

República Federativa do Brasil
Ministério de Minas e Energia
CPRM - Serviço Geológico do Brasil
Superintendência Regional de Porto Alegre

**ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOFÍSICOS NA ÁREA DO DEPÓSITO DE LIXO
DA VILA KROEFF - MUNICÍPIO DE NOVO HAMBURGO-RS**

*Antonio Silvio Jornada Krebs
Luiz Fernando Pardi Zanini
Norberto Lessa Dias
Vitório Orlandi Filho*

ph1
012218



**Série Degradação Ambiental – Porto Alegre
Volume 10
Setembro 1999**

Coordenação Técnica

- *Geól. Luiz Fernando Fontes Albuquerque*
Gerente de Geologia e Recursos Minerais
- *Geól. Antonio Pierino Gugliota*
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial
- *Geól. Vitorio Orlandi Filho*
Supervisor de Projetos - GATE

Colaboradores

- *Geól. Mauro Rodrigues Reis*
- *Geól. Marcos Alexandre de Freitas*
- *Geól. José Leonardo Silva Andriotti*

Editoração

- *Geól. Luís Edmundo Giffoni*

Equipe Técnica

- *Geól. Norberto Lessa Dias*
- *Geól. Antonio Sílvio Jornada Krebs*
- *Geól. Luiz Fernando Pardi Zanini*
- *Geól. Vitorio Orlandi Filho*
- *Auxiliar Técnico Odilon Corrêa*
- *Auxiliar Técnico Floro de Menezes Filho*

Consultor Externo

- *Geól. Antonio Flávio Uberti Costa*

Digitação

- *Téc. Proc. Dados Gualtério Souza Cássia*

Ficha Catalográfica

K92

Krebs, Antônio S. J. Krebs

Estudos geológico-geofísicos na área do depósito de lixo da Vila Kroeff, município de Novo Hamburgo-RS / Antônio S. J. Krebs; Luiz Fernando P. Zanini; Norberto L. Dias; Vitorio Orlandi Fº. – Porto Alegre : CPRM, 1999.

1 v. : il.- (Série Degradação Ambiental, Porto Alegre, v. 10).

1. Planejamento Territorial Regional – RS

2. Geofísica – RS

I. Zanini, Luiz Fernando

II. Dias, Norberto L.

III. Orlandi, Fº., Vitorio

IV. Título

CDU 711.2 (816.5)

550.3 (816.5)

APRESENTAÇÃO

Este Volume apresenta os resultados obtidos com a execução dos estudos geológico-geofísicos na área do depósito de lixo da Vila Kroeff, Município de Novo Hamburgo, Estado do Rio Grande do Sul, e representa o esforço da atual gestão municipal para equacionar a recuperação ambiental daquela área.

São aqui descritos e analisados os trabalhos geofísicos, que constaram de levantamentos eletromagnéticos e sondagens elétricas verticais, os resultados de furos de sondagem, poços de monitoramento hídrico e os resultados analíticos das amostras de água nestes coletadas.

Ao final, todas as informações foram integradas e compatibilizadas, mostrando-se a atual situação da área estudada, os riscos ambientais daí decorrentes e apresentando-se recomendações para as futuras ações na área.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 - INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 - OBJETIVOS | 3 |
| 3 - ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS E GEOLÓGICOS | 4 |
| 3.1 - Unidades Geomorfológicas | 4 |
| 3.2 - Unidades Geológicas | 6 |
| 4 - TRABALHOS REALIZADOS | 9 |
| 4.1 - GEOFÍSICA | 9 |
| 4.1.1 - Metodologia | 9 |
| 4.1.2 - Resultados Alcançados | 10 |
| 4.1.3 - Cálculo de Parâmetros Adicionais | 22 |
| 4.2 - SONDAGEM | 22 |
| 4.2.1 - Sondagem a Trado Mecanizado | 24 |
| 4.2.2 - Sondagem Rotativa | 25 |
| 4.2.3 - Poços de Monitoramento Hídrico e Perfis Litológicos de Sondagem | 27 |
| 4.3 - GEOLOGIA LOCAL | 30 |
| 4.4 - ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS | 33 |
| 5 - ANÁLISES QUÍMICAS | 38 |
| 6- INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS GEOLÓGICO-GEOFÍSICOS | 42 |
| 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 45 |
| 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 47 |
| • ANEXOS | |
| ANEXO 1- Sondagens Elétricas Verticais Modeladas | 49 |
| ANEXO 2- Perfis Litológicos de Sondagem | 63 |
| ANEXO 3- Análise Estatística de Dados Geofísicos | 87 |

- ENCARTE

Mapa Planialtimétrico e de Localização dos Trabalhos de Sondagem e Geofísica
Realizados no Depósito de Resíduos Sólidos da Vila Kroeff, Novo Hamburgo - RS.

1 - INTRODUÇÃO

A cidade de Novo Hamburgo situa-se na Região Metropolitana de Porto Alegre, centro-leste do estado e dista cerca de 45 km da capital. Possui uma população em torno de 226.000 habitantes e constitui-se em um dos mais importantes pólos industriais do Estado do Rio Grande do Sul.

Os problemas decorrentes do rápido crescimento econômico resultantes da expansão do setor coureiro-calçadista ocasionaram impactos na cidade de Novo Hamburgo e região, gerando várias Ações Cíveis Públicas contra as municipalidades. Dentre as Ações movidas pelo Ministério Público Estadual, podemos citar a que envolve a disposição de resíduos sólidos, problemática que tem aumentado na região.

As atividades de deposição dos resíduos sólidos no município de Novo Hamburgo se iniciaram no ano de 1977, utilizando área particular localizada junto ao banhado do Rio dos Sinos, na localidade conhecida como Vila Kroeff (Figura 1). O uso da área continuou até 26.12.89, resultando na ocupação de uma área de 12,5 ha, com uma camada média de lixo de 5 metros de espessura. Segundo dados da Prefeitura Municipal, foram depositadas na área cerca de 192.000 toneladas de lixo doméstico e 400.000 toneladas de lixo industrial. A ação de interdição da área foi promovida pela União Protetora do Ambiente Natural – UPAN, através do Ministério Público, em 17.04.89. Considerando as

características da área, em 1986 a Fundação de Planejamento Metropolitano e Regional – METROPLAN já indicava a necessidade de interromper os procedimentos de deposição de lixo, o que não foi atendido pela Administração da época. Cabe ressaltar que a área localiza-se dentro da planície de inundação do rio dos Sinos, em cotas normalmente de inundação ou de alagamento.

Em 1989 as atividades de deposição do lixo foram interrompidas. O lixo doméstico passou a ser depositado na Central de Reciclagem do bairro Roselândia e o lixo industrial recebeu destinação específica, a critério do gerador do resíduo (Central de Resíduos de Lomba Grande).

Em 1994 foi solicitada a elaboração de Estudo Prévio de Impacto Ambiental - EIA, que deveria aferir a melhor maneira de recuperar a área.

Em 15.09.95 foi contratada a empresa vencedora do processo licitatório para execução do referido estudo.

Em 15.04.97 foi apresentado o Plano de Recuperação Ambiental ou EIA/RIMA, aprovado pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM, pela Napéia Projetos Ambientais (1996). Neste Plano, entre outras ações, foi recomendada a realização de novos estudos visando avaliar o comprometimento dos recursos hídricos subterrâneos.

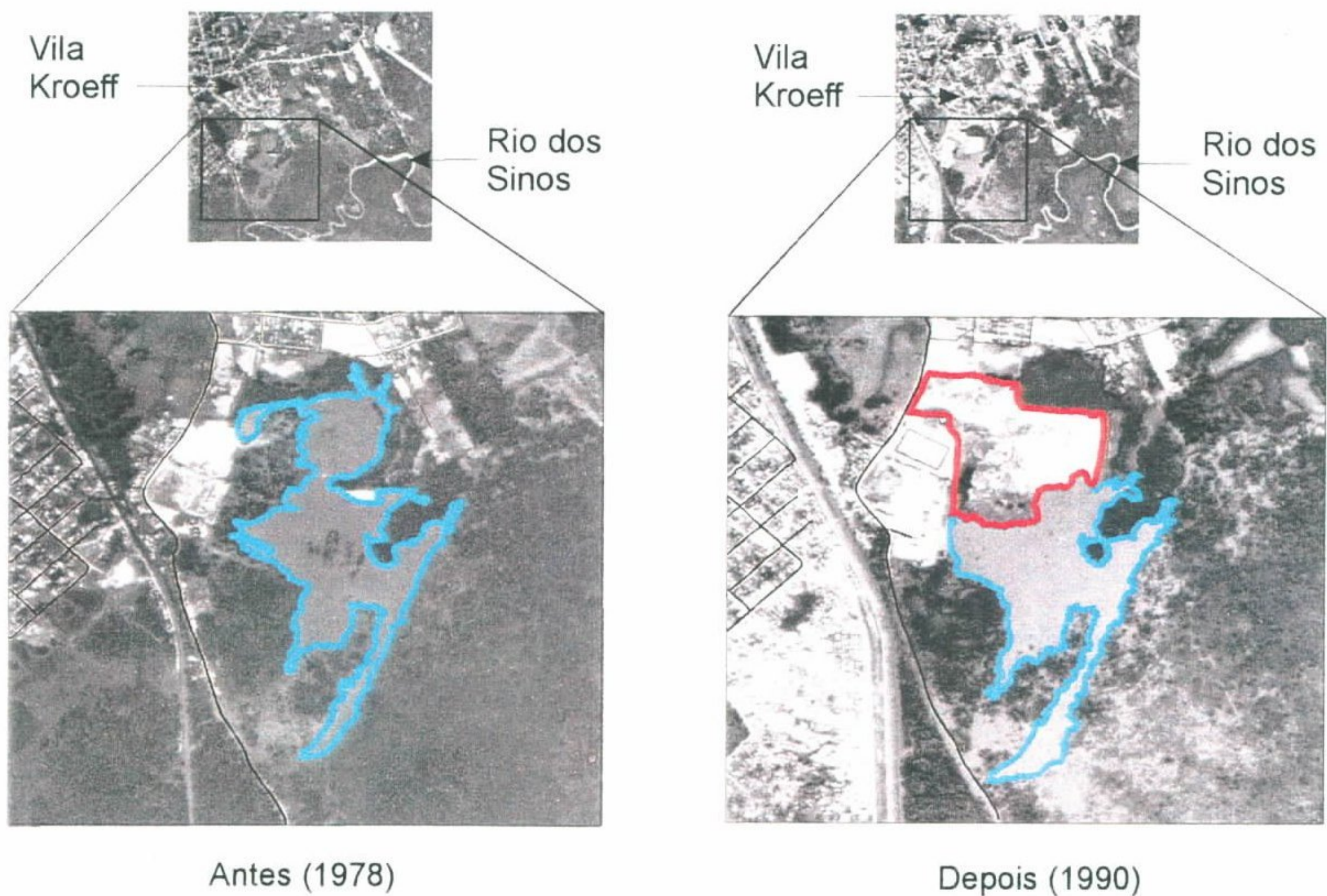
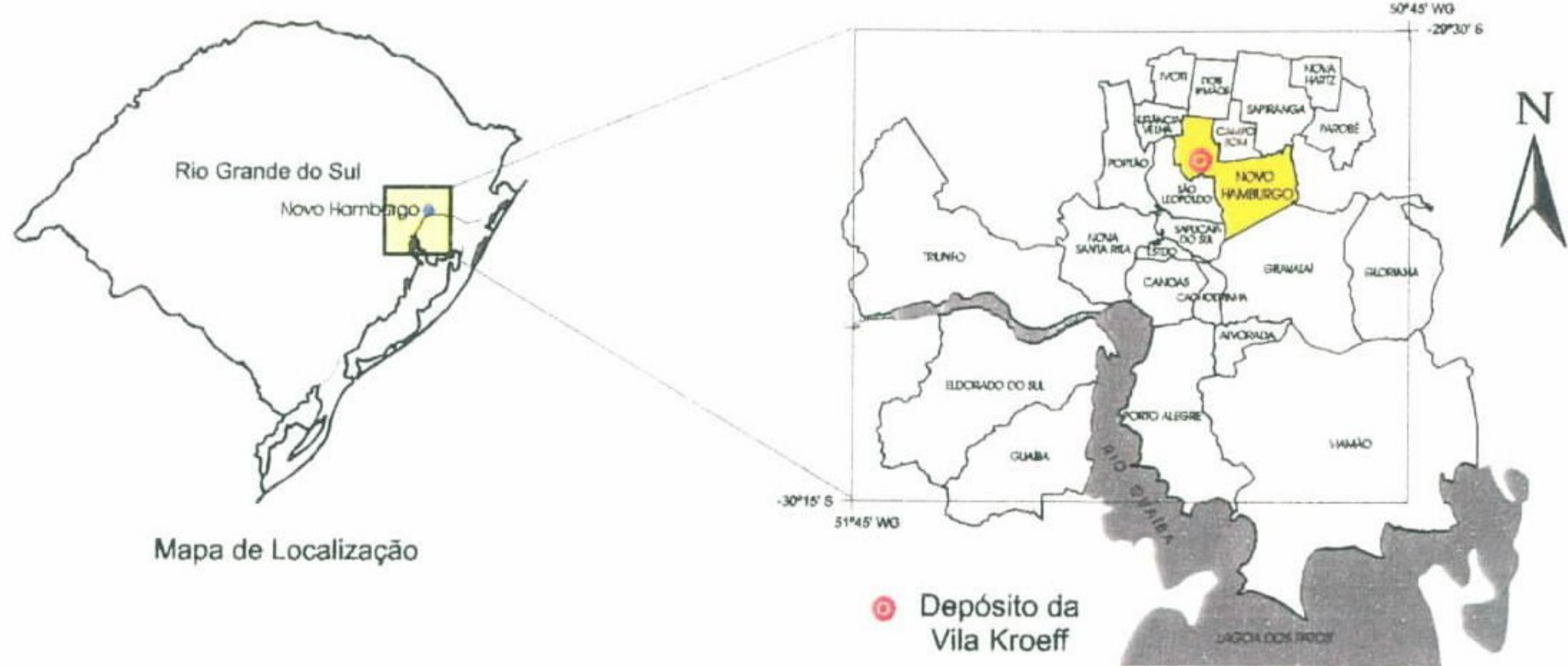


Figura 1- Mapa de Localização – Aspectos da área, antes e depois da instalação do Depósito de Resíduos da Vila Kroeff, visto através de fotografias aéreas em preto-e-branco.

Nota: Foto de 1978 - Escala original 1:20.000, propriedade do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem-DAER/RS; Foto de 1990 - Escala original 1:40.000, propriedade da Fundação de Planejamento Metropolitano e Regional - METROPLAN.

2 - OBJETIVOS

Com o objetivo de complementar os estudos até então realizados na área do lixão e visando avançar no equacionamento da sua recuperação ambiental, a Prefeitura de Novo Hamburgo firmou, em 04 de março de 1999, um Convênio com a CPRM prevendo a execução de estudos geológico-geofísicos para estabelecer parâmetros mais precisos sobre o comportamento físico-químico da pluma poluidora, além da instalação de uma rede de poços para a coleta e monitoramento de informações sobre os elementos poluentes encontrados na área. A disponibilização destas informações possibilitará à Prefeitura co-

nhecer o grau de comprometimento das águas subterrâneas e planejar as etapas seguintes do projeto de recuperação ambiental da área.

A execução destes estudos compreende uma série de procedimentos recomendados no Plano de Remediação do "Lixão da Vila Kroeff" elaborado em dezembro de 1997 por solicitação de Município, visando atender o ofício OF. FE-PAM/DAIA/1254-97, viabilizando a obtenção de Licença de Operação para Remediação de Área Degradada pela Disposição de Resíduos Sólidos e Urbanos.

3- ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS E GEOLÓGICOS

3.1 - Unidades Geomorfológicas

Na compartimentação geomorfológica adotada pelo IBGE (1986) para o Rio Grande do Sul, a região em que se insere o município de Novo Hamburgo abrange parcialmente as unidades geomorfológicas Patamares da Serra Geral e a Depressão Rio Jacuí, pertencentes à Depressão Central Gaúcha, na região limítrofe com o Planalto das Araucárias que, por sua vez, integra o grande Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares.

Os Patamares da Serra Geral ocorrem a norte, em direção aos municípios de Ivoti e Dois Irmãos, onde encontram-se os setores topograficamente mais elevados, representados por platôs e morros-testemunho.

Nas porções intermediárias, entre esses patamares e a Depressão Rio Jacuí, ocorrem os relevos de transição, representados pelas encostas dos platôs e morros-testemunho.

A Depressão Rio Jacuí é caracterizada por morros rebaixados, arredondados ou alongados, e morros arrasados, que se distribuem principalmente nas faixas laterais e central, onde ocorrem as menores altitudes. Nas proximidades da área estudada os declives desta unidade geomorfológica convergem para a planície que domina o Vale do Rio dos Sinos, posicionado a sudeste da mancha urbana de Novo Hamburgo.

A seguir é apresentada uma síntese descritiva das unidades geomorfológicas identificadas na região.

- Patamares da Serra Geral

Os Patamares da Serra Geral correspondem aos terminais rebaixados, em continuidade à Serra Geral, que avançam do norte em direção à planície do Rio dos Sinos, situada a sul-sudeste. Representam testemunhos do recuo da linha de escarpa, a qual se desenvolveu na seqüência vulcano-sedimentar de cobertura da Bacia do Paraná. Onde é maior o entalhamento da

drenagem, afloram arenitos da Formação Botucatu.

Litologicamente são compostos por rochas vulcânicas básicas e intermediárias da Formação Serra Geral e por arenitos da Formação Botucatu. Na área do município, o relevo apresenta algum controle estrutural, evidenciado por sulcos estruturais e vales fluviais a eles adaptados, com aprofundamentos que atingem até 150 m. O relevo está representado por formas geralmente alongadas, mas localmente ocorrem alguns morros subarredondados.

Na porção norte, topograficamente mais elevada, estão os relevos mais conservados, representados por patamares inferiores dos platôs basálticos, onde verificam-se feições de aplainamento desnudadas ou exumadas. Apresentam dissecação homogênea ou diferencial, densidade grosseira, com aprofundamento dos vales de 57 m a 75 m; onde ocorre dissecação homogênea e onde ocorre dissecação diferencial, os vales podem atingir profundidades de 192 m a 260 m.

Os patamares com topos ondulados correspondem a superfícies erosivas, talhadas em rochas basálticas. Geralmente possuem formações superficiais de natureza areno-argilosa pouco espessas, não ultrapassando 2m. Distribuem-se entre as cotas de 200 m (encosta do Morro Dois Irmãos), onde existe uma pedreira, até no máximo 438 m, que corresponde ao topo do referido morro.

Os patamares de topos planos, também talhados em rochas basálticas, apresentam formações superficiais de natureza areno-argilosa pouco espessas, não ultrapassando 1,5 m. Distribuem-se entre as cotas de 100 m (logo a norte da RS-239), onde existem várias pedreiras, até no máximo 175 m, que corresponde ao topo do morro.

As bordas dos platôs basálticos e morros-testemunhos, representam os relevos de transição desta unidade. Na porção superior apresentam paredões rochosos com declividades superiores a 100%.

As bordas superiores são íngremes ou convexas e as bordas inferiores geralmente correspondem a uma quebra de relevo significativa, a partir da qual têm origem as vertentes das drenagens.

- Depressão Rio Jacuí

Regionalmente esta unidade geomorfológica caracteriza-se por apresentar um relevo sem grandes variações altimétricas, onde dominam formas alongadas de topo convexo, constituindo um modelado tipo coxilhas. Ao lado dessas formas ocorrem superfícies planas, rampeadas, recobertas por colúvios, com dissecação incipiente, caracterizadas como superfícies pediplanadas. O relevo resultante é comandado pelo nível-base de erosão regional, estabelecido pelo rio Jacuí, que ocupa a Depressão Central do Estado.

Na região de Novo Hamburgo, a dissecação foi comandada pelo rio dos Sinos, que passa ao sul-sudeste da área municipal. A maior porção da mancha urbana do município desenvolveu-se sobre esta unidade. A área correspondente ao depósito de lixo da Vila Kroeff situa-se na porção limítrofe entre esta unidade e a Planície Aluvial do Rio dos Sinos, que será descrita mais adiante.

As fácies de dissecação homogênea, sob controle da rede fluvial, são em geral grosseiras ou médias, com aprofundamento que pode atingir desníveis da ordem de 80 m na porção centro-norte da área.

Na área estudada, as rochas areníticas apresentam um modelamento tipo coxilhas, com encostas convexas de baixa declividade, às vezes capeadas por colúvios. Por se tratarem de áreas relativamente planas situadas junto à planície aluvial, com substrato rochoso constituído por rochas predominantemente arenosas, caracterizam-se como áreas mal drenadas que possuem nível freático próximo à superfície na maior parte do ano.

Na porção norte, já distante da área estudada, esta unidade apresenta relevos de degradação em planaltos dissecados, com morros rebaixados, arredonda-

dos ou alongados, morros arrasados e escarpas. Ocorrem ainda relevos residuais suportados por rochas vulcânicas que constituem os morros-testemunho.

Os morros rebaixados apresentam declividade moderada, vales amplos e vertentes convexas. São recobertos por espessa camada de formações superficiais, constituída por material areno-argiloso de cor amarelo-avermelhada, com espessuras que ultrapassam 5 m. São freqüentes entre as cotas 50 e 100 m, atingindo, na área, cota máxima de 110 m.

