.2
4	3; 24.9	356;18.1	1327;12.3	4202;20.8	2297;26.9	54;8.6	2281;6.9	5;25.3	95;11.8
5	187;33.7	2;46.7	344;21.3	18;25.3	13	3;24.1	603;11.3	935;27.2	3;23.3
6	14	141;52.4	1025;36.1	1412;31		240;29.9	241;19.3	14	89;32.3
7		10	11	14		10	1207;36		10
8							16		

8.2 SECÇÕES GEO-ELÉTRICAS

Os modelos obtidos para cada sondagem (SEV) foram dispostos lado a lado, em escalas horizontal e vertical apropriadas, de acordo com a posição de cada centro de SEV no mapa da área. Com a correlação lateral, de modelo a modelo, foram construídas três secções geo-elétricas (Figura 12), que oferecem uma visão da distribuição das camadas da subsuperfície local. Destacam-se quatro camadas.

A superior, com resistividades variando entre 2200 e 5000 ohm.m, com espessura de 6 a 21 metros, predominantemente arenosa, que deve corresponder ao pacote de sedimentos da cobertura.

Abaixo, a segunda camada tem resistividades na faixa de 50 a 350 ohm.m com espessuras 8,5 a 21 metros. Apresenta um estreitamento e afundamento em torno da SEV4, onde a resistividade cai para 18 ohm.m, o que pode estar relacionado com um aumento da argilosidade. Essa camada deve constituir o ambiente do aquífero freático local.

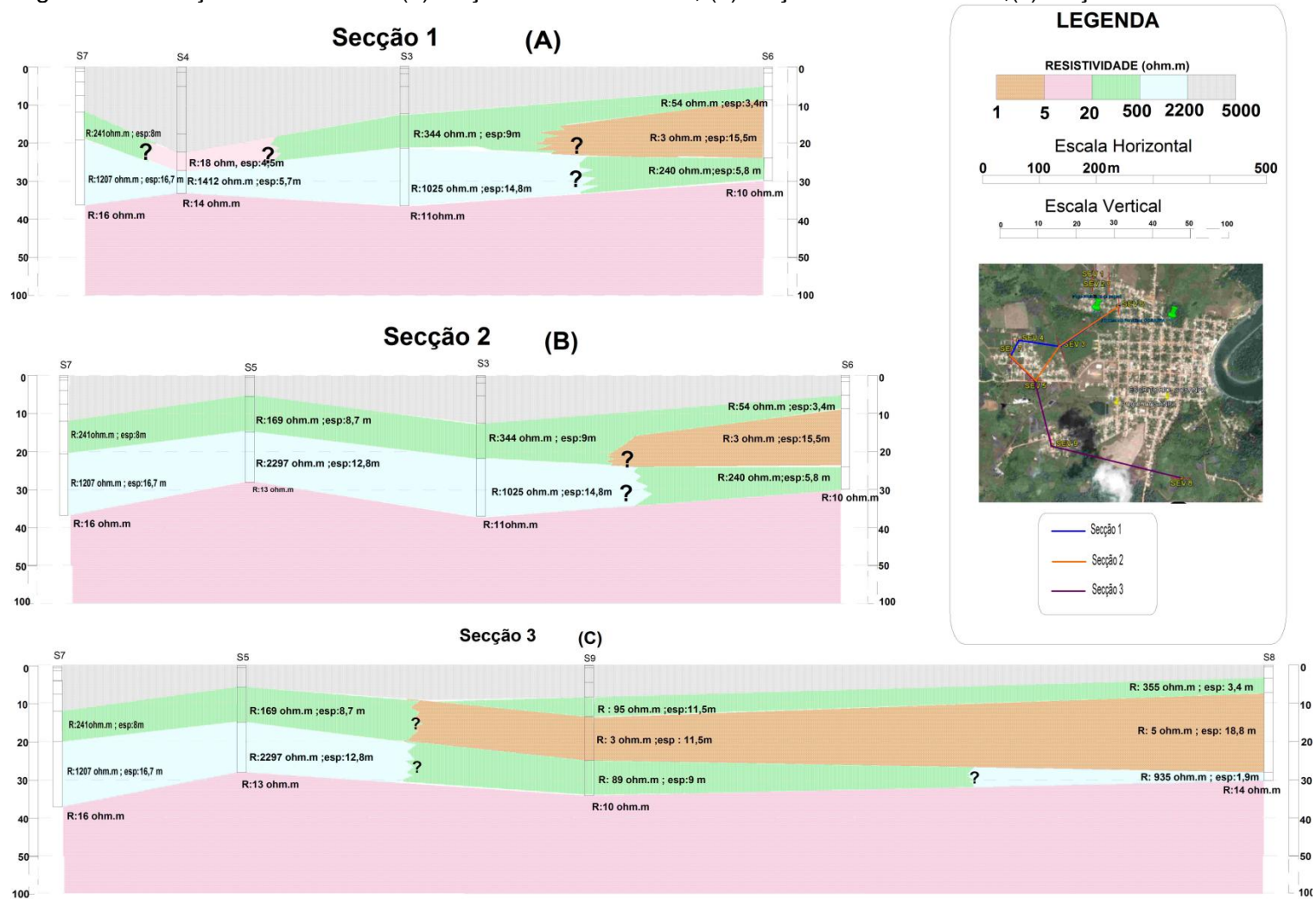
No mesmo horizonte dessa segunda camada, nas porções Norte, Leste e Sul da área, ocorre uma terceira camada com resistividade entre 1 e 5 ohm.m, com espessuras de até 20 metros. Com esses valores de resistividade, essa camada deve corresponder a algum depósito arenoso com influência de maré ou de matéria orgânica (paleo-mangue), ou mesmo argila.