Os morros arrasados constituem superfícies pouco onduladas, de baixa declividade, com encostas planas ou convexas. Espessa camada de formações superficiais, constituída por material areno-argiloso ou argilo-arenoso com espessuras geralmente superiores a 5 m, capeia este relevo. Ocorrem entre as cotas 20 e 65 metros.

Os morros-testemunho que representam os relevos residuais ocorrem principalmente na porção leste da área, em direção a Campo Bom. Possuem vertentes pedimentadas de alta declividade, esculpidas em rochas areníticas, preservando um aplainamento no topo, recoberto por rochas de natureza basáltica. Ocorrem entre as cotas 45 m e 98 m.

As escarpas com borda íngreme geralmente são planas, possuem altas declividades, normalmente superiores a 100%, talhadas em rochas basálticas ou areníticas. As formações superficiais são praticamente inexistentes ou pouco espessas, atingindo no máximo 2 metros.

Estas encostas íngremes geralmente apresentam afloramentos rochosos na porção superior, formando paredões. Na porção inferior são freqüentes os depósitos de tálus, em forma de cones que constituem uma pequena quebra morfológica com menor gradiente de declividade. Estas escarpas constituem uma faixa com altitude média de 220 metros.

- Planície Aluvial da Bacia do Rio dos Sinos

Esta unidade de denominação in-

formal, ocorre dentro do domínio da Unidade Depressão Rio Jacuí. É composta por relevos de agradação em forma de planícies aluviais atuais, terraços subatuais, sendo constituída por sedimentos de origem continental, depositados na planície aluvial do Rio dos Sinos e seus principais tributários.

De acordo com o IBGE (1986), esta unidade geomorfológica corresponde ao modelado de acumulação denominado Terraço Lagunar, caracterizado por áreas planas resultantes de processos de acumulação lagunar, apresentando ruptura de declive em relação à planície lagunar recente, em consequência de variações do nível do mar ou por movimentação tectônica. Por se tratar de áreas planas é pouco suscetível aos processos erosivos e, portanto, pouco dissecada.

Litologicamente estes depósitos são formados por material argilo-arenoso ou areno-argiloso de cores variegadas, geralmente em tons cinza-escuro, cinza-amarelado e castanho-avermelhado. A espessura desses depósitos é pequena, dificilmente ultrapassando 10 m.

A área estudada caracteriza-se por constituir uma área relativamente plana, com declividades que não ultrapassam 5%, mal drenada, com nível freático próximo à superfície, com cotas que variam de 2 m a 12 m. Em épocas de chuvas prolongadas, fica totalmente alagada.

3.2 – Unidades Geológicas

A região onde se situa o depósito de lixo da Vila Kroeff é constituída por rochas da Formação Sanga do Cabral, Formação Botucatu, Formação Serra Geral e Depósitos Quaternários.

- Formação Sanga do Cabral

Proposta por Andreis et al. (1980), tem idade Triássica e ocorre na região em estudo como arenitos bimodais com estratificação plano-paralela, linhas de grânulos, marcas onduladas de baixo relevo, *ripples* de adesão e raras marcas de pingos de chuva. Mostra intercalações de pelitos ou

de arenitos médios conglomeráticos, com estratificação cruzada acanalada de pequeno e médio porte. Tais depósitos registrariam a presença de *ponds* e *wadis*, respectivamente, em meio a um ambiente predominantemente desértico.

Para Faccini (1989), as intercalações pelíticas e estruturas tipo cruzadas acanaladas de pequeno porte, que conferem à porção inferior da unidade uma característica flúvio-eólica, diminuem gradativamente para o topo da formação, sugerindo condições de aridez do clima cada vez mais enérgicas, à medida que se processava a sedimentação.

- Formação Botucatu

De idade Juro-Cretácica, esta unidade é composta por arenitos bimodais médios a finos, localmente grossos e conglomeráticos, com grãos arredondados ou subarredondados bem selecionados, geralmente cinza-avermelhado, sendo frequente a presença de cimento silicoso ou ferruginoso.

Constitui em expressivo pacote arenoso, com camadas tabulares ou lenticulares de espessura variável, que pode ser acompanhado por grandes distâncias. No terço médio e inferior há maior produção de pelitos, sendo comuns interlaminações de areia/silte/argila, bem como variações laterais e verticais de fácies.

As principais estruturas sedimentares presentes são as estratificações cruzadas acanaladas de grande porte, estratificação plano-paralela e a bimodalidade dos arenitos. Mais raramente verificam-se graduação normal/inversa, marcas onduladas de baixo relevo, marcas de pingos de chuva, *ripples* de adesão e linhas de seixos.

Quanto ao ambiente de deposição, as estruturas sedimentares presentes indicam ambiente desértico, com depósitos de dunas e interdunas.

Dessa forma, os grandes campos de dunas seriam caracterizados pela presença frequente de estratificações cruzadas acanaladas de grande porte, pela bi-

modalidade dos arenitos, evidenciando a atuação de processos de *grain fall* e pelas cunhas de arenito com gradação inversa, que caracterizam processo de *grain flow*.

Sobre estas rochas desenvolvem-se solos residuais ou transportados. De uma maneira geral, no topo da formação logo abaixo dos derrames basálticos, as rochas arenosas estão bastante recozidas e algo silicificadas, resistindo bem aos processos erosivos, ao passo que na sua porção média e inferior comportam-se como rochas brandas muito friáveis, sendo facilmente esculpidas pelos processos erosivos, resultando formas de relevo pouco movimentadas, constituídas por colinas ou morros de formas alongadas ou arredondadas, com encostas côncavas ou convexas de pequena declividade. Nesta porção verificou-se, também, que nas interfaces que correspondem à superposição de uma camada arenosa sobre uma predominantemente argilosa, ocorrem, às vezes, pequenas quebras de declives com embaciamentos que, geralmente, resultam em uma zona alongada com pequenos depósitos aluviais suspensos.

Quanto ao comportamento hidrogeológico, as rochas arenosas das referidas formações, juntamente com seus solos, caracterizam-se por possuir permeabilidade moderada, às vezes constituindo unidades aquíferas. Na área de exposição desta unidade, a alimentação se processa por infiltração direta através dos solos.

- **Formação Serra Geral**

Constitui espessa seqüência vulcânica, que foi introduzida como unidade estratigráfica por White (1906) e definida como Formação Serra Geral por Gordon Jr. (1947).

Abrange uma sucessão de derrames de lavas predominantemente básicas, contendo domínios ácidos e intermediários, principalmente no terço médio e superior.

Na região de Novo Hamburgo, afloram principalmente na porção norte, onde constituem platôs com topos planos ou ondulados, cujas cotas máximas atingem

pouco mais de 600 m. Também estão presentes no topo dos morros-testemunho.

Foram observados termos básicos a intermediários, de cores cinza-escuro a preta, de granulação fina a afanítica, com termos variando desde amigdaloidais até maciços. Geralmente encontram-se bastante fraturados, exibindo fraturas conchoidais características.

Em nível de afloramento verificam-se nitidamente três zonas de resfriamento: amigdaloidal, disjunção horizontal e disjunção vertical.

Os estudos realizados por Krebs et al. (1994) em Estância Velha, sugerem para esta área a presença de pelo menos três derrames, sendo o inferior mais característico e predominante, pois pode ser bem estudado desde sua base em contato com o arenito Botucatu, até sua porção superior, que corresponde a uma primeira quebra morfológica, indicando uma espessura total de 70m.

De uma maneira geral, nesta região as estruturas mais proeminentes correspondem a escarpas de basalto com disjunção vertical. Localmente ocorrem diques de diabásio com direções preferenciais NW-SE ou N-S.

Petrograficamente, de acordo com Krebs et al. (1994.), estas rochas basálticas mostram texturas holocristalinas a hipocristalinas, equigranulares finas a médias ou porfiríticas. Neste último caso, fenocristais ou microfenocristais de plagioclásio e/ou piroxênio, de grão fino a médio, estão imersos em matriz fanerítica fina, afanítica ou vítrea.

As principais estruturas encontradas são as amígdalas, de forma subesférica ou amebóide, com diâmetro de 6 mm a 0,4 mm, normalmente preenchidas por polimorfos de sílica (calcedônia e opala), zeolitas e argilo-minerais (provavelmente celadonita). São comuns venulações de espessura submilimétrica e descontínuas, preenchidas por estes mesmos minerais.

Relacionados a esta unidade geológica, foram identificados diferentes tipos de solos, cada qual em uma determinada

situação geomorfológica, ou seja, bordas e topos de platôs.

Nas bordas, os solos encontrados são dos tipos Litólico e Cambissolo, sendo mal estruturados, pouco desenvolvidos, permeáveis, porosos e com freqüentes fragmentos rochosos.

No topo dos platôs, são observados solos do tipo Brunizém Avermelhado, que se caracterizam por serem bem estruturados, bem drenados, porosos, permeáveis, e apresentarem altos índices de pedregosidade.

Pelo fato de esses solos possuírem pequenas espessuras, porosidade e permeabilidade elevadas e, principalmente, por apresentarem um substrato rochoso impermeável subaflorante, são muito suscetíveis aos processos erosivos.

Quanto ao comportamento hidrogeológico desta unidade, a permeabilidade está intimamente relacionada a fraturas presentes. A permeabilidade dessas rochas é do tipo fissural, o que, conseqüentemente, faz com que estas rochas apresentem pequena capacidade de armazenamento, a qual vai depender das dimensões e do espaçamento das fraturas. Outro aspecto que também influi na permeabilidade se relaciona às interfaces correspondentes às zonas de diaclasamento horizontal e vertical, responsáveis pela surgência nas encostas dos platôs (fontes).

A alimentação desses aquíferos ocorre de maneira direta a partir das precipitações e, de maneira indireta, por infiltração através dos solos residuais ou depósitos de tálus.

- Depósitos Quaternários

São constituídos por sedimentos aluviais, que cobrem grande parte da pla-

nície do Rio dos Sinos e, subordinadamente, pelos depósitos de tálus que às vezes estão presentes junto às encostas dos morros.

Os depósitos aluviais estão presentes nas planícies aluviais dos principais cursos d'água, onde constituem terraços, com superfície suavemente ondulada ou plana.

Litologicamente, são formados por material areno-argiloso ou argilo-arenoso, de cores variegadas, em tons que variam de cinza escuro a amarelo-avermelhado, com porosidade e permeabilidade moderadas.

As sondagens executadas na área da Vila Kroeff, demonstraram que, nesses depósitos quaternários, são comuns variações de fácies, tanto lateral como verticalmente, ocorrendo freqüentes lentes de materiais essencialmente argilosos em meio a material areno-argiloso.

As perfurações mais profundas indicaram que esses aluviões possuem espessuras bastante variáveis, com média em torno de 6 metros.

Os tálus presentes restringem-se à porção norte, já fora da mancha urbana de Novo Hamburgo e distantes da área estudada, constituem depósitos de material heterogêneo, com abundantes blocos e matações de rochas vulcânicas e areníticas dispersos caoticamente em uma matriz areno-argilosa. Ocorrem como pequenos depósitos com a forma de cones junto às encostas.

Geralmente iniciam logo abaixo das escarpas, nas vertentes superiores dos platôs, e se estendem até suas porções mais inferiores, junto às áreas planas, onde alcançam espessuras superiores a 15 metros.

4 – TRABALHOS REALIZADOS

O diagnóstico sobre o comprometimento das águas subterrâneas ao qual foi submetida a área em estudo, baseou-se fundamentalmente nos resultados dos trabalhos de levantamento geofísico, sondagens a trado mecanizado e rotativa, levantamento geológico local, bem como em análises químicas de água coletada através de poços instalados para monitoramento hídrico subterrâneo.

A execução do projeto foi desenvolvida em 05 (cinco) etapas, sendo três realizadas no campo (levantamentos geofísico e topográfico, sondagens e construção de poços, e geologia local) e as outras duas em escritório/laboratório, constando de análises químicas e elaboração do relatório final.

4.1 - Geofísica

O estudo geofísico na área do depósito de resíduos sólidos da Vila Kroeff do município de Novo Hamburgo, RS, teve como finalidade principal a delimitação lateral e em profundidade da pluma de contaminação das águas subterrâneas, gerada pela dispersão dos resíduos em subsuperfície.

4.1.1 - Metodologia

Baseado no fato de que a condutividade elétrica das rochas varia de acordo com a condutividade elétrica das águas subterrâneas, e de que esta varia de acordo com a concentração de substâncias nelas dissolvidas, foram selecionados métodos geofísicos elétricos para avaliar a pluma de contaminação na área. Esses métodos permitem mapear a variação da condutividade elétrica das rochas em subsuperfície, delimitando, indiretamente, através de anomalias de condutividade elétrica, as faixas com maior concentração de substâncias dissolvidas (maior grau de contaminação).

Foram aplicados os métodos elétricos EM-34-3 e Eletorresistividade – ER, complementados por medições de condutividade elétrica e análises físico-químicas

em amostras de água superficiais ou de poços. Essas informações visaram estabelecer uma melhor correlação entre as anomalias geofísicas detectadas e a real extensão da pluma de contaminação.

O condutímetro EM-34-3 (McNeill, 1980 a,b) compõe-se de duas bobinas (transmissora e receptora) conectadas por cabos de diferentes tamanhos. A transmissora emite um campo primário "Hp", que induz correntes elétricas em subsuperfície, as quais geram um campo elétrico secundário "Hs". A combinação destes dois campos, "Hp e Hs", é medida pela bobina receptora. Sob condições definidas tecnicamente como "operação de baixa indução" admite-se que a relação entre os módulos dos dois campos seja expressa por $H_s = k.H_p$, onde "k" depende da frequência do campo, da permeabilidade magnética do vácuo, do espaçamento entre as bobinas e da condutividade elétrica do meio. O equipamento permite a leitura direta da condutividade elétrica em miliSiemens por metro (mS/m). A profundidade de investigação depende da distância entre as bobinas e do arranjo utilizado: dipolo (posição/plano das bobinas) vertical ou horizontal. Para espaçamentos entre bobinas fixos e iguais a 10, 20 e 40 metros, as informações obtidas são significativas até as profundidades de 7,5, 15 e 30 metros, para as bobinas na posição vertical, ou 15, 30 e 60 metros, para bobinas na posição horizontal

Foi realizada uma malha de estações geofísicas de 50 x 50 metros onde foram realizadas medições com o equipamento EM-34-3, totalizando 109 pontos. As medições em cada estação foram feitas em três níveis de profundidade: 7,5, 15 e 30 metros e visaram a delimitação lateral e em profundidade da pluma de contaminação. Em algumas estações (22) foram feitas medidas com parâmetros para alcance de 60 metros de profundidade.

O método Eletorresistividade - ER foi empregado através da técnica de Sondagens Elétricas Verticais – SEV's, utilizando o arranjo Schlumberger, com distância entre os eletrodos de corrente (AB) de

até 200 metros. O objetivo principal da aplicação das SEV's foi complementar as informações do EM-34-3, sobretudo na definição da extensão da contaminação em profundidade e na obtenção de informações referentes às espessuras das camadas de sedimentos e dos depósitos de resíduos. Ao todo foram executadas 22 SEV's cuja localização é apresentada no "Mapa Planialtimétrico e de Localização dos Trabalhos de Sondagem e Geofísica Realizados no Depósito de Resíduos Sólidos da Vila Kroeff, Novo Hamburgo - RS." (Encarte).

O posicionamento das estações geofísicas foi feito através de um levantamento planialtimétrico expedito, utilizando o equipamento Wild T-2, que permitiu a ob-

tenção do mapa topográfico da área do levantamento apresentado no Encarte.

4.1.2 – Resultados Alcançados

- Condutividade elétrica das águas

Foram realizadas 27 medições de condutividade elétrica em amostras de águas superficiais, no entorno do lixo, e de águas de poços rasos e profundos, de algumas residências e indústrias próximas, e de poços de monitoramento, construídos dentro e ao redor do depósito de lixo.

Os valores medidos são apresentados na Tabela 1.

| Nº da Amostra | X | Y | Condutividade (σ) μ Sie- mens/cm | Temperatura ($^{\circ}$ C) | Local de coleta | Profundidade de amostragem |
|---------------|-------|--------|---|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| AG-01 | 583.5 | 950 | 115 | 14.3 | Superficial, alagado do Sinos | |
| AG-02 | 145 | 675 | 49 | 17 | Superficial c/ água da chuva | |
| AG-03 | -29 | -21.5 | 388 | 17.5 | Superficial | |
| AG-04 | 50 | 50 | 264 | 19.2 | Superficial | |
| AG-05 | 157 | 57 | 508 | 17.4 | Superficial | |
| AG-06 | 337 | 80 | 630 | 16.2 | Superficial | |
| AG-07 | 13 | -133.5 | 154 | 20 | Poço Doméstico | 41 metros |
| AG-08 | -91 | -146 | 132 | 20.8 | Poço Doméstico | 72 metros |
| AG-09 | 141 | -64 | 233 | 20 | Poço Doméstico | 21 metros |
| AG-10 | 141 | -64 | 234 | 19.1 | Poço Doméstico | 13 metros |
| AG-11 | 140 | 145 | 1124 | 21.2 | Poço 04 | 5.0 / 7.0 m |
| AG-12 | 144 | 225 | 1832 | 19.9 | Poço 05 | 7.5 / 9.5 m |
| AG-13 | 179 | 283 | 502 | 18.2 | Banhado com Chorume | |
| AG-14 | 183 | 278 | 5530 | 17.3 | Chorume | |
| AG-15 | 186 | 276 | 5470 | 14.1 | Chorume | |
| AG-16 | 195 | 250 | 193 | 23.2 | Poço 15 | 22.3 / 24.3 m |
| AG-17 | 245 | 250 | 1310 | 22.4 | Poço 16 | 39.5 / 41.5 m |
| AG-18 | 400 | 370 | 1558 | 22 | Poço 07 | 7.05 / 9.05 m |
| AG-19 | 528 | 462 | 412 | 18.5 | Poço 11 | 2.2 / 4.2 m |
| AG-20 | 604 | 298 | 280 | 19.3 | Poço 13 | 2.6 / 4.6 m |
| AG-21 | 147 | 511 | 781 | 19.6 | Poço 14 | 3.0 / 5.0 m |
| AG-22 | 25 | 610 | 348 | 20.9 | Poço 09 | 6.6 / 8.6 m |
| AG-23 | 37 | 443 | 523 | 19.5 | Poço 02 | 2.60 / 4.60 m |
| AG-24 | 191 | 5 | 131 | 19 | Poço 12 | |
| AG-25 | 510 | -84 | 147 | 20.8 | Industria Jasot | 93 metros |
| AG-26 | 482.5 | 6.5 | 234 | 20.7 | Industria Jasot | 86 metros |
| AG-27 | | | 80 | 14.8 | Rio dos Sinos | |

Tabela 1- Valores de Condutividade -

As condutividades apresentaram valores que variam de 49 a 5530 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com média de 857 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As amostras coletadas dentro da área de influência do depósito de lixo (poços de monitoramento e proximidades da zona de exsudação do chorume), apresentaram valores médios de 1866 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As oriundas de fora da área do lixo (poços rasos e profundos, poços de monitoramento e águas superficiais) apresentaram média de 264 μS . Estes resultados permitem prever a eficácia da metodologia aplicada na detecção da pluma. As amostras visualmente afetadas pela con-

taminação apresentam valores bem acima dos demais. De um modo geral, valores inferiores a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ correspondem a amostras não contaminadas.

- EM-34-3 – Mapas de condutividade elétrica aparente e de anomalias geofísicas (**Figuras 2 a 8**).

O método EM-34 foi aplicado na área com a finalidade de determinar a extensão lateral e em profundidade da pluma de contaminação das águas subterrâneas, provocada pelo depósito de lixo, **Foto 1**.



Foto 1 – Operação do EM-34, método eletromagnético.

Foi levantada uma malha regular 50x50 metros, com parâmetros para mapear a condutividade elétrica aparente (mS/m) em três níveis distintos: 7,5, 15 e 30 metros. Essas profundidades indicam a espessura máxima de contribuição dos materiais em subsuperfície para os valores medidos em cada nível. Por exemplo, para o nível 7,5 m o mapa de condutividade representa o efeito dos materiais existentes

desde a superfície até a profundidade de 7,5 metros.

Também foram feitas medidas em estações internas ao lixão com parâmetros para alcance até 60 metros de profundidade. Essas leituras tiveram como objetivo estabelecer com maior grau de segurança a extensão máxima da contaminação em profundidade abaixo do lixão.

Os valores medidos pelo EM-34-3, nos diferentes níveis mapeados, variaram entre 0 e 280 mS/m (Figuras 2, 4 e 6). O relevo do terreno não tem influência significativa sobre os valores de condutividade medidos na área, não sendo necessária a aplicação de procedimentos para corrigir os efeitos da topografia sobre os dados obtidos.

A partir de uma análise estatística dos dados medidos foi possível definir o *background* da área. Nos três níveis observados foram considerados anômalos os valores iguais ou maiores que 40 mS/m.

A Figura 2 apresenta a anomalia detectada no nível mais superficial: 7,5 metros. Confirma-se a relação entre valores elevados de condutividade e o depósito de lixo. Lateralmente observa-se o avanço mais intenso da contaminação para oeste e noroeste do depósito, atingindo a sua maior extensão no canto superior noroeste, onde a anomalia detectada alcança 100 metros de distância da borda do lixão. A Figura 3 apresenta a anomalia do nível 7,5 m em três dimensões, com realce da faixa anômala de noroeste.

A Figura 4 apresenta a anomalia detectada no nível intermediário: 15 metros. A extensão lateral neste nível aparece reduzida, desaparecendo a pluma de noroeste, mais superficial. Praticamente, somente na borda oeste, junto ao paralelo 200, observa-se a extensão por cerca de 50 metros, da pluma de contaminação para além dos limites do lixão. A Figura 5 apresenta a anomalia observada no nível intermediário: 15 metros, em 3-D.

A Figura 6 apresenta a anomalia detectada no nível mais profundo: 30 metros. Com exceção da borda oeste, em torno da coordenada 200, onde a anomalia mantém-se por cerca de 50 metros além dos limites do lixão, nas demais direções os valores anômalos aparecem em uma área menor que nos níveis superiores, sugerindo que a extensão lateral da contaminação reduz-se com a profundidade. A Figura 7 apresenta a mesma anomalia em representação 3-D.

A Figura 8 corresponde aos perfis medidos com parâmetros para alcançar o efeito da contaminação inclusive até 60 metros, ao longo da longitude 145. Esse resultado mostra a tendência de fechamento lateral da pluma com a profundidade. Além disso, confirma-se a extensão da pluma para oeste.

Os resultados obtidos através do EM-34-3 indicam que a dispersão dos contaminantes ocorre de forma muito lenta em profundidade. Somente no nível mais superficial é observada uma pluma mais extensa, avançando cerca de 100 metros além dos limites do lixão. Nos níveis mais profundos a pluma recua, praticamente estando contida lateralmente pelos limites do depósito. Esse fato, por si só, seria muito positivo caso os resíduos não se encontrassem em contato direto com o nível d'água superficial na área, e frequentemente interligado ao rio dos Sinos.

As anomalias definidas nos níveis mais profundos não significam, necessariamente, uma contaminação profunda. Os valores medidos têm a contribuição dos materiais desde a superfície até os níveis de referência 7,5, 15, 30 e 60 metros, portanto, podendo refletir efeitos de contaminações mais superficiais.

- Sondagens Elétricas Verticais – SEV's – Interpretação quantitativa

As 22 sondagens elétricas verticais (SEV's) foram modeladas/interpretadas e os resultados são apresentados no Anexo 1. As SEV's 13, 15, 20 e 22 foram calibradas nos poços 7, 12, 15 e 16, permitindo estabelecer a correlação entre os diferentes tipos de materiais e os valores das resistividades medidas. Esta correlação é apresentada na Tabela 2.

Os valores obtidos na calibragem das SEV's, junto aos poços de monitoramento (Tabela 2) permitiram caracterizar e separar os sedimentos contaminados daqueles não contaminados, a partir das resistividades medidas. O pacote com depósito de lixo, bem como os sedimentos subjacentes que receberam ou estão recebendo

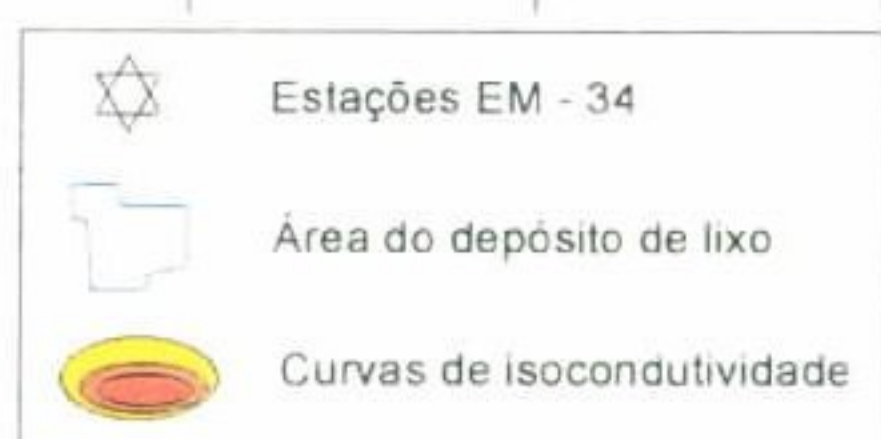
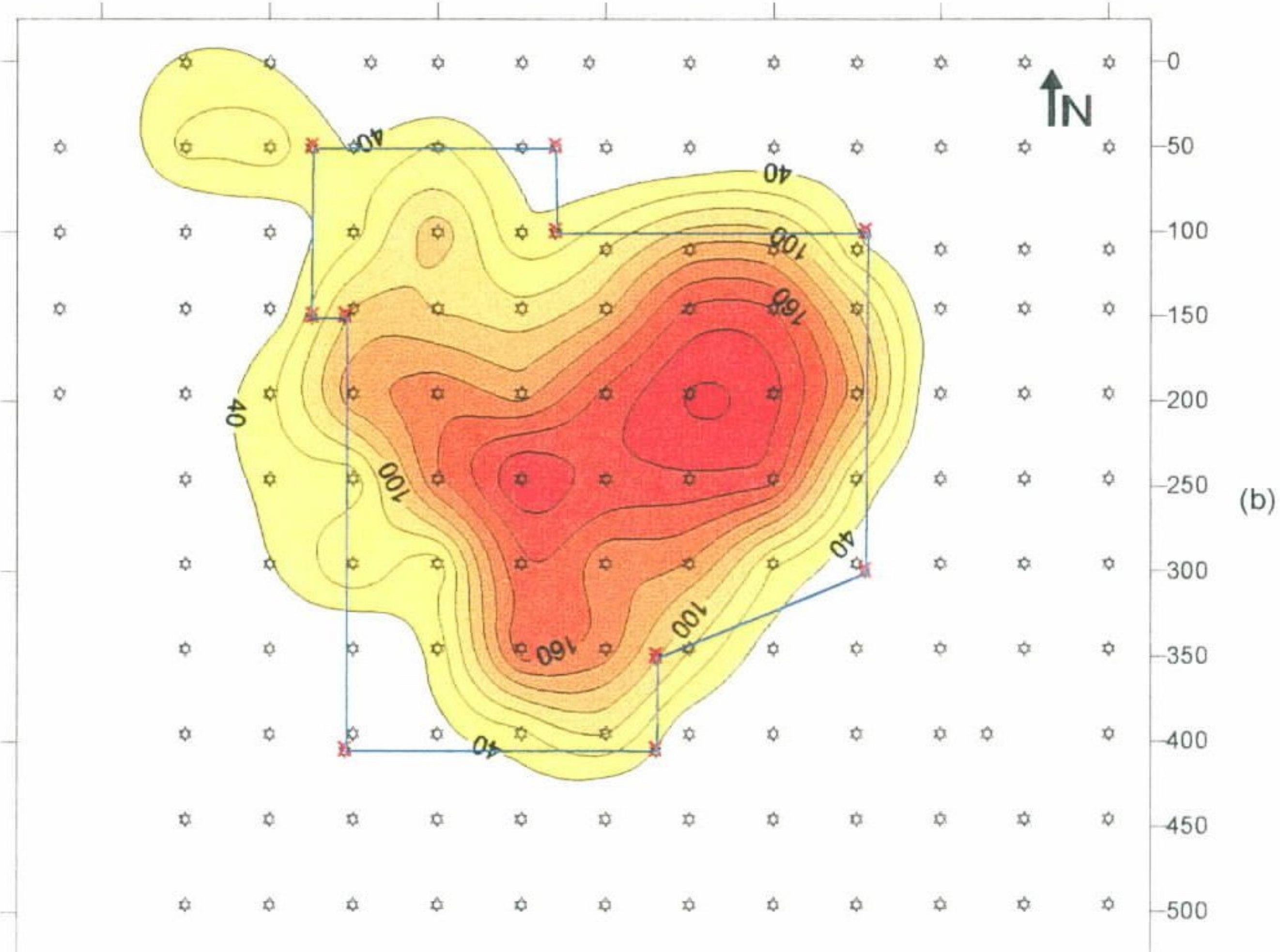
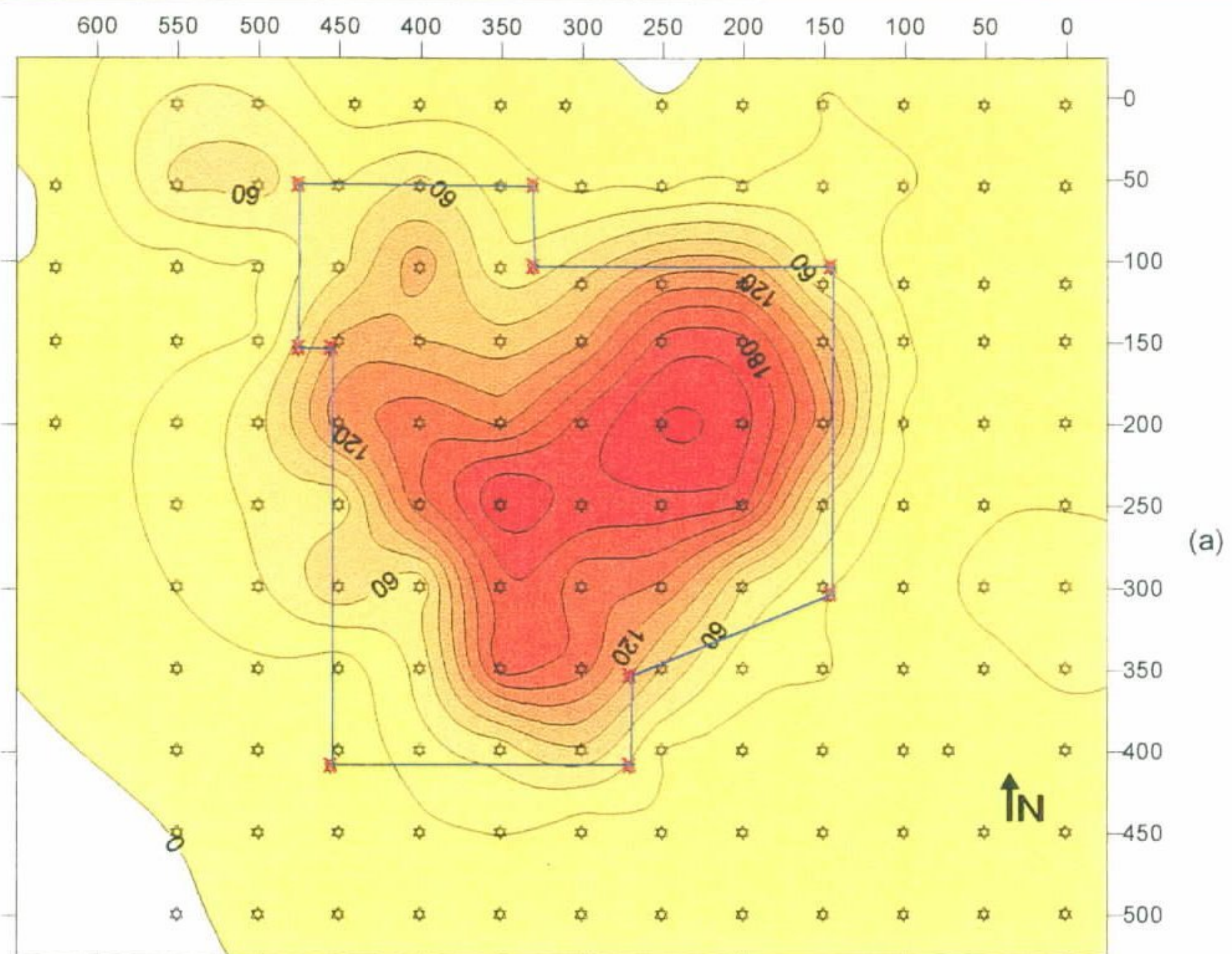


Figura 2 – EM-34-10. Alcance em profundidade até 7,5 metros. (a) Mapa de Contorno de Condutividade Elétrica (mSiemens/m). (b) Anomalia de Condutividade detectada, caracterizando os efeitos da pluma de contaminação até 7,5 metros na área.

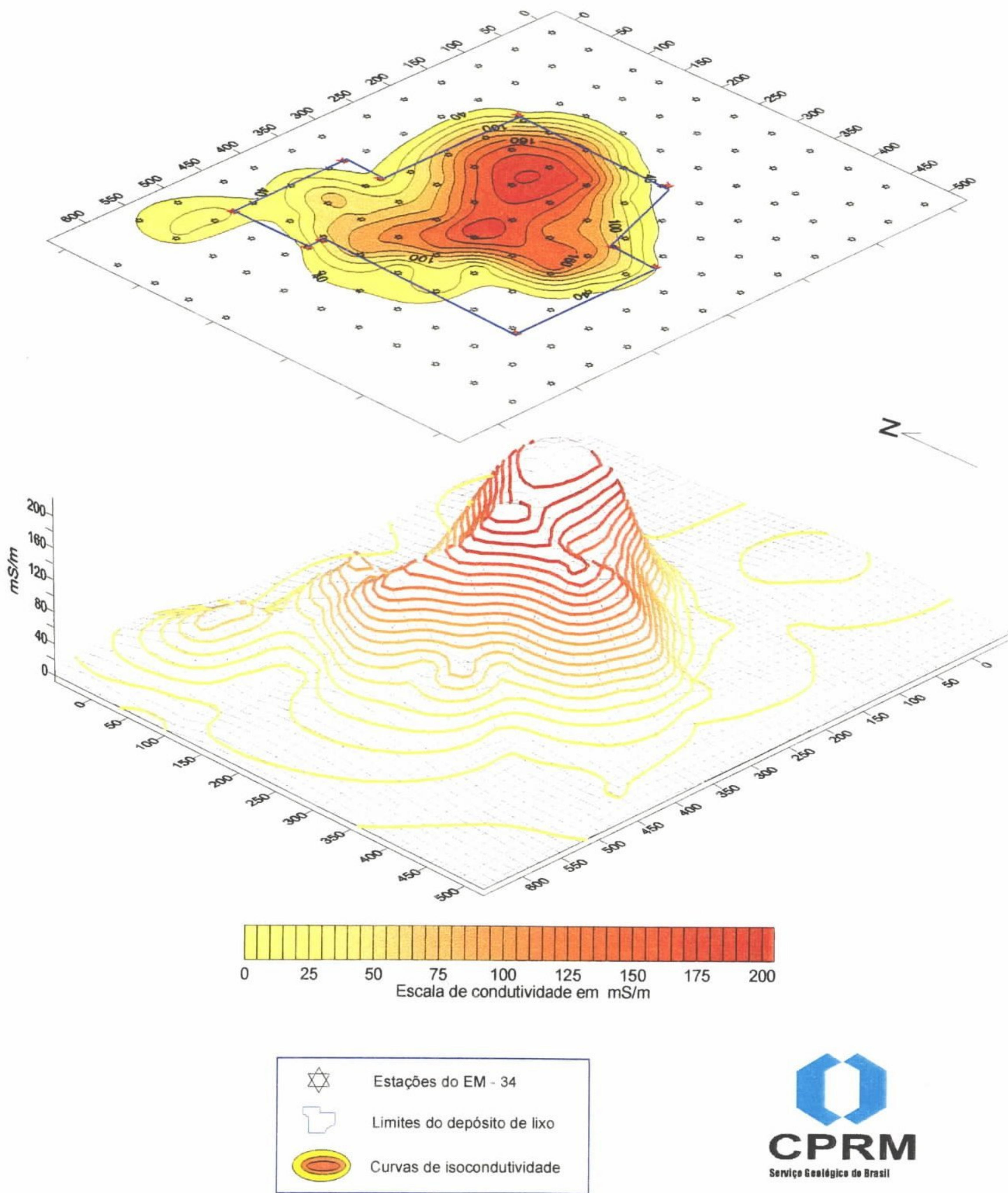


Figura 3 – EM-34-10. Representação em 3-D dos efeitos da pluma de contaminação até 7,5 metros.

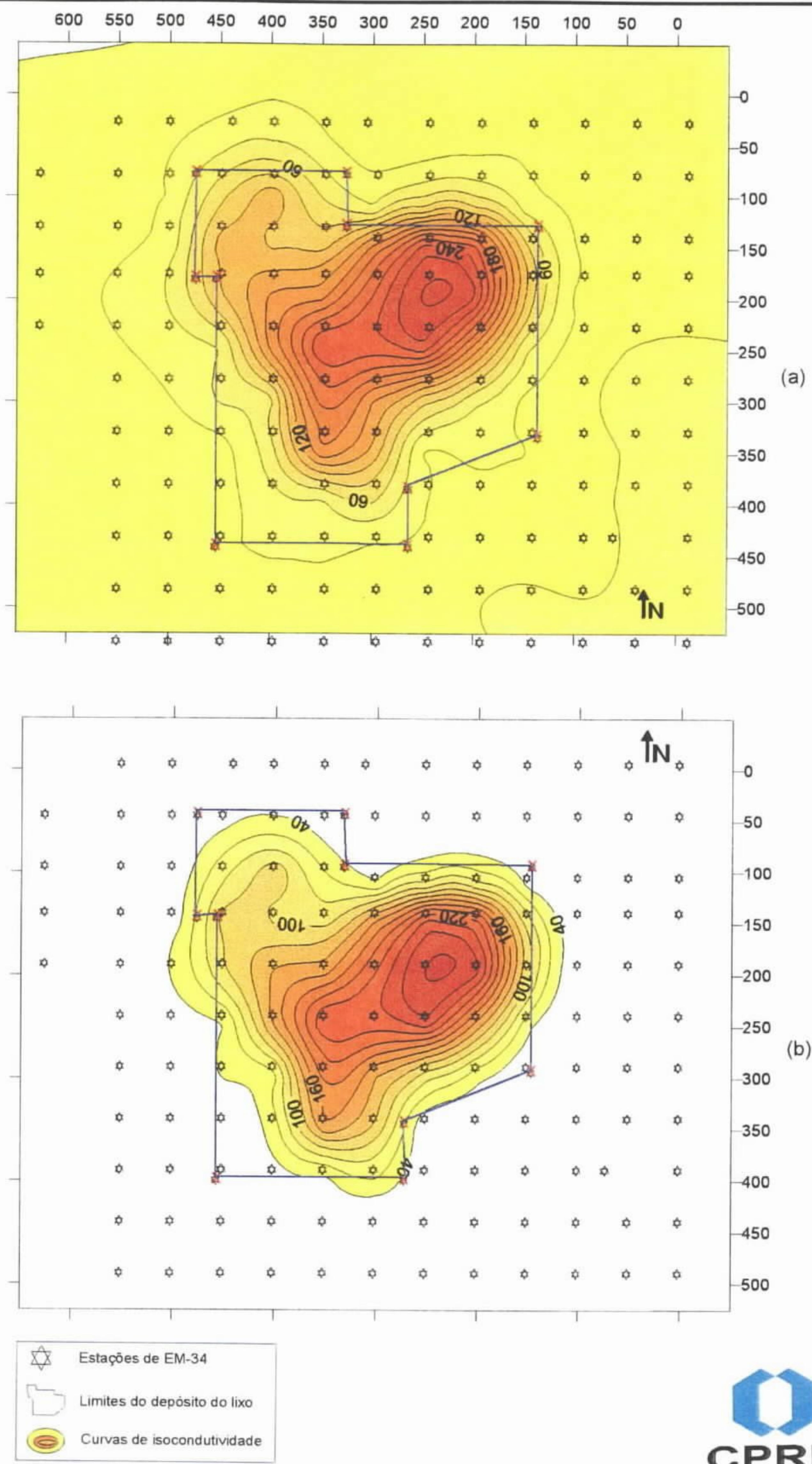


Figura 4 – EM-34-20. Alcance em profundidade até 15 metros. (a) Mapa de Contorno de Condutividade Elétrica (mSI-EMENS/m). (b) Anomalia de Condutividade Detectada, caracterizando os efeitos da pluma de contaminação até 15 metros na área.