Abaixo das segunda e terceira camada, ocorre uma quarta camada com resistividades entre 500 e 2200 ohm.m e espessuras entre 5 e 17 metros, que deve corresponder a um pacote arenoso e, pelos valores de resistividade, deve constituir um aquífero confinado no local. Cabe mencionar, que nesta camada ocorre uma diminuição na resistividade nas direções Norte, Leste e Sul, justamente sob a terceira camada, correspondendo a um aumento significativo de sua argilosidade.

Por fim, vem a quinta camada, com resistividade entre 5 e 20 ohm.m, que corresponde ao substrato identificado na perfilagem (Fig.10) e em todos os modelos das sondagens.

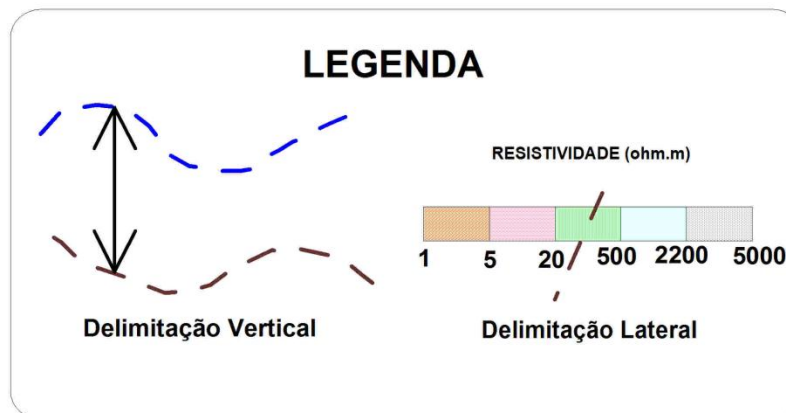
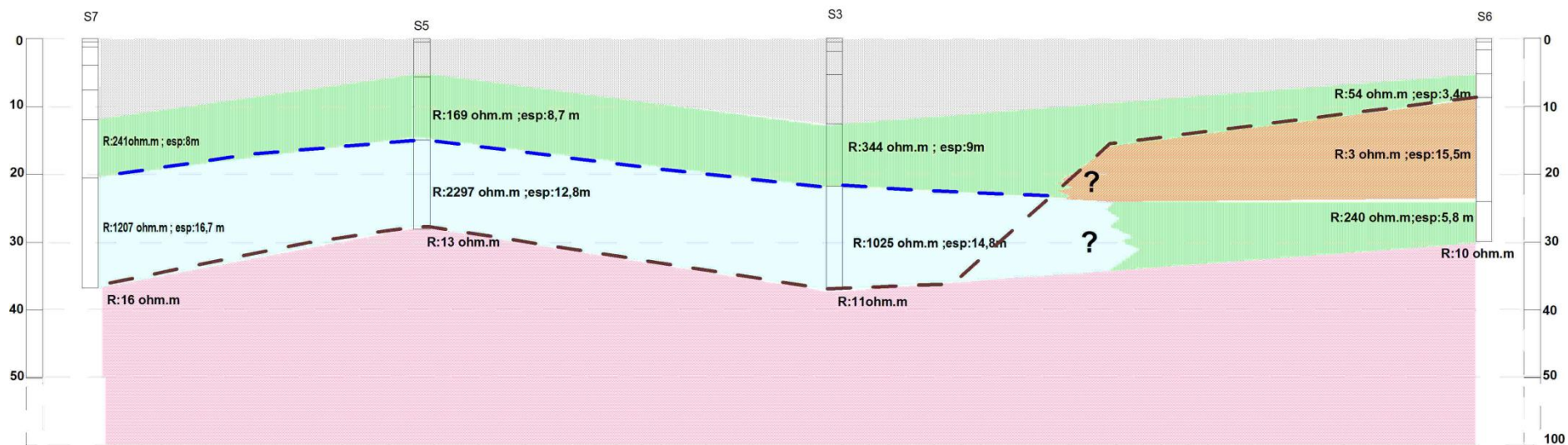
Após a análise das secções geo-elétricas (Figura 12), observou-se que onde ocorre a terceira camada há uma diminuição tanto de espessura como de resistividade na quarta camada, provocando uma redução na extensão lateral do aquífero contido nessa quarta camada. Por isso, para delimitar a porção ótima do aquífero, foi elaborado um critério pelos valores de resistividade; montado sobre a secção geo-elétrica B (SEV's 7,5,8,e 9), apresentado na figura 13. Com isso, elaborou-se um mapa de contorno, incluindo do topo do embasamento (quinta camada) e o topo da terceira camada, conseqüentemente, envolvendo as porções argilosas da quarta camada, obtendo-se, desse modo, um delimitador para a base da porção ótima do aquífero (Figura14).

Figura 12 – Secção Geo-elétricas (a) Seção 1: S7-S4-S3-S6; (b) Seção 2: S7-S5-S3-S6; (c) Seção 3: S7-S5-S9-S8.



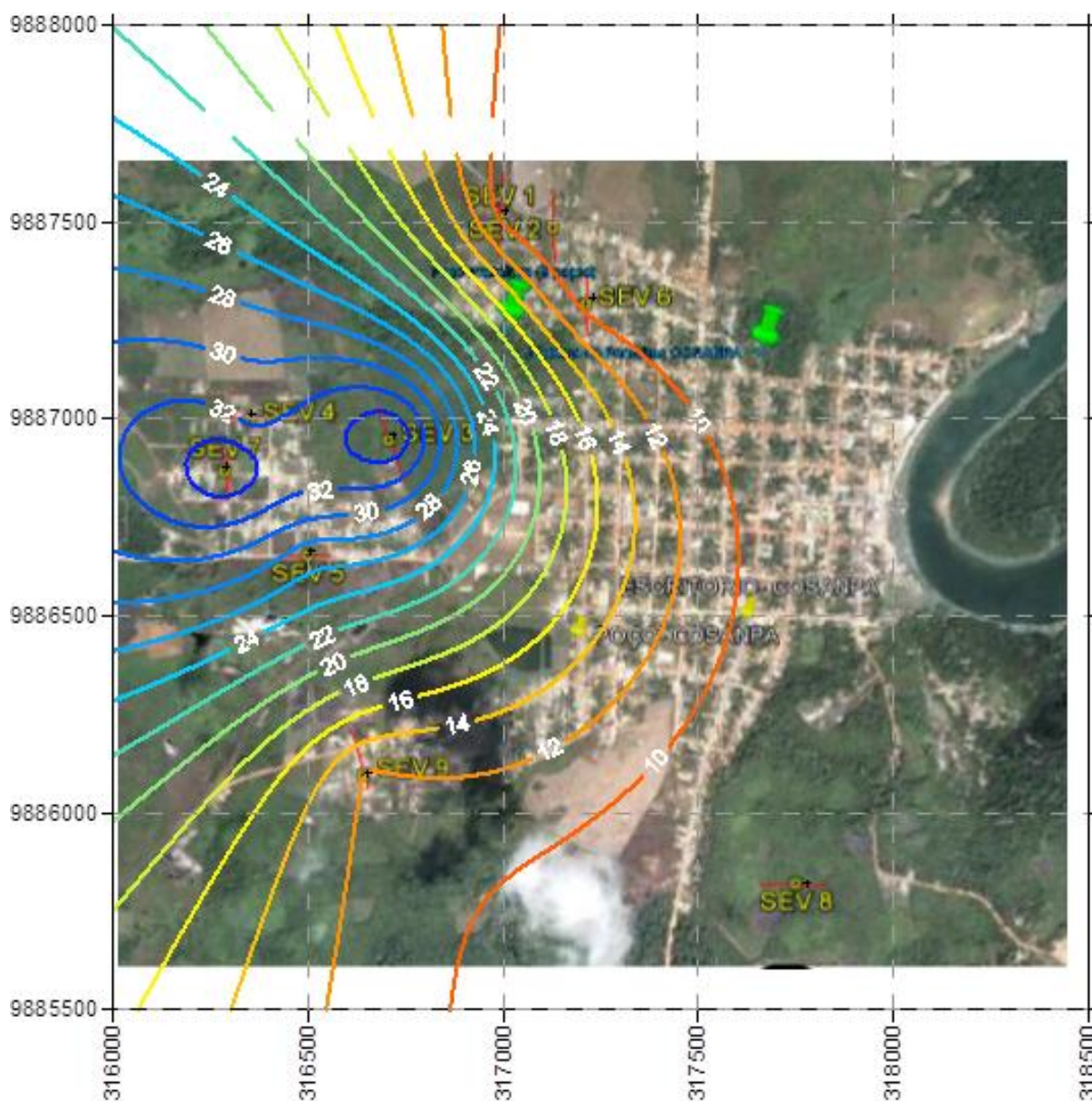
Fonte: Do autor

Figura 13 – Critério de delimitação vertical e lateral do aquífero.