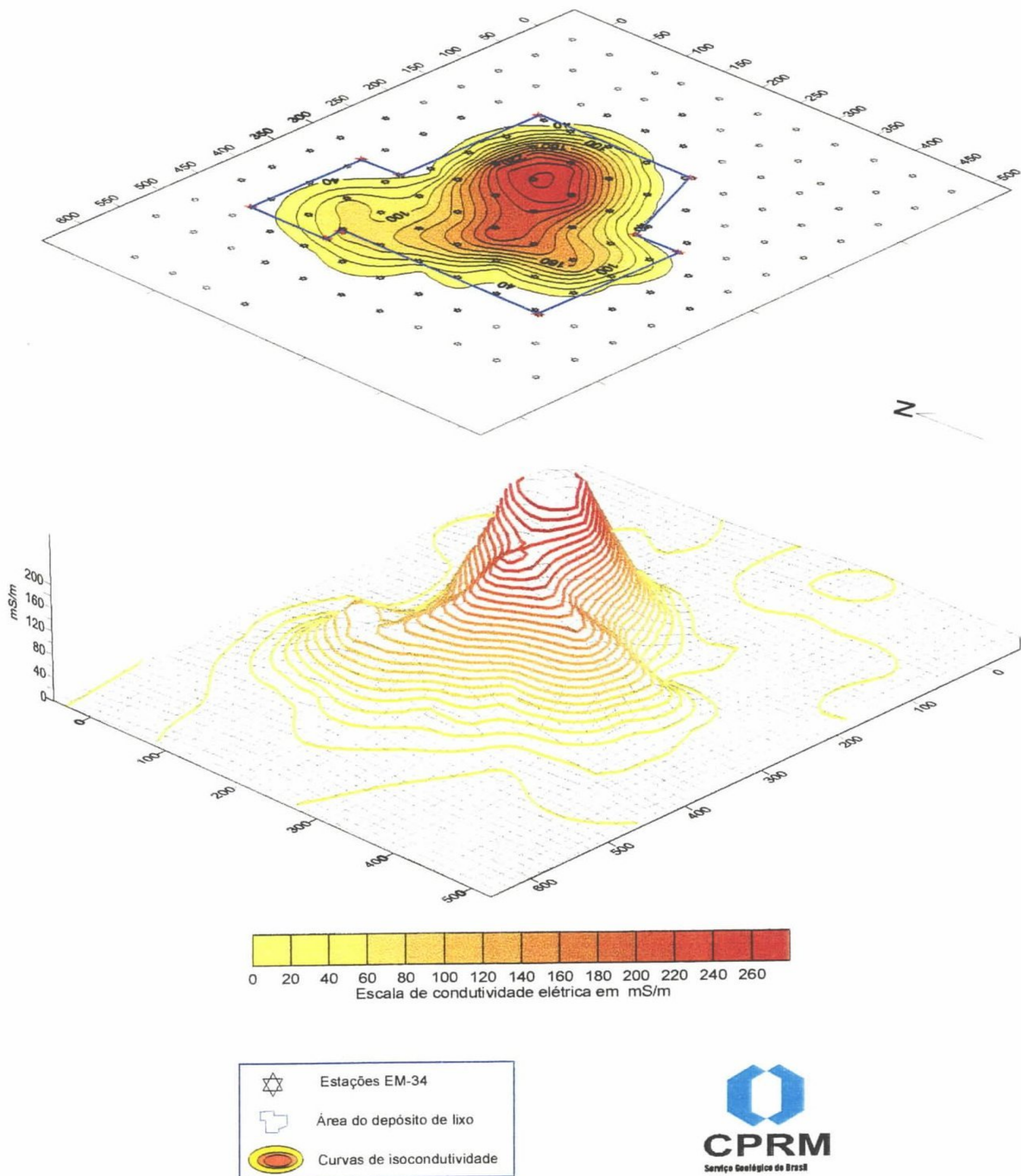


Figura 5 – EM-34-20. Representação em 3-D dos efeitos da pluma de contaminação até 15 metros.

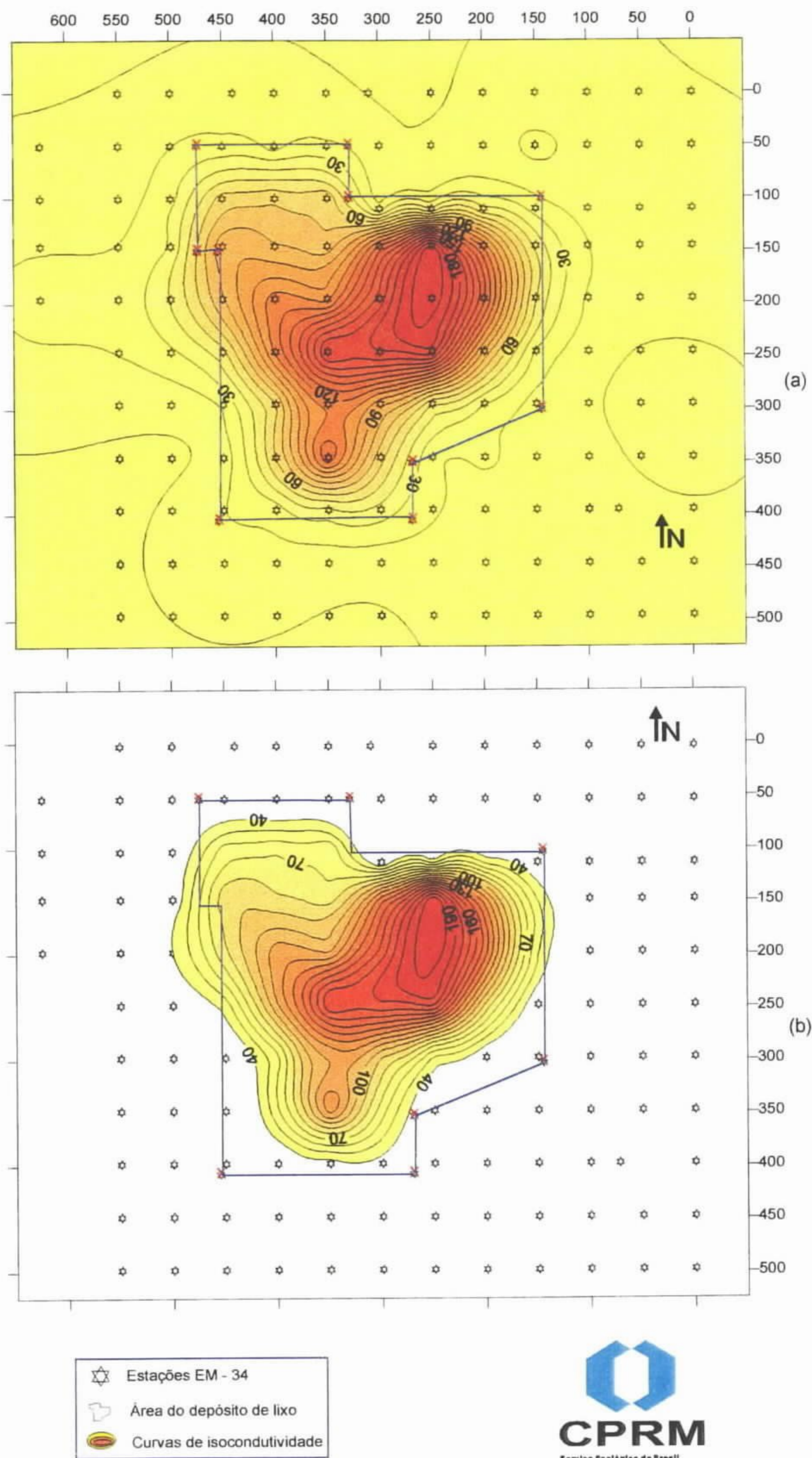
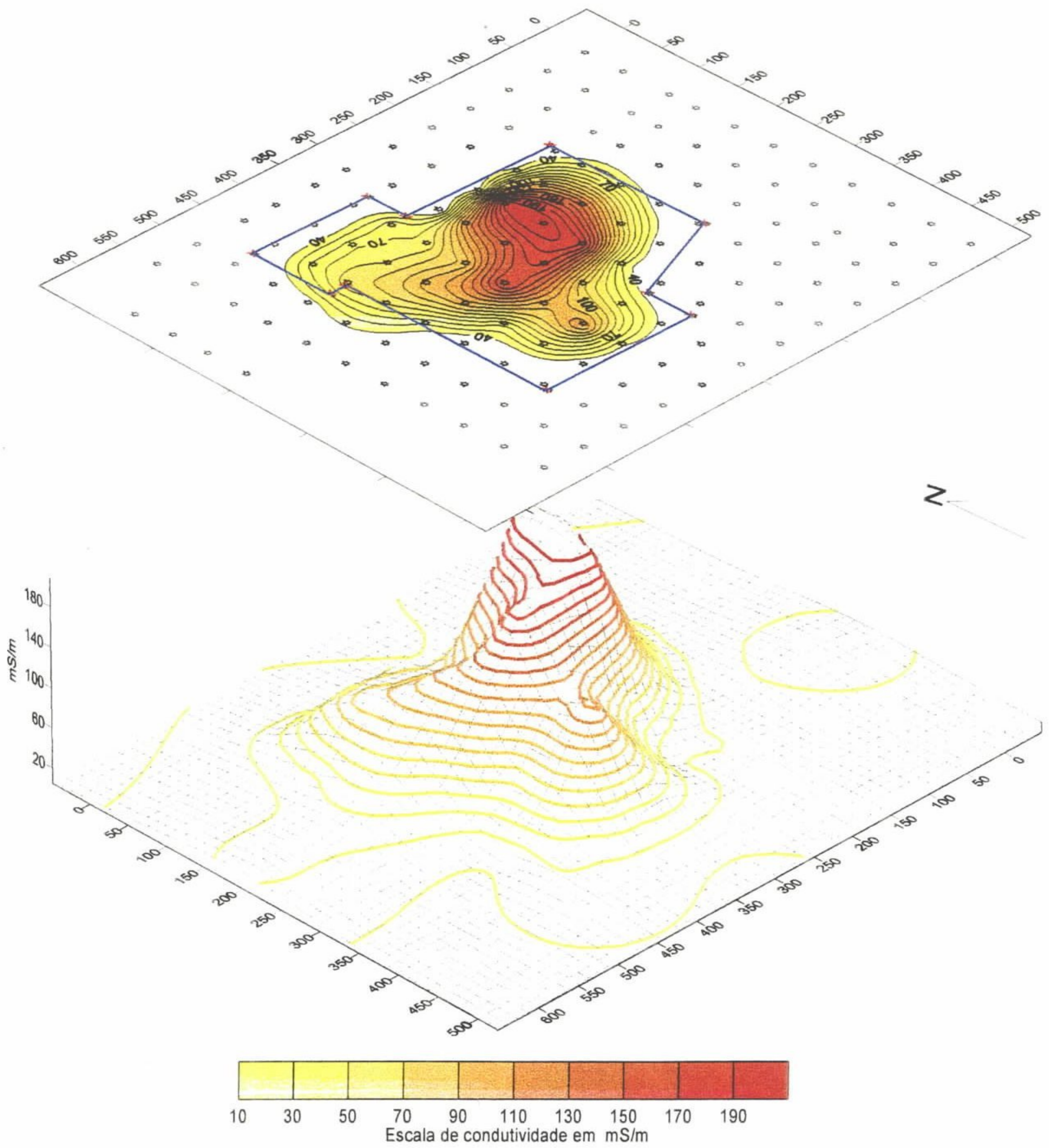


Figura 6 – EM-34-40. Alcance em profundidade até 30 metros. (a) Mapa de Contorno de Condutividade Elétrica (mSI-EMENS/m). (b) Anomalia de Condutividade detectada, caracterizando os efeitos da pluma de contaminação até 30 metros na área.






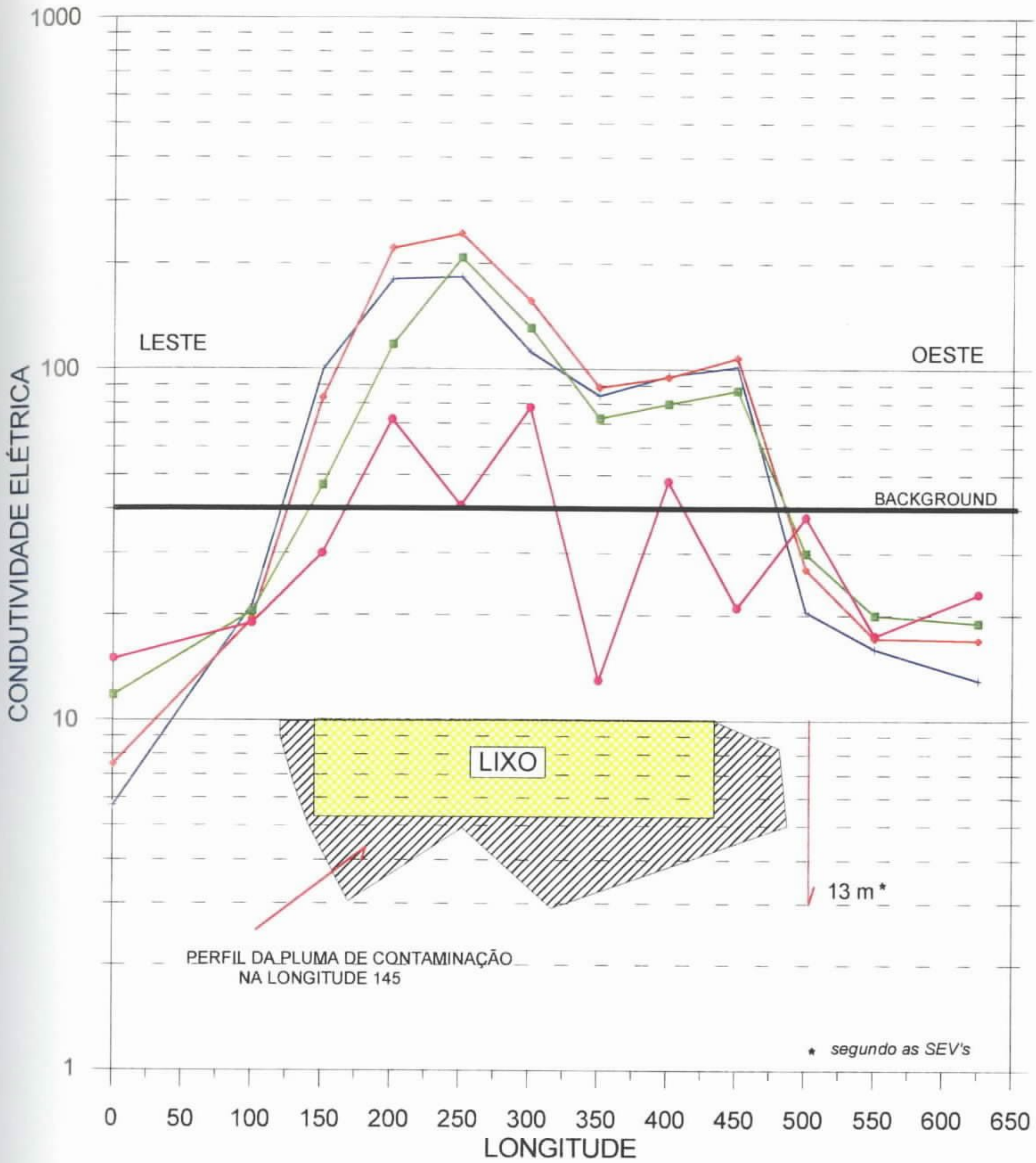
-  Estações EM - 34
-  Área do depósito de lixo
-  Curvas de isocondutividade



Figura 7 – EM-34-40. Representação em 3-D dos efeitos da pluma de contaminação até 30 metros.



- EM - 34-3_10 - Profundidade até 7,5 m
- EM - 34-3_20 - Profundidade até 15 m
- EM - 34-3_40 - Profundidade até 30 m
- EM - 34-3_40DV - Profundidade até 60 m



Figura 8 – Perfil de Condutividade Elétrica - EM-34-3 – LINHA 145.

| MATERIAL | RESISTIVIDADE | OBS |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------|
| Aterro | 40 a 120 ohm.m | Acima do Freático |
| Lixo varado em matriz argilosa | 1,0 a 13 ohm.m | Abaixo do Freático |
| Areia fina (sem contaminação) | 300 a 700 ohm.m | Idem |
| Areia argilosa (sem contaminação) | 100 a 250 ohm.m | Idem |
| Argila arenosa (sem contaminação) | 20 a 70 ohm.m | Idem |
| Areia argilosa (com contaminação) | 1,0 a 12 ohm.m | Idem |
| Argila arenosa (com contaminação) | 1,0 a 10 ohm.m | Idem |
| Argila (com chorume) | 1,0 a 2,0 ohm.m | Idem |
| Areia fina (com contaminação) | 2,0 a 15 ohm.m | Idem |

Tabela 2: Valores de resistividade nos diferentes tipos de material encontrados nos furos de sondagem.

do os fluidos provenientes da "lavagem" deste lixo pela água da chuva, apresentaram resistividades situadas entre 1 e 15ohm.m. A modelagem das SEV's (Anexo 1) realizadas no interior do lixão permitiu definir com segurança as profundidades atingidas pela contaminação. A Tabela 3 resume os resultados das sondagens elé-

tricas que detectaram a contaminação, com as espessuras da contaminação. A comparação das descrições dos poços com as SEV's mostra que existem vazamentos sob o depósito, porém com extensões limitadas, inferiores a 6 metros além da base do lixão, bem menores que o indicado pelo EM-34-3.

| Sondagem Elétrica | Topo da Zona Contaminada | Base da Zona Contaminada | Espessura da Zona Contaminada | Espessura do Lixo |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Sev-nh-06 | 0,6 m | 8,9 m | 8,3 m | |
| Sev-nh-07 | 0,8 m | 8,7 m | 7,9 m | |
| Sev-nh-08 | 1,6 m | 8,0 m | 6,4 m | |
| Sev-nh-09 | 1,6 m | 7,4 m | 5,8 m | |
| Sev-nh-10 | 0,4 m | 8,8 m | 8,4 m | |
| Sev-nh-11 | 1,5 m | 12,9 m | 11,4 m | |
| Sev-nh-12 | 0,0 m | 8,9 m | 8,9 m | |
| Sev-nh-13 | 0,8 m | 5,1 m | 4,3 m | 3,60 m |
| Sev-nh-14 | 0,3 m | 6,9 m | 6,6 m | |
| Sev-nh-20 | 0,5 m | 11,7 m | 11,2 m | 5,80 m |
| Sev-nh-21 | 0,6 m | 8,4 m | 7,8 m | |
| Sev-nh-22 | 0,9 m | 8,0 m | 7,1 m | 5,60 m |

Tabela 3 – Resultados das sondagens elétricas mostrando a espessura da zona contaminada.

• Mapa do Nível Freático

Com base nas informações obtidas nas sondagens mecânicas foi possível construir um mapa de contornos da cota do nível freático da área estudada (Figura 9).

Observa-se a ocorrência de um alto, de direção aproximada E-W, que atravessa toda a área, caracterizando uma linha divisora de águas (zona de recarga) que passa sob o depósito de lixo. As linhas de fluxo predominam na direção sul, com gradien-

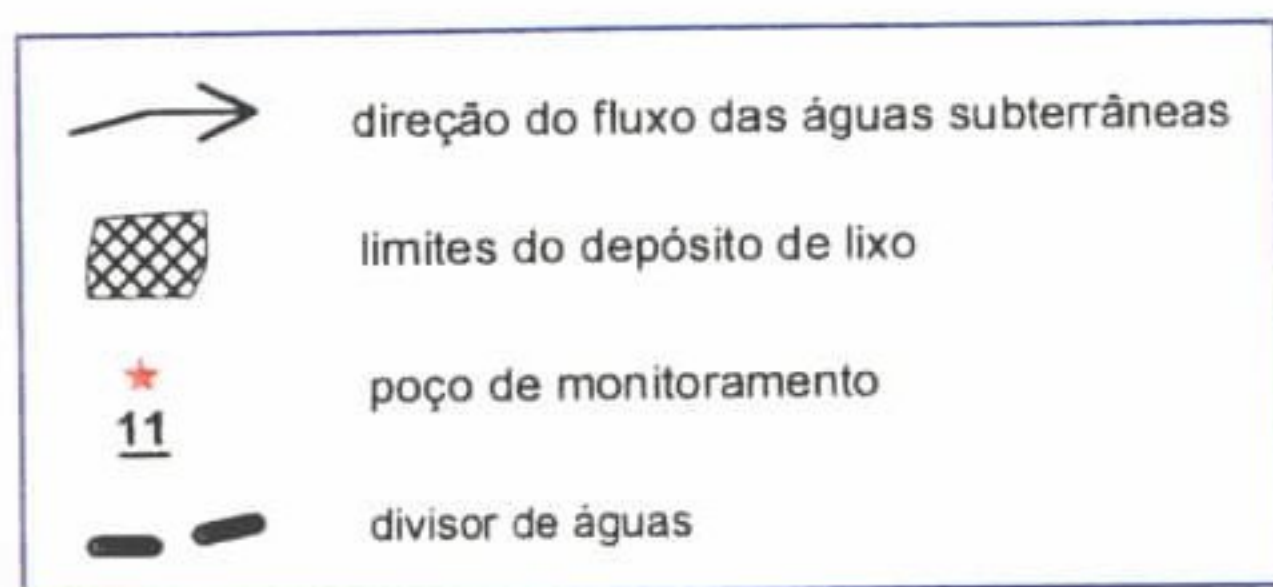
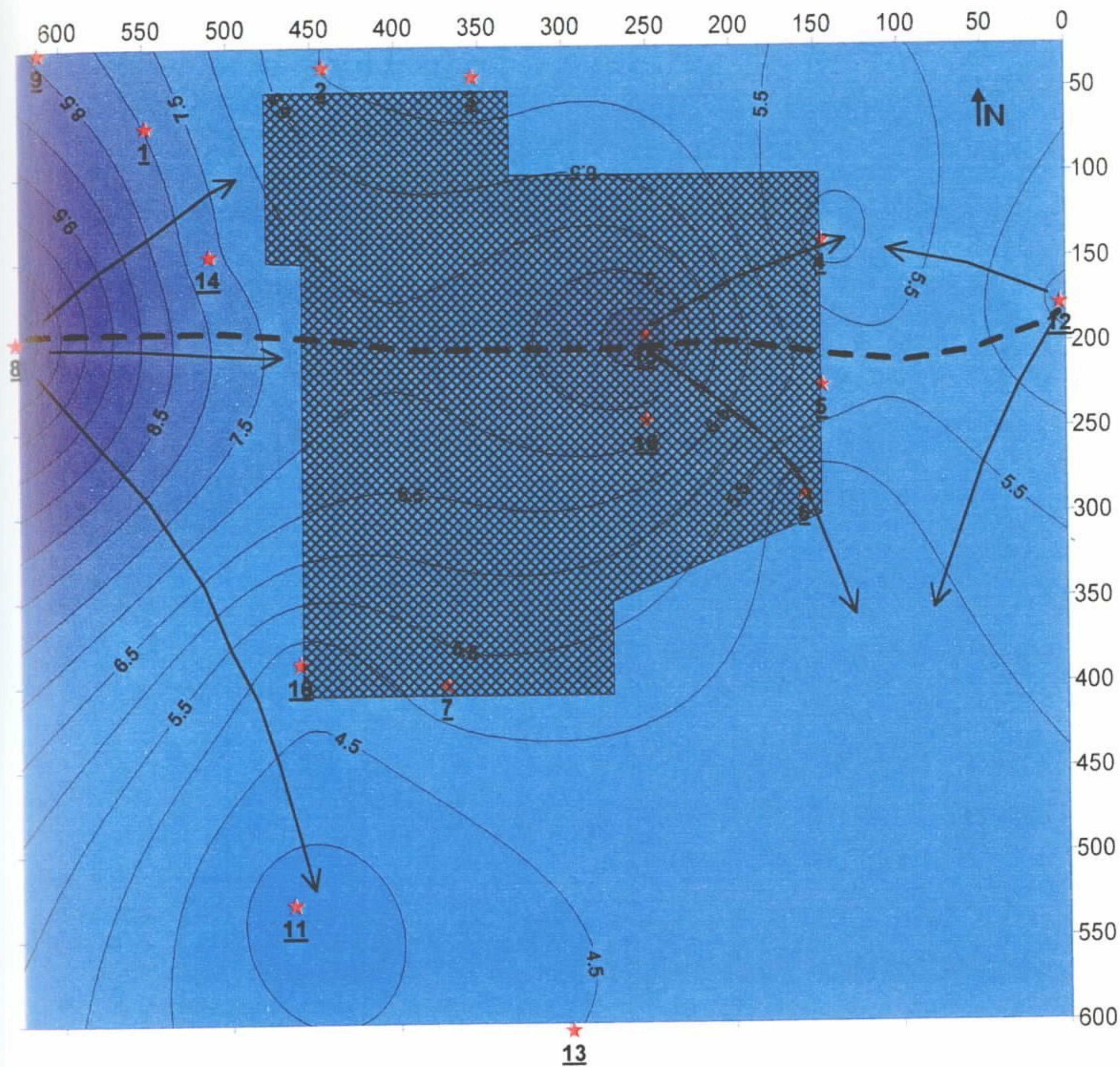


Figura 9 – Mapa de Contornos da Cota do Nível Freático. Informações obtidas de poços de monitoramento.

tes hidráulicos muito baixos, da ordem de 0,02 cm/m em todas as direções. Do furo 15 para o os furos 6 e 4 observa-se um gradiente mais acentuado na direção sudeste e noroeste, respectivamente, onde a velocidade de fluxo atinge 0,055 cm/m.

4.1.3 – Cálculo de Parâmetros Adicionais

- Porosidade

Considerando que o material na área apresenta importante fração argilosa, sobretudo no encontrado abaixo do depósito, decidiu-se pela estimativa da porosidade (ϕ) efetiva do mesmo através da fórmula definida por Sinandoux (1963):

$$1/\phi_r = V_{arg}/\phi_{arg} \cdot S_w + \phi^m / a \cdot \phi_w \cdot S_w^2$$

sendo:

ϕ_r (resistividade da rocha)= 20 ohm.m (definida pelas Sev's na zona saturada);

ϕ_w (resistividade da água)= 53 ohm.m (média das amostras dos poços em áreas não contaminadas);

$a=1$, $m=1,3$ (material inconsolidado);

S_w (grau de saturação)= 1 (zona saturada);

V_{arg} (fração argila)= 0,45 (admitida como valor médio 45 % a partir das descrições dos poços);

ϕ_{arg} (resistividade da argila)= admitida como 10 ohm.m.

Com a aplicação desta equação, obtem-se um valor de 36 % para a porosidade (ϕ). Considerando um coeficiente de retenção específica igual a 30 %, compatível com valores encontrados em materiais argilo-arenosos a areno-argilosos, obtém-se 6 % para a porosidade efetiva dos materiais sotopostos ao lixo. Esse resultado deve ser entendido apenas como uma referência em termos quantitativos, tendo em vista que : as *resistividades elétricas* utilizadas no cálculo foram definidas indiretamente a partir dos métodos geofísicos e os coeficientes a , m e a *fração argila* foram estabelecidos com base na média das descrições dos materiais encontrados nos poços.

- Velocidade Lateral de Circulação

A estimativa da velocidade lateral de circulação das águas subterrâneas na área pode ser obtida através da fórmula

$$V = (k / \phi_e) \cdot g \text{ (Astier, 1982),}$$

onde:

V = velocidade lateral de circulação;

$k= 10^{-5}$ cm/s (condutividade hidráulica, obtida com base em Heath (1982) , a partir da descrição geológica dos poços);

$\phi_e= 0,06$ (porosidade efetiva calculada);

$g_1= 2$ cm/m (gradiente hidráulico médio para a área, obtido no mapa da superfície do nível freático);

$g_2 = 5,5$ cm/m (definido entre o furo 6 e o 15, na direção sudeste **Figura 9**). Com a aplicação da equação obtém uma velocidade lateral média de circulação:

$V_1 = 3,33 \times 10^{-6}$ cm/s = 0,28 cm/dia ~ 1,05 m/ano; e

$V_2 = 9,16 \times 10^{-6}$ cm/s = 0,77 cm/dia ~ 2,89 m/ano, na direção sudeste.

- Mapa de TDS – Sólidos Totais Dissolvidos

Admitindo a relação $\sigma_r = \text{TDS}/14$ entre a condutividade elétrica dos sedimentos definida pelo EM-34-3 (15 metros) e os sólidos totais dissolvidos, obtida a partir dos resultados das amostras dos poços analisados, obtém-se indiretamente um Mapa da Variação do TDS – Sólidos Totais Dissolvidos para a área (**Figura 10**). A escolha do nível EM-34-3 (15 metros) baseou-se na melhor correlação profundidade das amostras/condutividade medida. Os valores acima de 500 ppm, usualmente considerados água não potável, delimitam a zona aproximada de contaminação do lixo. As plumas correlacionam-se à anomalia de condutividade (**Figuras 2, 4 e 6**), estendendo-se para leste e, principalmente, para oeste/noroeste.

4.2 Sondagem

O programa de sondagem teve

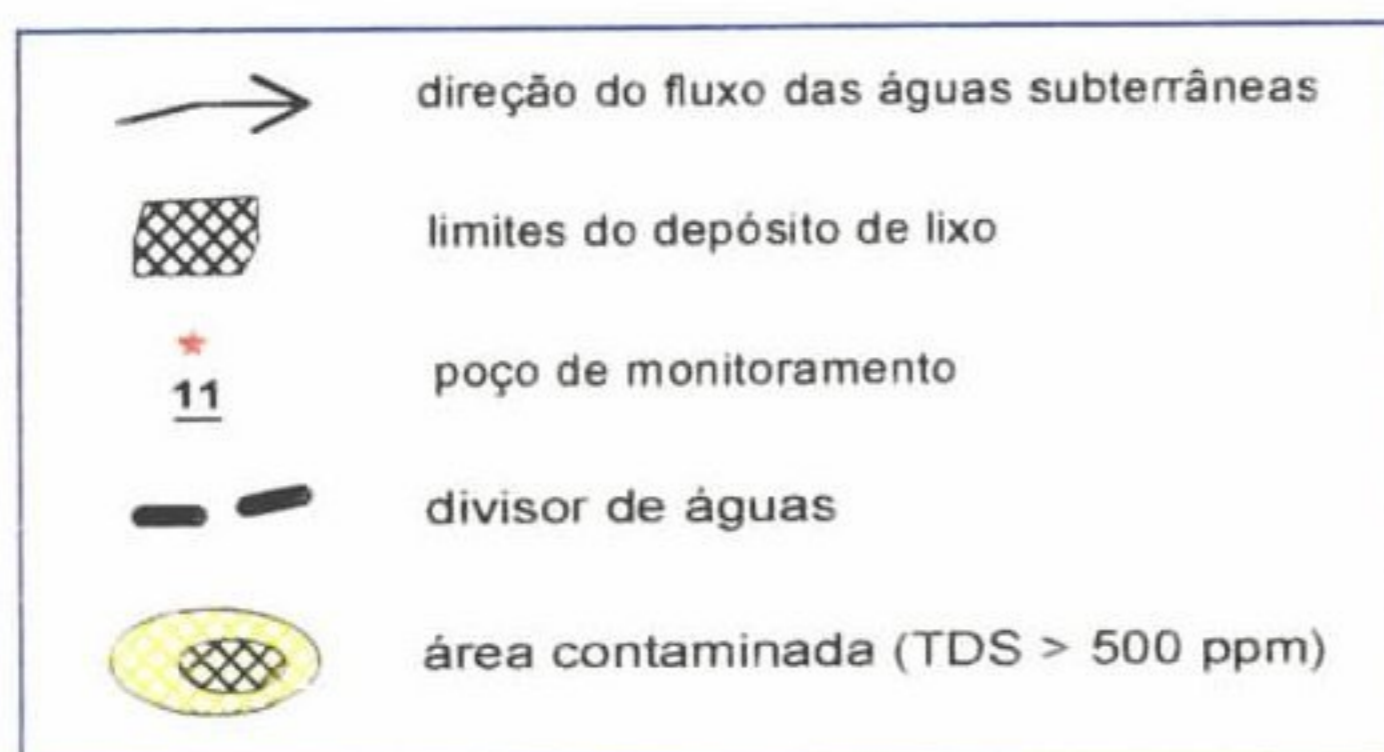
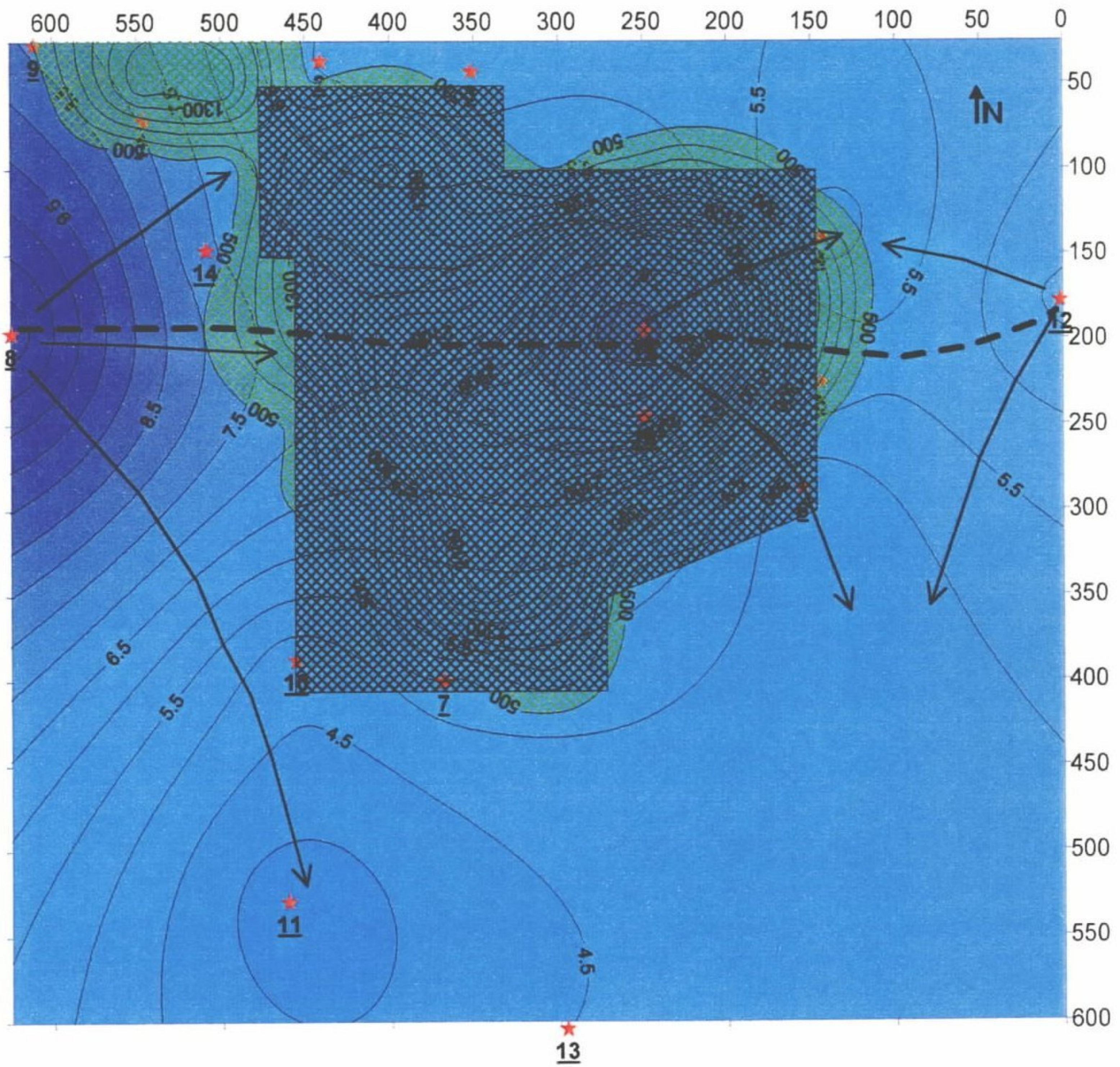


Figura 10 - Mapa da Área Contaminada (TDS > 500 ppm, com base no EM-34-3 - 7,5 metros)

como objetivo principal a verificação de anomalias de condutividade da água subterrânea com registros de contaminação identificados pelo levantamento geofísico, e a implantação de uma rede de monitoramento permanente das águas subterrâneas. Paralelamente, permitiu também conhecer as características geológicas dos sedimentos aluvionares e rochas sedimentares do substrato rochoso, diretamente atingidos ou no seu entorno, por ação da pluma poluidora gerada a partir do depósito de lixo.

As sondagens, executadas através de trado mecanizado e por sonda rotativa,

possibilitaram a seleção de furos para a construção dos poços de monitoramento das águas em diferentes profundidades.

4.2.1- Sondagem a Trado Mecanizado

As atividades de sondagem a trado mecanizado foram realizadas com a utilização de um equipamento modelo MB-1 (Foto 2), com capacidade de perfuração de até 20 metros. Para a coleta de amostras de rocha, foram utilizados amostradores com 20 centímetros de comprimento e diâmetros variáveis de 5, 4 e 3 polegadas, de acordo com as condições do terreno perfurado.



Foto 2 – Operação de sondagem com trado mecanizado. Perfuração do furo 05 utilizando o trado modelo MB-1.

Neste programa de sondagem a trado, foram executados 14 (quatorze) furos que alcançaram profundidades variáveis, permitindo determinar a espessura das aluviões e o início da seqüência de arenitos. O total perfurado alcançou 87,75 metros, com o valor mínimo de 2,10 metros de profundidade no furo 03 e máximo de 10,40 metros no furo 05. A média de perfuração por furo foi de 6,26 metros, em função da limitação para o avanço do trado ao encontrar o substrato arenítico (Tabela 4).

O diâmetro das brocas utilizadas na perfuração foi de 5 polegadas, eventualmente tendo sido empregadas brocas de 3 polegadas (intervalos com lixo), procedendo-se uma provisória cimentação a partir da superfície para conter desmoronamentos, e posterior recorte da coluna em diâmetro de 5 polegadas, a fim de permitir o prosseguimento da operação de sondagem.

Os furos 04 e 07 foram os únicos

que seccionaram o pacote de resíduos, tendo sido feita a devida cimentação desde a superfície até abaixo dele, para evitar a percolação de chorume. Nestes dois furos foram instalados poços para monitoramento das águas subterrâneas que se encontram abaixo da camada de lixo, isolando-se estas águas daquelas da parte superior, que obviamente circulam contaminadas pelo chorume(Foto 3). Nos furos

que não foram aproveitados como poços para a coleta de água, foi feito o tamponamento total da coluna perfurada com argila. Nesses furos, também não foi atravessado o pacote de resíduos. O demonstrativo da produção de sondagem, contendo as especificações e objetivos de todos os furos e poços instalados, pode ser observado na Tabela 4.



Foto 3 – Isolamento de poço de monitoramento hídrico. Local: Poço 05, situado na margem leste do depósito de resíduos.

A maior espessura de lixo, perfurada nas sondagens a trado, foi no furo 07, compreendida no intervalo 0,00 - 3,60 metros e a menor, no furo 04, entre 2,40 e 2,80 metros. Em diversos locais foi tentada a perfuração do lixo a partir da superfície com o uso do trado, sem contudo obter-se êxito devido à heterogeneidade do material, composto principalmente por resíduos industriais e domésticos, como: plásticos, tecidos, madeira, couro, metais e borrachas. Nesses locais, de maior dificuldade para o avanço da perfuração a trado, a sondagem torna-se viável somente com a utilização de sonda rotativa, exigindo maior demanda de tempo e cuidados, geralmente sendo necessária a cimentação do intervalo com posterior recorte da coluna. As amostras coletadas com o trado foram acondicionadas em sacos plásticos e en-

tregues à Prefeitura Municipal de Novo Hamburgo.

4.2.2 - Sondagem Rotativa

As atividades de sondagem rotativa foram executadas visando complementar o programa de sondagens a trado, em razão da necessidade de serem perfurados aqueles setores onde existem as maiores espessuras de resíduos de natureza mista, permitindo, também, investigar zonas de maior profundidade da seqüência sedimentar, passíveis ou não de estarem contaminadas pela migração descendente do chorume.

A sondagem foi executada com a utilização de uma sonda Longyear, modelo 17 (Foto 4), dotada de avanço hidráulico. Simultaneamente aos trabalhos de perfura-

| SONDAGEM | FUROS | | | | | POÇOS DE MONITORAMENTO HÍDRICO | | FUNÇÃO ESPECÍFICA DO POÇO DE MONITORAMENTO | |
|------------------------------------|-------|--------------------------|-------|----------|------------------|--------------------------------|--------------------|--|--|
| | Furo | Coordenadas (m) EW NS | | Cota (m) | Profundidade (m) | Nível Freático | Nível estático (m) | | Revestimento - PVC (m) (pol) |
| SONDAGEM TRADO MECANIZADO A | 01 | 547,5 | 071,0 | 10,17 | 6,45 | 2,20 | * | * | Identificar e caracterizar a seqüência lito-estratigráfica |
| | 02 | 442,0 | 036,5 | 7,35 | 5,60 | 1,40 | 0,85 | 5,30 (3") | Monitoramento hídrico da pluma poluidora na margem norte do lixão. |
| | 03 | 352,5 | 042,5 | 6,28 | 2,10 | 0,60 | * | * | Identificar e caracterizar a seqüência lito-estratigráfica |
| | 04 | 145,0 | 140,5 | 7,09 | 7,70 | 2,40 | 1,60 | 7,70 (3") | Monitoramento hídrico da pluma poluidora na margem leste do lixão. |
| | 05 | 145,0 | 225,0 | 7,37 | 10,40 | 1,55 | 1,30 | 10,20 (3") | Monitoramento hídrico da pluma poluidora na margem leste do lixão. |
| | 06 | 156,0 | 287,5 | 4,86 | 4,50 | 0,30 | * | * | Identificar e caracterizar a seqüência lito-estratigráfica |
| | 07 | 370,0 | 401,0 | 5,93 | 9,35 | 0,60 | 1,20 | 9,35 (3") | Monitoramento hídrico da pluma poluidora na margem sul do lixão. |
| | 08 | 632,5 | 197,5 | 12,40 | 4,55 | 0,95 | * | * | Identificar e caracterizar a seqüência lito-estratigráfica |
| | 09 | 610,0 | 025,0 | 9,80 | 9,30 | 1,40 | 1,35 | 9,30 (3") | Monitoramento das águas freáticas a montante do depósito de lixo |
| | 10 | 457,5 | 387,5 | 5,26 | 5,60 | 0,65 | * | * | Identificar e caracterizar a seqüência lito-estratigráfica e presença ou não de lixo |
| | 11 | 462,0 | 529,0 | 5,16 | 4,90 | 1,50 | 1,00 | 4,90 (3") | Monitoramento hídrico da pluma poluidora após atravessar a área, 100 m a sul do lixão. |
| | 12 | 002,5 | 177,5 | 7,08 | 5,50 | 0,45 | * | * | Identificar e caracterizar a seqüência lito-estratigráfica |
| | 13 | 297,0 | 605,0 | 5,56 | 6,30 | 1,10 | 0,32 | 5,30 (3") | Monitoramento hídrico das águas após passagem pelo lixão, 200 m a sul do depósito. |
| | 14 | 510,0 | 147,0 | 8,25 | 5,50 | 0,65 | 0,65 | 5,50 (3") | Monitoramento da pluma poluidora na margem oeste do lixão. |
| SONDAGEM ROTATIVA DIAMANTE/VÍDIA A | 15 | 250,0 | 195,0 | 9,68 | 25,00 | 1,30 | 3,90 | 25,00 (3") | Identificar e caracterizar a seqüência lito-estratigráfica e monitoramento da pluma poluidora até 25 m profundidade. |
| | 16 | 250,0 | 245,0 | 9,21 | 50,60 | 1,90 | 3,80 | 42,00 (2") | Identificar e caracterizar a seqüência lito-estratigráfica e monitoramento da pluma poluidora até 50 m profundidade. |

Sondagem:

Número de furos: Trado Mecanizado -14; Sondagem Rotativa - 02

Sondagem a Trado Mecanizado: 87,75 metros

Sondagem Rotativa: 75,60 metros

Total Perfurado na Área: 163,35 metros

Poços:

Número de poços instalados: 10

Extensão linear de revestimentos: 124,55 metros

(*) Furos simples, sem revestimento

Tabela 4 - Demonstrativo da produção de sondagem e dos poços instalados no depósito de resíduos sólidos de Vila Kroeff.