Fonte: Do autor

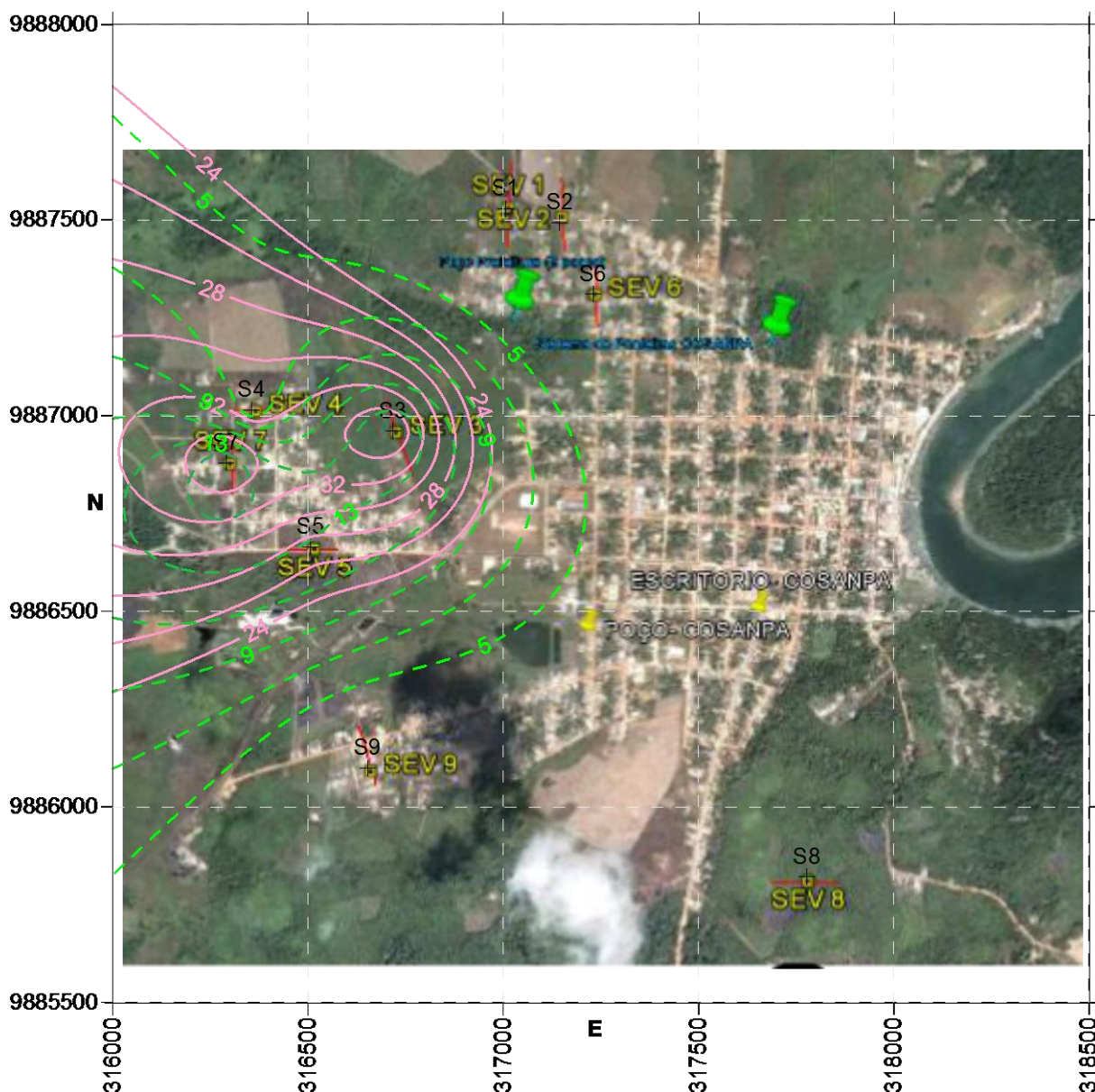
Figura 14 – Mapa de contorno de delimitação da base do aquífero



Fonte: Do autor

Partindo da análise das secções geo-elétricas (Figura 12), do mapa da base do aquífero (Figura 14) e acrescentando-se as isópacas do aquífero, obteve-se a delimitação do volume que deve conter o maior potencial hídrico do aquífero. Essa delimitação é apresentada na Figura 15, a qual mostra os contornos da base e da espessura da porção ótima do aquífero no mapa da cidade. Cabe destacar que em torno das SEV'S 7 e 3 o aquífero apresenta a base mais profunda e as maiores espessuras.

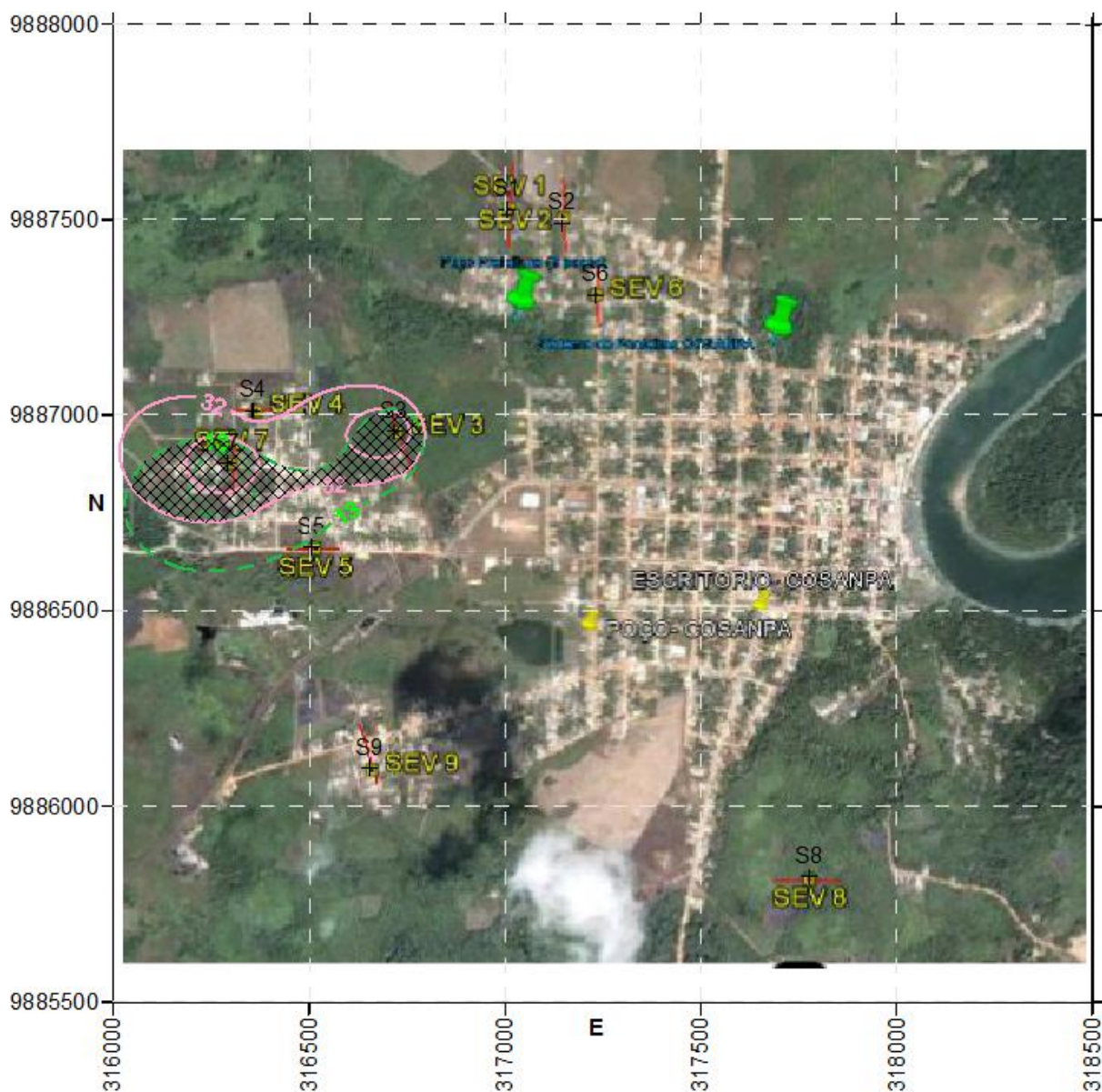
Figura 15 – Mapas de contorno do topo do embasamento(verde) e espessuras dos aquíferos (rosa),com a indicação da área para construção da nova rede de abastecimento.