ção foi feita a amostragem seletiva dos intervalos representativos das seqüências sedimentares, utilizando-se coroa diamantada com diâmetro BX, sendo destruídos os intervalos similares com coroa de aço vídia de 04 (quatro) polegadas de diâmetro.

A descrição destes intervalos, sem testemunhagem seletiva, dada sua similaridade com aqueles recuperados no barrilete, foi feita através do exame contínuo das amostras de calha no decorrer da perfuração.



Foto 4 – Detalhe dos trabalhos de sondagem rotativa com a utilização de sonda LongYear, modelo 17, durante a perfuração do furo 15.

De acordo com a resposta dos dados obtidos no levantamento geofísico, dois furos de sonda (furos 15 e 16) foram realizados no setor onde as informações indicavam que a pluma poluidora atingiu sua maior profundidade. As locações foram feitas respectivamente nos piquetes SEV-20 e SEV-22 do referido levantamento, pertencentes a uma linha de sondagem elétrica vertical que passa, em superfície, na porção central do depósito de resíduos. Os testemunhos de sondagem, assim obtidos, foram acondicionados em caixas apropriadas e entregues à Prefeitura Municipal de Novo Hamburgo.

4.2.3 - Poços de Monitoramento Hídrico e Perfis Litológicos de Sondagem

No programa de sondagem foram

executados, no total, 16 furos, sendo 14 a trado mecanizado e 02 por sondagem rotativa. Em 10 desses furos (**Tabela 4**) foram construídos poços (**Foto 5**). Nos furos executados a trado mecanizado, foram instalados 08 poços, tendo como objetivo o monitoramento das águas subterrâneas quanto ao seu grau de contaminação nos diversos setores da área, como por exemplo: antes da passagem dessas águas pelo depósito de resíduos (furo 09), em suas porções laterais (furos 02, 05 e 14), em sua parte interna (furos 04 e 07), bem como na saída das águas, à jusante (furos 11 e 13), conforme pode ser observado na **Tabela 4**.

Os dois poços instalados nos furos da sondagem rotativa (furos 15 e 16) permitiram não só a captação de água abaixo



Foto 5 – Instalação de revestimento em PVC com diâmetro de 03 polegadas no poço 05 (extremidade leste do depósito). e-se, no lado direito, a acumulação de chorume extravasado do lixão.

da camada de resíduos sólidos, como também em maiores profundidades que aquelas registradas nos furos a trado. Nesses dois poços (**Foto 6**), que estão posicionados dentro da pluma de poluição do depósito, os filtros foram colocados entre as profundidades de 22,30 e 24,30 metros e 39,50 e 41,50 metros, respectivamente.

Os poços foram instalados com revestimento em PVC de 03 polegadas de diâmetro, exceto no furo 16, cujo diâmetro final se encontra em 02 polegadas. Os filtros são constituídos por uma seção de 02 metros de comprimento, perfurada na própria tubulação do revestimento, recoberta por manta geotêxtil (BIDIM) e posicionados em cada furo a 0,70 metro da extremidade inferior do poço, com exceção daquele instalado no furo 07, onde o filtro foi colocado a 0,30 metro da referida extremidade. A construção dos poços foi exe-

cutada, em linhas gerais, segundo a Norma NBR 13.895, editada em junho de 1997 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Com o objetivo de otimizar a vazão dos poços, adotou-se pré-filtro constituído por areia colocada a partir do fundo do poço, preenchendo a seção entre a parede do furo e a face externa da tubulação, até ultrapassar a parte superior do filtro. Acima deste nível, cuja profundidade varia de acordo com as características de cada furo, foi feita a vedação com calda de cimento até atingir a superfície, visando impedir a migração do chorume e da água dos lençóis contaminados dessa seção vertical para dentro do poço. Na superfície do terreno os poços foram completados com canos e tampões galvanizados de 03 polegadas, fixados na base por uma caixa

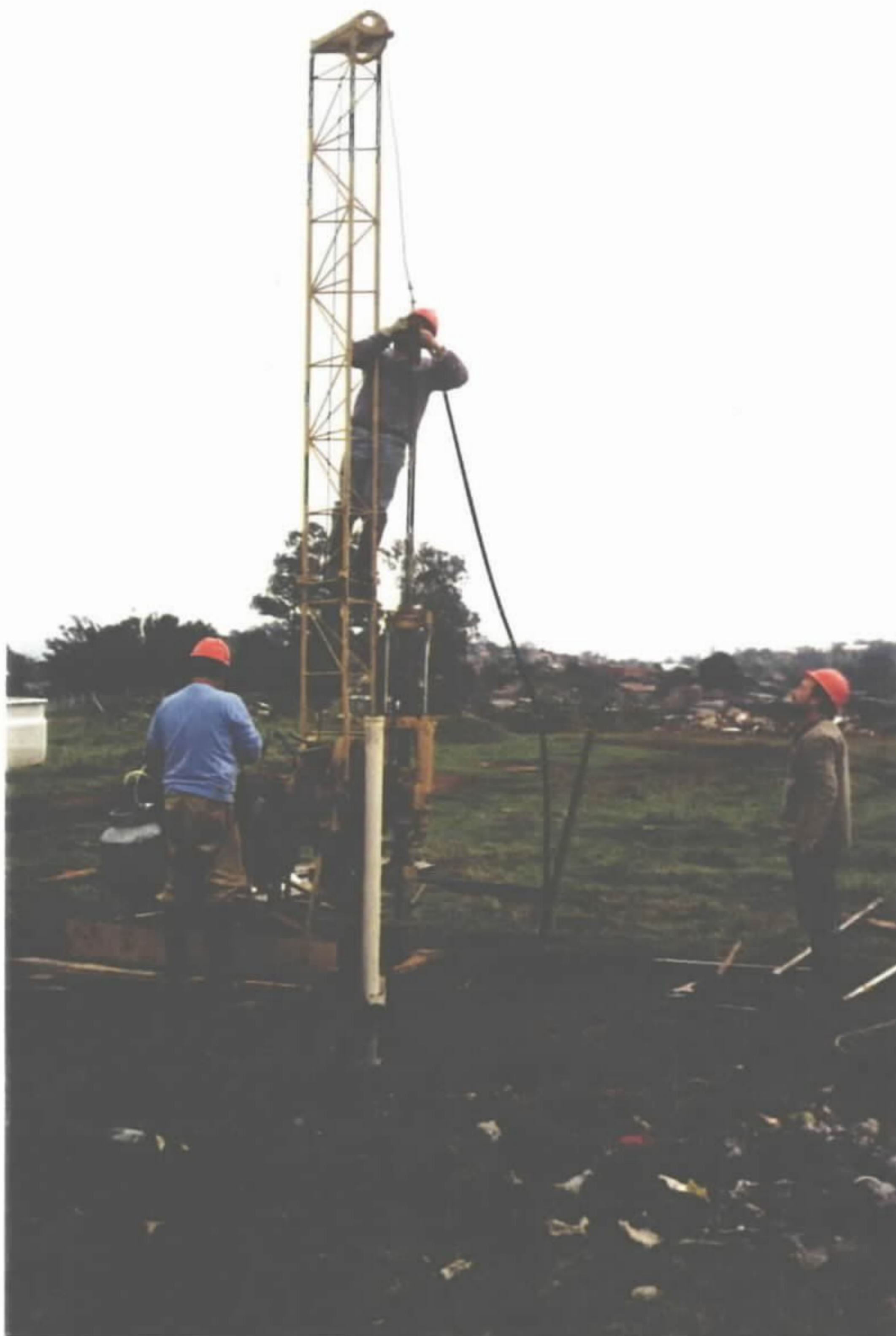


Foto 6 – Instalação de revestimento auxiliar em PVC (04 polegadas de diâmetro) durante a perfuração do furo 15 com a sonda rotativa.

de concreto (**Foto 7**) que contém o número do furo.

Os resultados das sondagens realizadas na área podem ser observados no modelo: Perfil Litológico de Sondagem (**Anexo 2**), elaborado em duas colunas, sendo uma para a descrição litológica com representação dos intervalos perfurados, inclusive com seções do lixo, e em outra o perfil detalhado da construção do poço.

A interpretação dos dados desses perfis litológicos possibilitou identificar as

duas seqüências geológicas locais, assim reconhecidas: aluviões quaternárias e, rochas sedimentares do Grupo Rosário do Sul, que constituem o substrato rochoso da área. A confirmação de uma superfície discordante, traduzida em uma descontinuidade no subsolo, que separa os sedimentos aluvionares de idade recente, onde se encontra inclusive embutido o depósito de lixo, da seqüência subjacente de arenitos com matriz silto-argilosa, identificados após a execução dos primeiros furos a trado, tornou possível estabelecer a orientação do fluxo de migração das águas do



Foto 7 - Detalhe da caixa de proteção do poço de monitoramento hídrico 04, situado na extremidade leste da área.

lençol freático no sentido aproximadamente norte-sul e a estratégia para a locação dos poços.

4.3 – Geologia Local

Os estudos geológicos locais apoiaram-se na análise de fotografias aéreas, preto-e-branco, de escala 1:20.000, reconhecimento de campo e interpretação dos perfis litológicos dos furos executados na área. Através das fotografias aéreas foi possível identificar o contato entre a seqüência quaternária e as litologias do Grupo Rosário do Sul, bem como o atual sistema de drenagem e a área utilizada pelo depósito de lixo.

O reconhecimento geológico realizado na área do depósito de lixo da Vila Kroeff, aliado às informações obtidas através da análise dos perfis litológicos das sondagens executadas, permitiram identifi-

car a presença de duas seqüências litoestratigráficas diferenciadas (Figura 11).

Uma superior, representada por sedimentos quaternários aluvionares que possui espessura máxima na área estudada de 11,40 m. A outra, inferior, constituída por um pacote de rochas sedimentares pertencentes à Formação Sanga do Cabral, na concepção de Andreis et al.1980. Esta seqüência inferior constitui o substrato rochoso e foi acompanhado até a profundidade de 50,60 m de profundidade através de sondagem rotativa.

Foram realizadas 16 sondagens estrategicamente distribuídas na área, que permitiram um conhecimento detalhado destas seqüências, até uma profundidade de 50,60 m. Algumas sondagens serviram também para a colocação de poços que permitirão o futuro monitoramento da qualidade das águas subterrâneas daquela

área.

As sondagens de números 15 e 16, localizadas na porção central da área, foram realizadas com sonda rotativa que atravessou toda a espessura de lixo e atingiram profundidades de 25 m e 50,60 m, respectivamente. As referidas perfurações indicaram que a espessura de lixo é de 5,80 m no furo 15 e de 5,60 m no furo-16. Mostraram também que os sedimentos quaternários (na porção central do lixo), atingem a profundidade máxima de 11,50 m (furo-15). Indicaram ainda que em todos os locais perfurados, abaixo da camada de lixo, ocorrem sedimentos quaternários.

Através da correlação e análise dos perfis litológicos dos furos executados na área, foi possível caracterizar litologicamente as duas seqüências litoestratigráficas ali presentes.

A seqüência superior, da base para o topo, inicia com um intervalo argiloso, que apresentou espessura de 0,80 m (furo-16) e de 2,40 m (furo-07). Trata-se de um material argiloso de cor cinza média, com manchas mais claras em tons amarelados. Muito pegajosa quando úmida, plasticidade média a alta, rica em matéria orgânica. Junto ao substrato rochoso é algo arenosa e, no topo, apresenta contato brusco com um intervalo essencialmente arenoso.

O intervalo que segue é muito importante do ponto de vista hidrogeológico, como será visto mais adiante. Corresponde a um pacote essencialmente arenoso, que apresentou espessura de 1,80m no furo-16 e de 1,50 m no furo-07. Trata-se de uma areia média, cor cinza esbranquiçada, quartzosa, com grãos arredondados a subarredondados, porosa e permeável. Apresenta contato brusco na base e, superiormente, grada para uma seqüência predominantemente argilosa.

Este intervalo argiloso superior apresenta espessura maior que o anterior, como pode ser verificado no perfil litológico do furo-16, onde ele possui 2,90 m. O perfil litológico do referido furo mostra que o depósito de lixo naquele local está assentado sobre este intervalo. Devido à cor

minação com o chorume, esta argila adquire uma coloração cinza escuro a preta. Possui plasticidade alta, embora apresente disseminação de grânulos. De uma maneira semelhante ao intervalo argiloso basal, é rica em matéria orgânica.

Deste intervalo estratigráfico até a superfície, há uma total predominância de material argiloso. As intercalações essencialmente arenosas são subordinadas e de pequena espessura, raramente ultrapassando 10 cm. Verifica-se que há uma mudança na tonalidade do material, que torna-se gradativamente mais claro e com menos matéria orgânica para o topo. De uma maneira geral este pacote superior é constituído por argilas menos plásticas e mais arenosas que os dois intervalos argilosos detectados na base da seqüência.

A falta de estruturas sedimentares diagnósticas dificulta a interpretação genética deste depósito. Porém, o contexto geológico permite supor que se tratam de depósitos fluviais representados por fácies de planície aluvial e preenchimento de canais. As fácies de planície aluvial correspondem aos intervalos argilosos. A intercalação de finos intervalos arenosos evidenciaríamos períodos de maior competência do agente transportador. O intervalo arenoso inferior apresenta contato basal brusco com um intervalo argiloso. Este fato sugere que o referido intervalo arenoso corresponda a um depósito de canal preenchido por areia. Os intervalos constituídos por areia média a grossa com grânulos, que se interdigitam com sedimentos mais finos, como ficou demonstrado no perfil dos furos 06 e 08, podem representar fácies de barras, ou depósitos de rompimento de diques marginais.

A geometria das camadas é invariavelmente lenticular, evidenciada pelas freqüentes variações laterais e verticais de fácies, que pode ser verificada através da correlação e leitura dos perfis litológicos de todas as sondagens realizadas.

A seqüência aluvionar passa bruscamente para rochas sedimentares da Formação Sanga do Cabral, que constituem o substrato rochoso desta região.

| Unidade Geológica | m | Litologia | Ambiente | Descrição | Hidrogeologia |
|--|------|-----------|--|--|---------------------|
| SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS (DEPÓSITOS ALUVIAIS) | | | Solo Orgânico | | |
| | 1 | | Fácies de Planície Fluvial | Argila de cores variegadas, algo arenosa, pouco plástica. Intercala finas camadas de areia, fina, cinza-claro, quartzosa. | Intervalo Aquítarde |
| | 2 | | Fácies de Barras Transversais | Areia média a grossa, com grânulos. | Intervalo Aquífero |
| | 3 | | Fácies de Planície Aluvial | Argila de cores variegadas, algo arenosa. Localmente apresenta manchas claras, plasticidade média. Intercala delgadas camadas de areia, fina, cinza-claro, quartzosa. | Intervalo Aquítarde |
| | 4 | | | | |
| | 5 | | Fácies de Rompimento de Diques Marginais (<i>crevasse splay</i>) | Na base areia grossa a média com grânulos. Na porção superior grada para uma areia fina com matriz argilosa e alguns grânulos disseminados. No topo silte arenoso, cinza-amarelado, pouco plástico. | Intervalo Aquítarde |
| | 6 | | | | Intervalo Aquífero |
| | 7 | | Fácies de Planície | Argila cinza-escura com plasticidade média a alta. É algo arenosa na base. Raramente ocorrem intercalações de finos leitos de areia, fina, cor cinza-claro. | Intervalo Aquítarde |
| | 8 | | | | |
| | 9 | | Fácies de Canal | Areia média, mal selecionada, com contato erosivo na base. No intervalo superior grada para um silte-arenoso cor cinza-amarelado. | Intervalo Aquífero |
| | 10 | | Fácies de Planície | Argila cinza-escura com plasticidade alta. É rica em matéria orgânica. | Intervalo Aquiclude |
| GRUPO ROSÁRIO DO SUL FORMAÇÃO SANGA DO CABRAL | 21 | | Fácies de Dunas e Interdunas (eólico) | Arenito fino a médio, com alternância de cores em tons vermelhos, que refletem mudança de granulometria, evidenciando processo de "grain fall". | Intervalo Aquítarde |
| | 23 | | | Arenitos finos, cor vermelha, quartzosos, com matriz argilosa. Apresenta caracteristicamente estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. Constituem formas de leito tipo dunas subaquosas. Intercalações de arenitos médios, também com estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. | Intervalo Aquífero |
| | | | Fácies de Planície Aluvial | Arenito médio a grosso, cor avermelhada, mal selecionado. O contato brusco na base e presença de intraclastos sugerem uma fácies de preenchimento de canal. | Intervalo Aquítarde |
| | 33,0 | | | Arenito médio a grosso, cor avermelhada, mal selecionado. O contato brusco na base e presença de intraclastos sugerem uma fácies de preenchimento de canal. | Intervalo Aquífero |
| | 36,0 | | | Arenitos finos, cor vermelha, quartzosos, com matriz argilosa. Apresentam caracteristicamente estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. Constituem formas de leito tipo dunas subaquosas. Intercalações de arenitos médios, também com estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. Alguns níveis com freqüentes grânulos e estratificação cruzada acanalada de pequeno porte podem corresponder a barras transversais. | Intervalo Aquítarde |
| | 39,0 | | | Arenito médio a grosso, cor avermelhada, mal selecionado. O contato brusco na base e presença de intraclastos sugerem uma fácies de preenchimento de canal. | Intervalo Aquífero |
| | 43,0 | | | Arenitos finos, cor vermelha, com intercalações de finos leitos de siltito argiloso de cor vermelha-escura. Apresenta estratificação fina, plano-paralela. Na base verifica-se intraclastos de argila. Estas estruturas indicam aumento na competência do agente transportador, com mudança no regime de fluxo, passando de inferior para superior. | Intervalo Aquítarde |
| 50,0 | | | | Intervalo Aquítarde | |

Figura 11 – Coluna Estratigráfica local.

A leitura do mapa geológico elaborado por Faccini (1989), bem como sondagens executadas durante o desenvolvimento deste trabalho, indicaram que o substrato é constituído por um espesso pacote de rochas areníticas de cor cinza claro a cinza avermelhado, que fazem parte da Formação Sanga do Cabral.

Os perfis litológicos dos furos 15 e 16 mostram que do topo (contato com a aluvião), até aproximadamente 35 m de profundidade, ocorre um arenito fino, cor avermelhado, quartzoso, com matriz argilosa. As estruturas sedimentares identificadas nos testemunhos da sondagem do furo 16 são do tipo estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. Intercala um arenito arcoseano, cor bordô, fino a médio, com abundante matriz argilosa. Os grãos de feldspato, de cor mais clara devido à alteração, conferem à rocha um aspecto mosqueado. Dos 35 m até 40 m, começam a aparecer algumas intercalações de siltito de cor vermelha mais escura, evidenciadas pela alternância de tonalidades. A partir dos 40 m até os 50,60 m ocorrem *drapes* de lama de cor castanha escura.

As estruturas sedimentares mais frequentes são do tipo estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. Subordinadamente, nos intervalos constituídos por arenitos arcoseanos médios a grossos, ocorre gradação normal. Estes intervalos são muito importantes do ponto de vista hidrogeológico, porque atuam como aquíferos. Na porção inferior da seqüência perfurada, verificam-se estruturas tipo *drapes* de argila. No terço superior, onde predomina um arenito fino, quartzoso, verifica-se uma leve alternância de tonalidades, o que pode indicar uma bimodalidade da rocha. Neste caso a bimodalidade caracterizaria processos de *grain fall*.

Do ponto de vista genético, a bimodalidade da rocha, e a presença de *grain fall*, podem evidenciar a atuação de processos eólicos, em ambientes desérticos de dunas e interdunas. Por outro lado, a persistência de estruturas sedimentares do tipo estratificação cruzada acanalada de pequeno porte, gradação normal e presença de *drapes* de lama, sugerem um ambi-

ente fluvial, com formas de leito tipo dunas subaquosas.

A presença de intervalos de arenitos grossos, e frequentes *drapes* de lama, indicam a presença de fácies de canal.

De uma maneira geral, da base para o topo da seqüência descrita, verifica-se um gradativo aumento no percentual de areia. A interpretação de estruturas sedimentares identificadas sugerem que, à medida que se processava a sedimentação, as condições climáticas tornavam-se mais áridas, evoluindo de um ambiente flúvio-eólico para um ambiente desértico.

4.4 – Aspectos Hidrogeológicos

A análise dos perfis litológicos e o levantamento de campo, permitiram a correlação entre as diversas litologias e, conseqüentemente, um melhor entendimento dos aspectos geológicos e hidrogeológicos da área (Figuras 12 e 13).

Os trabalhos desenvolvidos permitiram verificar que, na área correspondente ao depósito de lixo da Vila Kroeff, ocorrem dois sistemas aquíferos geneticamente distintos. Um deles relacionado ao depósito aluvial que cobre a planície do Rio dos Sinos e outro às rochas sedimentares pertencentes ao topo da Formação Sanga do Cabral, que constituem o substrato rochoso desta região.

No caso dos depósitos aluviais, do ponto de vista hidrogeológico, a natureza predominantemente argilosa do material que constitui este depósito indica que ele atua principalmente como aquífero, com exceção do intervalo arenoso que ocorre em seu terço inferior, identificado principalmente nos furos 07, 15 e 16, que atua como aquífero. O intervalo essencialmente argiloso basal, atua como aquíclode.

Os perfis litológicos dos referidos furos mostram que este intervalo aquífero situa-se entre duas camadas de argila. Este condicionamento e os aspectos granulométricos sugerem tratar-se de um aquífero intergranular confinado pouco extenso.

O modelo hidrogeológico estabelecido a partir das informações geológicas, geomorfológicas e características granulométricas, permitem verificar que o escoamento das águas subsuperficiais se processa de norte para sul, isto é, em sentido do declive hidráulico, que corresponde à calha do Rio dos Sinos, que constitui o nível-base de erosão regional.

A recarga do aquífero ocorre de maneira indireta a partir das precipitações por infiltração através das camadas superiores. A proximidade com o Rio dos Sinos, e o fato de este intervalo aquífero ocorrer em cotas iguais ou inferiores ao nível das águas do referido curso de água, sugerem que a recarga se processe também a partir do Rio dos Sinos, que neste trecho, pode ter caráter influente, isto é, contribui para a recarga do aquífero.

De acordo com os conceitos de Foster & Hirata (1993), a vulnerabilidade natural dos aquíferos à poluição está relacionada a maior ou menor facilidade apresentada por determinadas litologias à contaminação através de agentes externos, sendo controlada principalmente pela inacessibilidade hidráulica da zona saturada e pela capacidade de atenuação da zona não saturada. No caso da área estudada, devido à falta de informações mais precisas, avaliou-se a vulnerabilidade considerando-se principalmente os aspectos relacionados ao tipo de ocorrência da água subterrânea (no caso confinada ou semi-confinada), às características da zona não saturada, no que se relaciona a tamanho de grão, grau de consolidação, condutividade hidráulica vertical, profundidade do intervalo aquífero, entre outras. Considerando os parâmetros acima citados, pode-se constatar que a vulnerabilidade do intervalo aquífero posicionado no terço inferior dos sedimentos quaternários é moderada a alta.

Quanto à sua importância hidrogeológica relativa local, sua definição é muito subjetiva. É função de vários parâmetros, tais como: disponibilidades qualitativas e quantitativas, demandas, possibilidades técnicas e econômicas de captação. Assim, de acordo com a metodologia utilizada pela CPRM, ela pode ser classificada como:

grande, mediana, pequena, muito pequena e negligenciável. No caso específico da área estudada, este aquífero possui importância hidrogeológica negligenciável, por situar-se em uma área de banhado (área de risco), com baixa densidade ocupacional, com alta vulnerabilidade natural, onde as águas subterrâneas já estão, de alguma maneira, comprometidas pelas diferentes fontes de poluição existentes no entorno.

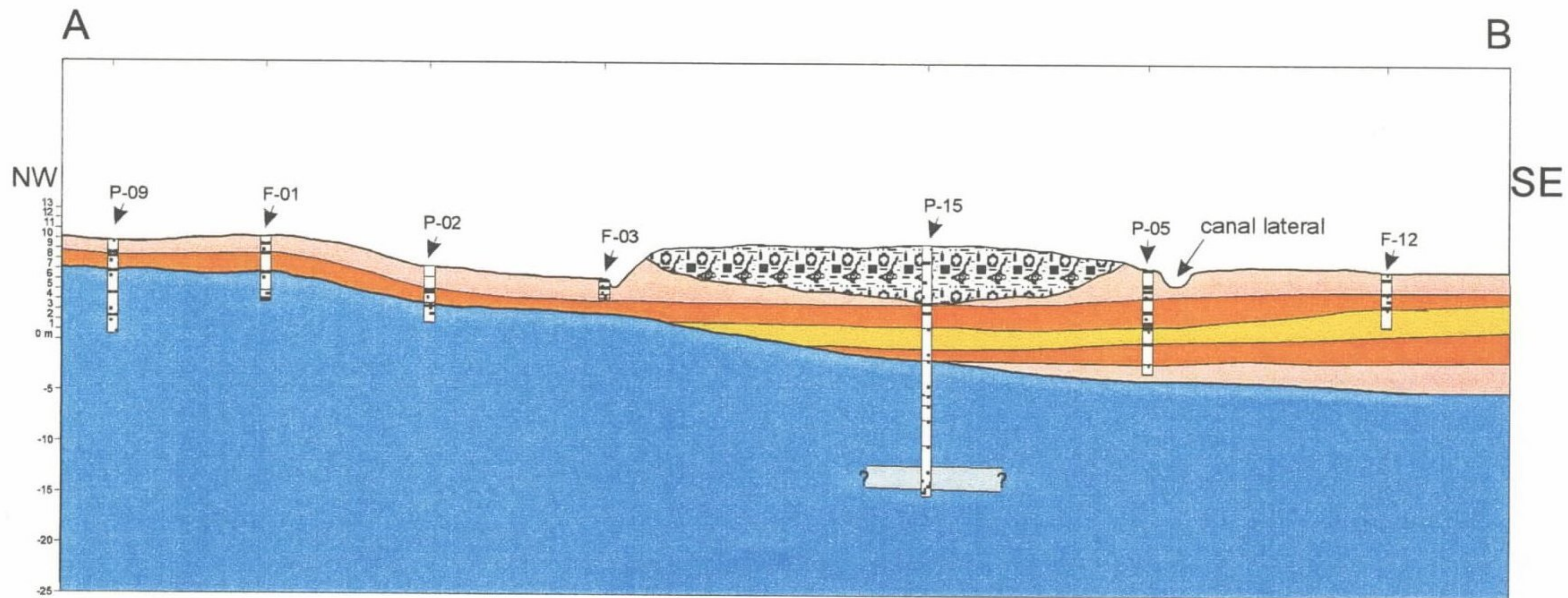
As rochas sedimentares pertencentes à Formação Sanga do Cabral neste intervalo estratigráfico, pelo fato de serem constituídas principalmente por arenitos finos com abundante matriz argilosa, atuam como aquíferos. Os intervalos de arenitos médios a grossos que correspondem a depósitos de preenchimento de canais atuam como aquíferos de circulação restrita, reabastecidos pelos aquíferos que os englobam.

Devido às freqüentes variações de fácies laterais e verticais, que implicam em variações granulométricas constantes, a circulação da água se processa em horizontes escalonados, sem interligações entre os superiores e inferiores, resultando em poços com valores de vazão irregular, geralmente baixos.

A interpretação de fotografias aéreas indica ausência de falhamentos junto ao local do lixão. A presença das referidas estruturas poderia ampliar a potencialidade do aquífero.




Sabe-se que os fatores genéticos relacionados a diferentes ambientes de deposição e condições climáticas propiciam distintos tipos de circulação, níveis hidrostáticos e qualidade da água.

As informações geológicas, interpretadas do ponto de vista hidrogeológico, indicam que os diferentes intervalos aquíferos identificados através das sondagens realizadas, bem como interpretação de laudos técnicos de poços tubulares profundos construídos na área (Indústria Siro - Rua Joaquim Nabuco, com profundidade de 97 m; bairro Canudos com profundidade de 80 m), mostram que os intervalos






Legenda

Sedimentos Aluvionares

-  Sedimentos argilo-arenosos indiferenciados e aterros.
-  Argilas plásticas de baixa permeabilidade. Intervalo Aquicludo.
-  Areias sem matriz argilosa, de alta permeabilidade. Intervalo Aquífero.

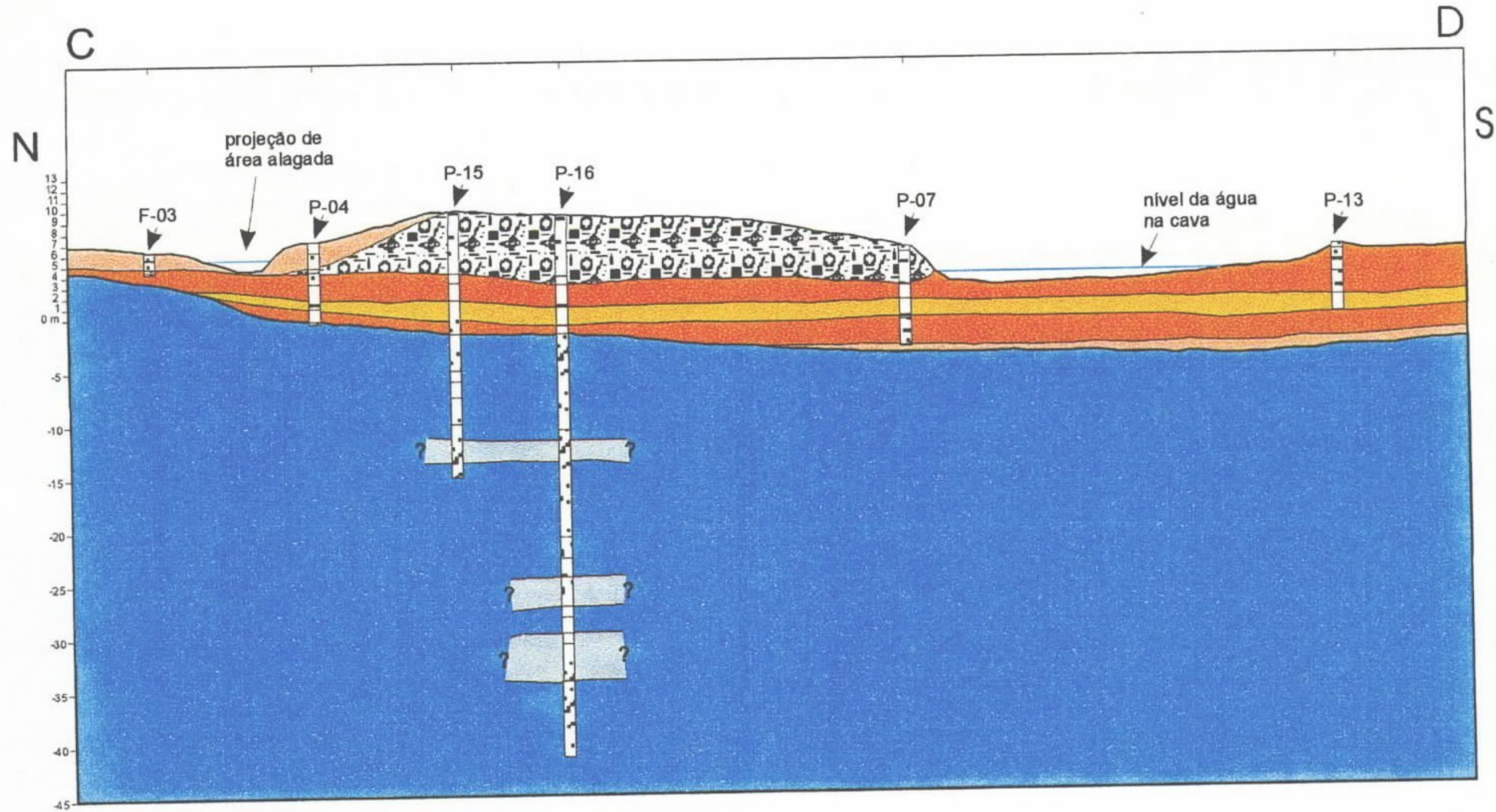
P-04 Poço de monitoramento hídrico.

Sedimentos da Formação Sanga do Cabral

-  Sedimentos areno-argilosos. Intervalo Aquitarde.
-  Sedimentos predominantemente arenosos com alta permeabilidade. Intervalo Aquífero.
-  Massa heterogênea de Resíduos Sólidos Domiciliares e Industriais.


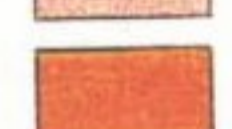

F-03 Furo de trado.

Figura 12: Perfil esquemático mostrando a seqüência e disposição das camadas litológicas e suas características hidrogeológicas.



Legenda

Sedimentos Aluvionares

-  Sedimentos argilo-arenosos indiferenciados e aterros.
-  Argilas plásticas de baixa permeabilidade. Intervalo Aquiclude.
-  Areias sem matriz argilosa, de alta permeabilidade. Intervalo Aqüífero.
- P-04 Poço de monitoramento hídrico.

Sedimentos da Formação Sanga do Cabral


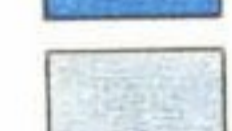

-  Sedimentos areno-argilosos. Intervalo Aquitarde.
-  Sedimentos predominantemente arenosos com alta permeabilidade. Intervalo Aqüífero.
-  Massa heterogênea de Resíduos Sólidos Domiciliares e Industriais.
- F-03 Furo de trado.

Figura 13: Perfil esquemático mostrando a seqüência e disposição das camadas litológicas e suas características hidrogeológicas.

aquíferos são do tipo intergranular, confinado, extenso.

O modelo hidrogeológico estabelecido a partir da interpretação das linhas de fluxo mostra que a recarga se dá de maneira indireta por infiltração a partir das camadas superiores. Ressalta-se que o alto índice de urbanização das porções correspondentes às áreas de recarga modifica o regime de escoamento superficial e infiltração, interferindo no reabastecimento dos aquíferos.

Do ponto de vista hidrodinâmico, Hausman (1995) ressalta que, em Taquara, a Formação Botucatu apresenta vazões inferiores a $2\text{m}^3/\text{h}$, a capacidade específica é da ordem de $0,025\text{ l/s/m}$ e a condutividade hidráulica da ordem de $8 \times 10^{-5}\text{ cm/s}$. Cita também que poços construídos em São Leopoldo e Novo Hamburgo, nesta mesma formação geológica, apresentaram vazão da ordem de $4\text{ m}^3/\text{h}$. A leitura do mapa geológico, apresentado no trabalho de Faccini (1989.), mostra que na verdade as litologias arenosas que afloram na região de São Leopoldo e Novo Hamburgo mencionadas por Hausman, pertencem a Formação Sanga do Cabral.

De acordo com Feitosa (1997), a produtividade dos aquíferos pode ser caracterizada por faixas de valores de capacidade específica (l/s/m), definida para um rebaixamento padrão do nível d'água de 25 metros. Desta forma, a ordem de grandeza das classes de produtividade dos sistemas,

de acordo com o referido trabalho, pode ser fixada segundo os limites: $<0,033\text{ l/s/m}$; $0,033\text{ a }0,11\text{ l/s/m}$; $0,11\text{ a }0,44\text{ l/s/m}$; $0,44\text{ a }1,11\text{ l/s/m}$; e $>1,11\text{ l/s/m}$. O valor definido para o município de Taquara ($0,025\text{ l/s/m}$) indica que os intervalos aquíferos daquela região possuem muito baixa produtividade.

Com relação à vulnerabilidade natural destes intervalos aquíferos, de acordo com os conceitos de Foster & Hirata (1993), Foster, Ventura & Hirata (1987) e, considerando-se os mesmos fatores anteriormente mencionados para o caso do aquífero relacionado aos sedimentos aluviais, pode-se admitir que a vulnerabilidade pode variar de moderada a baixa, dependendo da espessura de camadas pouco permeáveis que capeia cada intervalo.

Com relação à importância hidrogeológica local, como já foi mencionado antes, sua avaliação é muito subjetiva e vai depender de diversos fatores também já citados anteriormente. Desta maneira, se consideramos o fator potencialidade aquífera, podemos dizer que a importância destes aquíferos no entorno da área estudada é pequena a muito pequena, pois todos os poços construídos nesta região apresentaram baixa vazão ou resultaram seco. Somente em locais restritos do município (que não é o caso da Vila Kroeff), onde ocorrem falhas geológicas que poderão propiciar um aumento na vazão dos poços aí construídos, a importância hidrogeológica pode ser mediana.

5 – ANÁLISES QUÍMICAS

A coleta e análises químicas das águas subterrâneas ficaram a cargo e sob a responsabilidade dos técnicos da Secretaria do Meio Ambiente do Município de Novo Hamburgo e foram realizadas em amostras de água coletadas nos poços de monitoramento instalados pela CPRM.

Antes de se realizar a coleta das amostras de água, procedeu-se à limpeza dos poços, utilizando-se uma bomba de sucção. As amostras coletadas foram acondicionadas em recipientes de vidro e encaminhadas ao Laboratório Eficiência - Estudos Ambientais, Estância Velha, para serem analisadas. O encaminhamento das

amostras, bem como a escolha dos parâmetros a serem analisados, foi feito pelos técnicos ligados à referida Secretaria do Meio Ambiente.

A condutividade foi medida em campo, por técnicos da CPRM, utilizando um condutivímetro ORION - 1230.

A seguir são apresentados, resumidamente, os resultados das análises químicas e uma sucinta interpretação dos valores apresentados (Tabela 5). Os resultados referem-se à primeira campanha de monitoramento das águas subterrâneas.

| Parâmetros | P02 | P04 | P05 | P07 | P09 | P11 | P12 | P13 | P14 | P15 | P16 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| 1- pH | 6,24 | 6,63 | 6,65 | 6,71 | 5,91 | 5,90 | 5,58 | 6,44 | 6,21 | 7,59 | 8,64 |
| 2- Dureza | 74,3 | 140,2 | 147,6 | 172,4 | 89,2 | 90 | 25,3 | 100 | 171,3 | 47,1 | 101,8 |
| 3- Alcalinidade | 171,2 | 458,1 | 532,2 | 555,3 | 48,6 | 44 | 34,7 | 99,5 | 226,8 | 90,2 | 650,2 |
| 4- Cloretos | 44,1 | 60,6 | 117,1 | 107,5 | 77,6 | 62 | 23,4 | 17,9 | 70 | 13,8 | 111,6 |
| 5- DQO | 31,0 | 47,6 | 190 | 25,4 | 3,10 | 3,1 | 22,2 | 3,15 | 83,7 | 90,3 | 115,3 |
| 6- Sólidos totais | 292 | 476 | 526 | 662 | 258 | 274 | 588 | 258 | 334 | 166 | 442 |
| 7- Sólidos dissolvidos | 222 | 428 | 512 | 448 | 80 | 228 | 374 | 118 | 160 | 154 | 404 |
| 8- Cromo total | Nd | 0,04 | 0,08 | Nd | Nd | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,02 |
| 9- Sulfato | Nd | 38 | 1 | 44 | 1 | 69 | 2 | 29 | 35 | 16 | Nd |
| 10- Ferro total | 2,25 | 1,76 | 1,46 | 0,33 | 1,26 | 0,62 | 0,67 | 1,77 | 1,05 | 0,19 | 0,86 |
| 11- Zinco | 0,33 | 0,02 | 0,08 | 0,03 | 0,10 | 0,15 | 0,13 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,02 |
| 12- Cádmio | 0,017 | 0,029 | | | | 0,009 | | | | 0,037 | 0,009 |
| 13- Chumbo | 0,043 | 0,051 | | | | 0,037 | | | | 0,058 | 0,020 |

Tabela 5 - Resultados Analíticos dos poços de monitoramento da Área do Depósito de Resíduos Sólidos da Vila Kroeff.

P – Poços de monitoramento

| Parâmetro | unidade | método |
|-----------|------------------------|----------------------|
| 1- | - | potenciometria |
| 2- | mg/L CaCO ³ | complexiometria |
| 3- | mg/L | neutralização |
| 4- | mg/L Cl | argentimetria |
| 5- | mg/L O ₂ /L | refluxo de dicromato |
| 6- | mg/L | gravimetria |
| 7- | mg/L | gravimetria |
| 8- | mg/L Cr | espectrofotometria |
| 9- | mg/L | espectrofotometria |
| 10- | mg/L Fe | espectrofotometria |
| 11- | mg/L Zn ⁺² | espectrofotometria |
| 12- | mg/L Cd | espectrofotometria |
| 13- | mg/L Pb | espectrofotometria |

Com o intuito de verificar a variação espacial da qualidade das águas subterrâneas e a distribuição subsuperficial da contaminação, em uma primeira etapa, foram amostrados 9 poços de monitoramento do lençol freático nos depósitos quaternários e 2 poços instalados nas rochas sedimentares da formação Sanga do Cabral (P-15 e P-16). O poço P-09, localizado a noroeste da área, foi escolhido para se obter amostras de referência sem contaminação, enquanto que para verificar a possível extensão da contaminação, foi

analisado o poço P-13, à jusante do fluxo subterrâneo.

Os parâmetros analisados (Tabela 5) nesta etapa foram: pH, dureza, alcalinidade, cloretos, DQO (demanda química de oxigênio), sólidos totais, sólidos dissolvidos, cromo total, sulfatos, ferro total, zinco, cádmio e chumbo. Os resultados foram confrontados com os Guias da Organização Mundial de Saúde (Tabela 6) para água potável e sua relação com a poluição das águas subterrâneas (Foster, 1993).

| A. Constituintes Inorgânicos | | | | |
|-------------------------------|--------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Constituinte ^a | Valor (mg/l) | GUIA Critério ^b | Comentário | Fonte de Águas sub ^c |
| Alumínio (Al) | 0,2 | E | - | n |
| Amônio (NH ₄ - N) | 0,01 | E | CEE (1982) | Pn |
| Arsênico (As) | 0,5 | S | - | Np |
| Cádmio (Cd) | 0,005 | S | - | P |
| Cloreto (Cl) | 250 | E | - | NP |
| Cobre (Cu) | 1,0 | E | - | np |
| Cromo (Cr) | 0,05 | S | Cr ⁶⁺ tóxico | P |
| Cianeto (Cn) | 0,1 | S | - | p |
| Detergentes (ABS) | 0,2 | E | OMS (1974) | P |
| Fluoreto (F) | 1,5 | S | - | N |
| Ferro (Fe) | 0,3 | E | Fe ²⁺ solúv. | NP _o |
| Chumbo (Pb) | 0,05 | S | - | np |
| Manganês (Mn) | 0,1 | E | Mn ²⁺ solúv. | NP _o |
| Mercúrio (Hg) | 0,001 | S | - | np |
| Nitrato (NO ₃ - N) | 10,0 | S | - | Pn |
| Selênio (Se) | 0,01 | S | - | Np |
| Sódio (Na) | 200 | E | - | Np |
| Sulfato (SO ₄) | 400 | E | Mg > 50 mg/l | NP |
| Zinco (Zn) | 5,0 | E | - | np |

foram omitidos parâmetros compostos, tais como Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos, pH, etc.. que têm principalmente importância estética

a. (CE), Sólidos Totais Dissolvidos, pH, etc.. que têm principalmente importância estética

b. S - de consideração para a saúde (tóxico, cancerígeno, mutagênico)
E - aspectos estéticos (sabor, cheiro, cor) de consideração secundária

c. N - que ocorre em forma natural
P - poluição causada pelo homem
P_o - produto indireto de poluição orgânica mediante a redução de Eh a níveis nos quais Fe e Mn são solúveis.
As letras maiúsculas indicam ocorrência mais freqüente

Tabela 6 - Resumo dos guias da OMS para qualidade da água potável (1984) e sua relação com a poluição das águas subterrâneas (Modificado de Foster, 1993).