Fonte: Do autor

A Intersecção entre as linhas com maiores valores de base do aquífero em rosa e as linhas contendo os maiores valores de espessura do aquífero em verde (Figura 16),mostra os locais mais indicados para construção de novos poços (área hachurada).

Figura 16 – Mapa com a Área ótima do aquífero. (hachurada)



Fonte: Do autor

9 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Com o resultado do estudo, a interpretação das sondagens revelou 4 camadas interessantes ; a mais rasa, correspondente ao maiores valores de resistividade com uma característica predominantemente arenosa , a segunda camada com resistividade variando entre 50 e 500 ohm.m o que pode ser característica do aquífero freático local, após a segunda localiza-se uma terceira camada corresponde as menores resistividades variando de 1 a 5 ohm.m e bastante espessa nas direções Norte ,Leste e Sul da área o que caracteriza um deposito arenoso com influencia de maré ou argila ou paleo-mangue. A quarta camada, predominantemente arenosa com valores altos de resistividade,na porção Oeste da área e diminuindo a resistividade por conta do aumento de argilosidade, por influencia da terceira camada. A porção Oeste da quarta camada apresenta-se como um aquífero confinado que pode ser utilizado para captação de agua subterrânea, e, por fim, existe uma quinta camada comum a todos os modelos com resistividades variando de 5 a 20 ohm.m.

O quadrilátero SEV7-SEV4-SEV3-SEV5 forma a área mais indicada para a perfuração, sendo melhor no entorno das SEV7 e SEV3. O mapa da Figura 16 mostra essa área ótima do aquífero (hachurada), indicando sua base e a espessura, dando as informações fundamentais para propor novas áreas de captação e para o projeto de furos para a construção de novos poços de abastecimento na cidade.

REFERÊNCIAS

- BAHIA, V. E. **Estudo hidrogeológico da área localizada entre o depósito de lixo metropolitano de Belém (Aurá) e o lago da água preta.** 2003. 101f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, 2003.
- BARKER, R.D. Depth of investigation of collinear symmetrical four-electrode arrays. **Geophysics**, v.54, n.8, p. 1031-1037,1989.
- BEZERRA, C. A. C. de A. **Eletrorresistividade aplicada ao estudo de água subterrânea no município de Salva Terra - Marajó - Pará.** 1979. 56 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará. Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas, 1979.
- CORRÊA, J.A.M. **Projeto de avaliação da qualidade de águas em aquíferos Livres na cidade de Piçarra no município homônimo.** Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 1998.7 p. (Relatório Preliminar).
- EDWARDS, L.S. A Modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. **Geophysics**, v.42, n.5, p.1020-1036.1977. .
- GIRÃO NERY, G. **Apostila perfilagem geofísica.** Salvador: Hydrolog serviços de perfilagem Ltda., 2004. Cap. 2.
- LUIZ, J.G; SILVA, L.M. da C. **Curso de geofísica de prospecção.** Belém:UFPa. Centro de Geociências, 1983. 263 p. (Apostila) .
- MAPA de localização do município de Augusto Correa. Disponível em: <<http://www.wikipedia.com.br>>. Acesso em 21 de janeiro de 2013.
- ORELLANA, E. **Prospecciongeoelectricaencorriente continua.** Madrid: Paraninfo, 1972.
- PEDROSA, C. A.; CAETANO, F. A. **Águas subterrâneas.** Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2002. 50p. (Relatório).
- SILVA, R.S. **Aplicação dos métodos geofísicos elétrico e eletromagnético na determinação de unidades sedimentares costeiras tropicais em Bragança Nordeste do Pará.** 2002. 63f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, 2002. 523 p.

ANEXOS

ANEXO A – PERFILAGEM