É importante considerar que alguns elementos químicos, como o cloreto, ferro e sulfato, podem ser encontrados amplamente nas águas subterrâneas, qua-

se sempre por causas naturais e em alguns casos devido à poluição. Já os metais cádmio e cromo, em geral, são estranhos ao sistema aquífero, e quando presentes

na água subterrânea resultam de processos de contaminação. A DQO, indicada para medir o teor de matéria orgânica oxidável e de substâncias capazes de consumir oxigênio (Fe^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , etc.), também constitui um indicador de contaminação, quando os valores excedem a 10 mg/l.

Dentre os parâmetros analisados, os que demonstram anomalia são a alcalinidade, a DQO e o cádmio. O cromo total atinge valores próximos do padrão, no entanto por se tratar de um elemento externo ao sistema aquífero e diretamente relacionado à poluição, deve ser levado em consideração como indicativo da mesma. O chumbo mostra teores próximos do permissível. O ferro exhibe valores acima do padrão, porém esses valores podem ser inerentes ao aquífero, situação bastante comum em águas de depósitos quaternários.

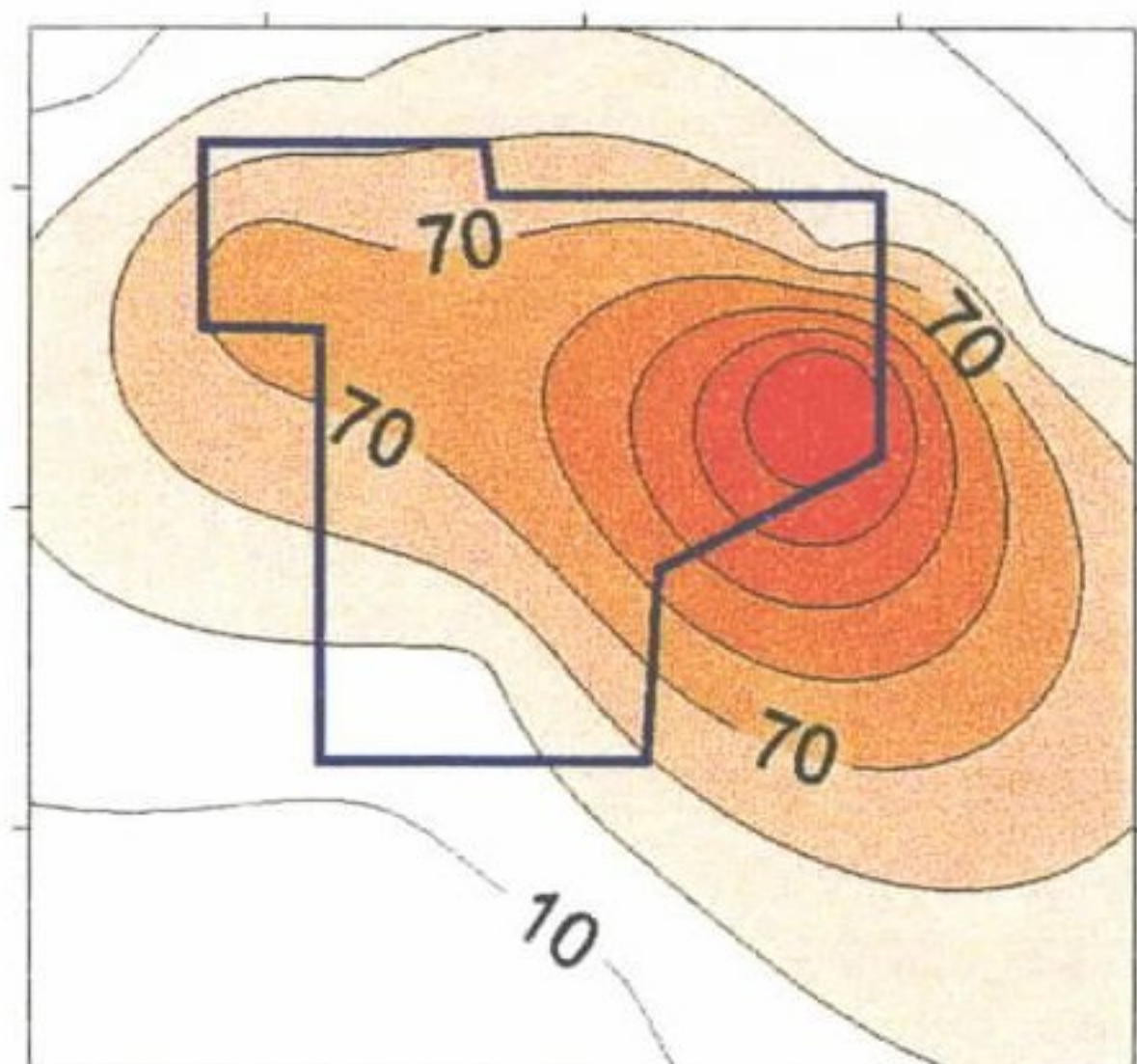
Os poços P-02, P-04, e P-05 mostram sinais evidentes de contaminação, principalmente no tocante à DQO, cádmio e chumbo, acompanhados pela alta condutividade medida em campo e alto teor de sólidos totais dissolvidos.

Os mapas de isovalores (Figura 14) de alguns parâmetros indicadores medidos na área mostram que a contaminação do lençol freático nos depósitos quaternários está restrita à zona próxima do depósito de lixo, fato também confirmado pelos resultados da análise no poço P-13 (à

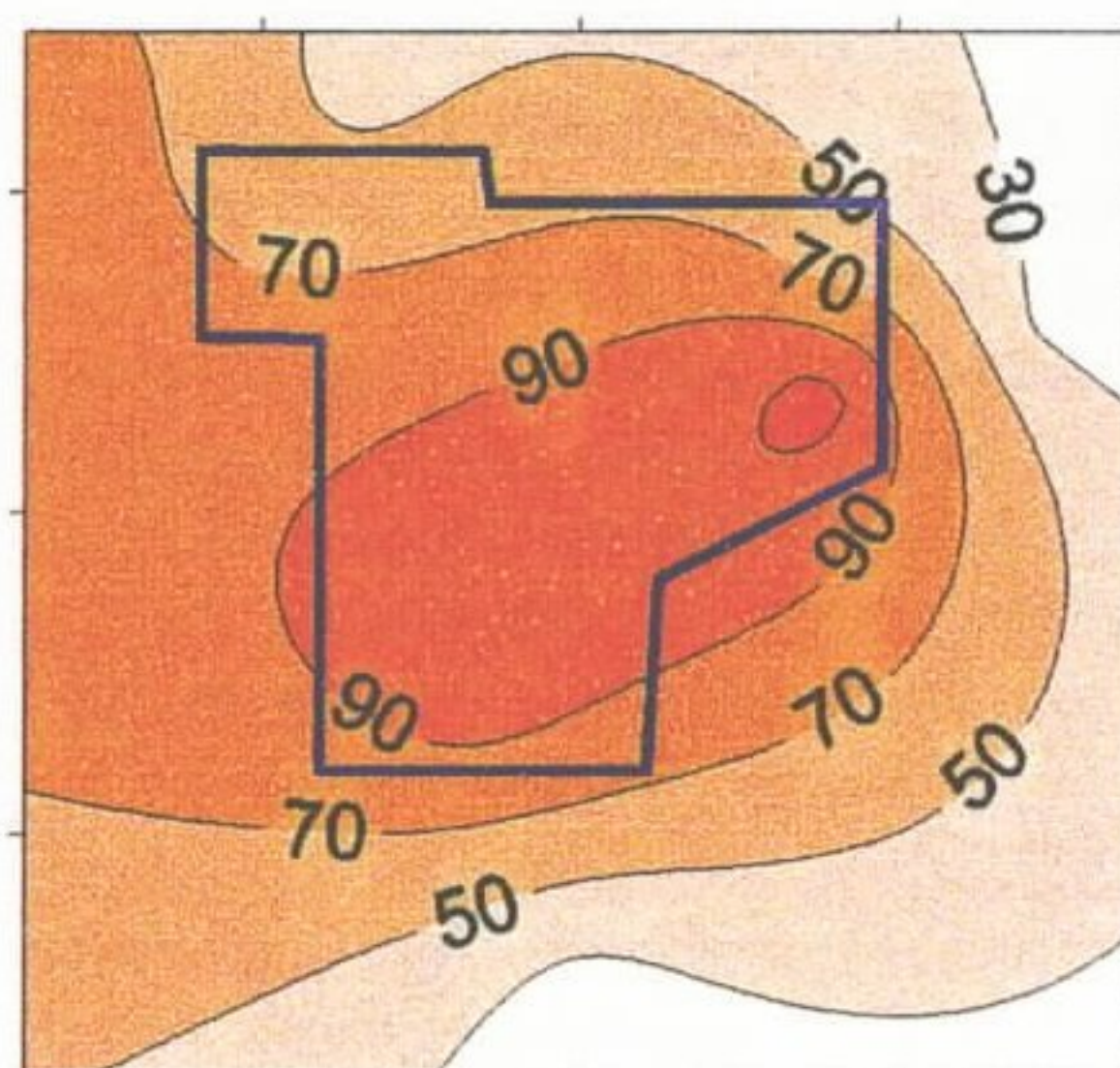
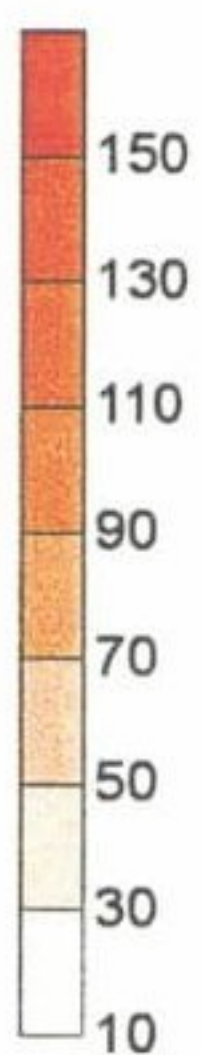
jusante), que exhibe valores dentro do padrão permissível.

Os poços P-15 e P-16, instalados para o monitoramento dos aquíferos da Formação Sanga do Cabral, apresentam valores um pouco elevados de DQO, cromo total e chumbo, que podem ser originários do próprio processo de perfuração e construção dos poços, devendo-se assim, com o tempo, ser realizados sucessivos esgotamentos para limpeza e execução de novas análises.

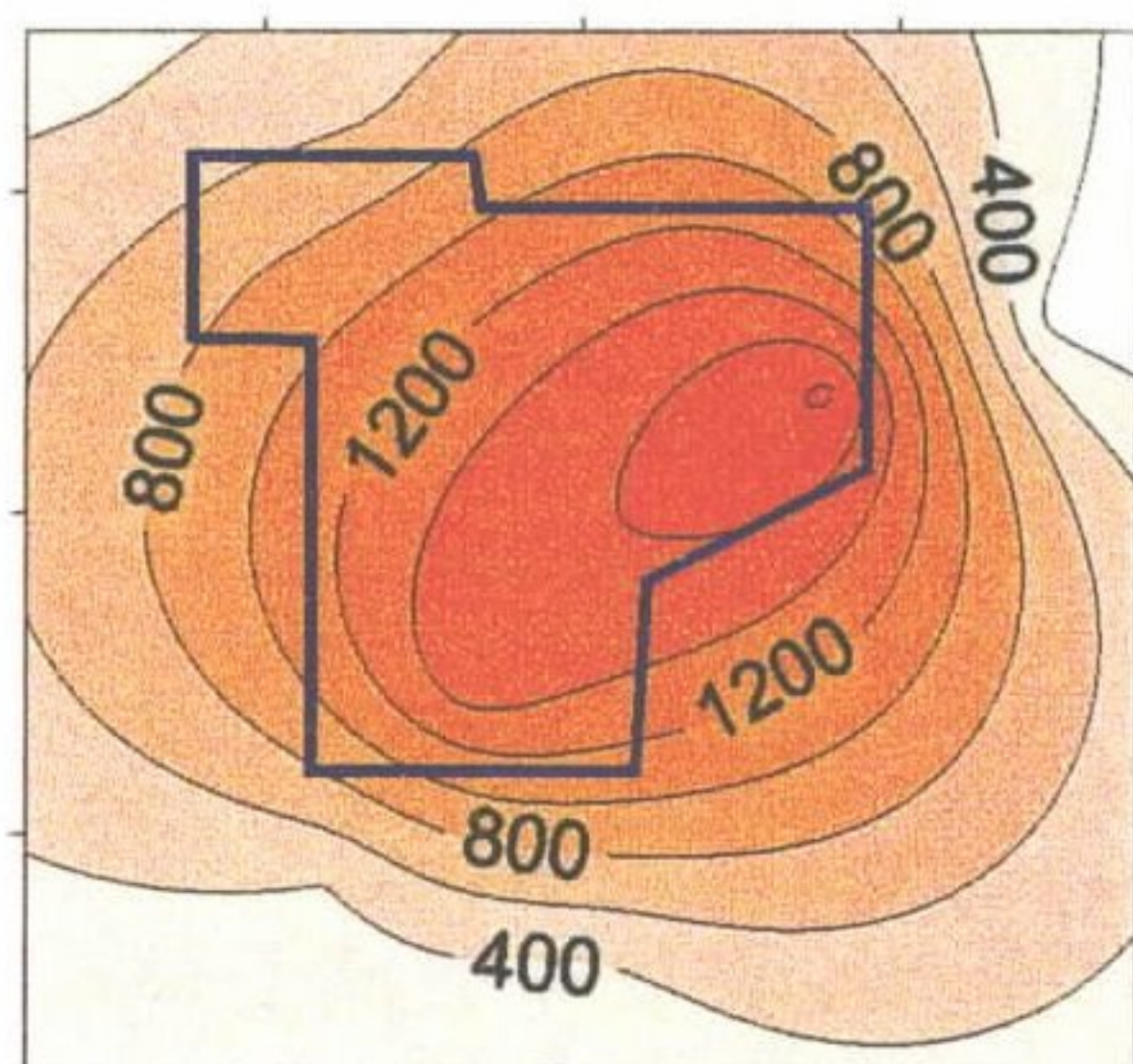
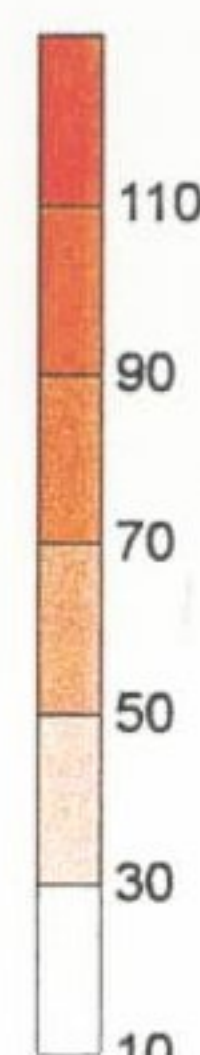
Deve ser ressaltado, entretanto, que os resultados obtidos com as análises devem ser considerados como preliminares e indicativos, uma vez que as amostras foram coletadas logo após a realização da campanha de sondagem. Apesar da amostragem ter sido feita após a limpeza dos poços, sempre existe a possibilidade de resíduos contaminantes sólidos e líquidos, que desceram durante a operação de sondagem, contaminarem temporariamente o furo. Assim, os resultados podem estar refletindo uma situação irreal onde a contaminação pode ter sido artificialmente criada pela contaminação na operação de sondagem. Em função desta situação, recomenda-se que no decorrer dos próximos meses seja procedida uma nova limpeza dos poços e coletada uma nova bateria de amostras para análises químicas, visando confirmar ou não os resultados obtidos na primeira campanha do monitoramento das águas subterrâneas.



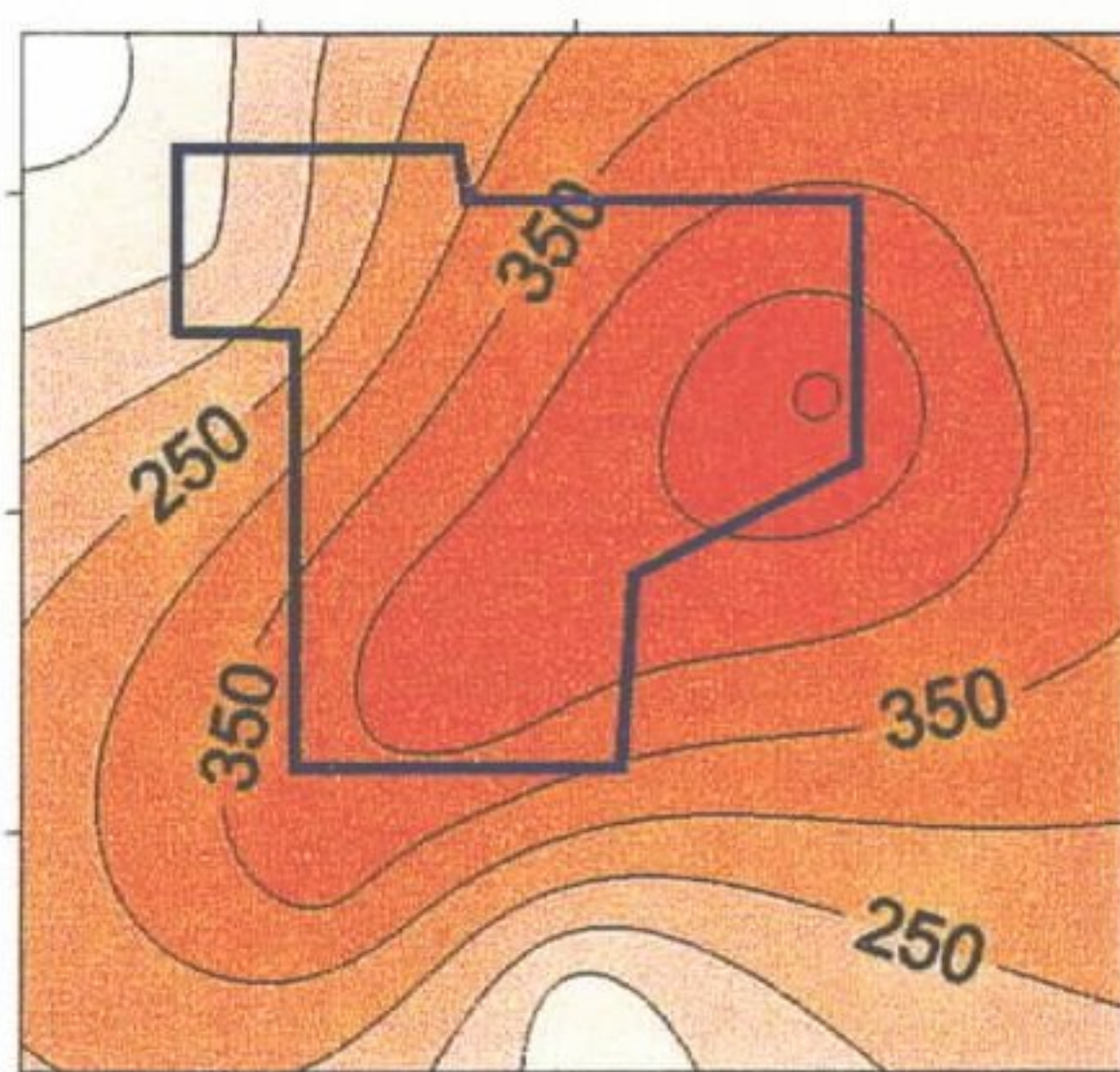
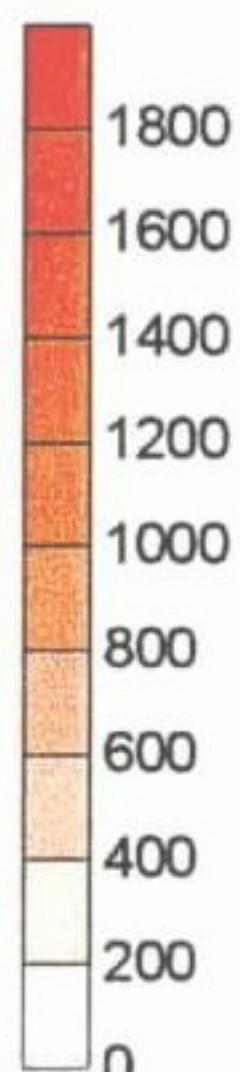
DQO (mg/l)



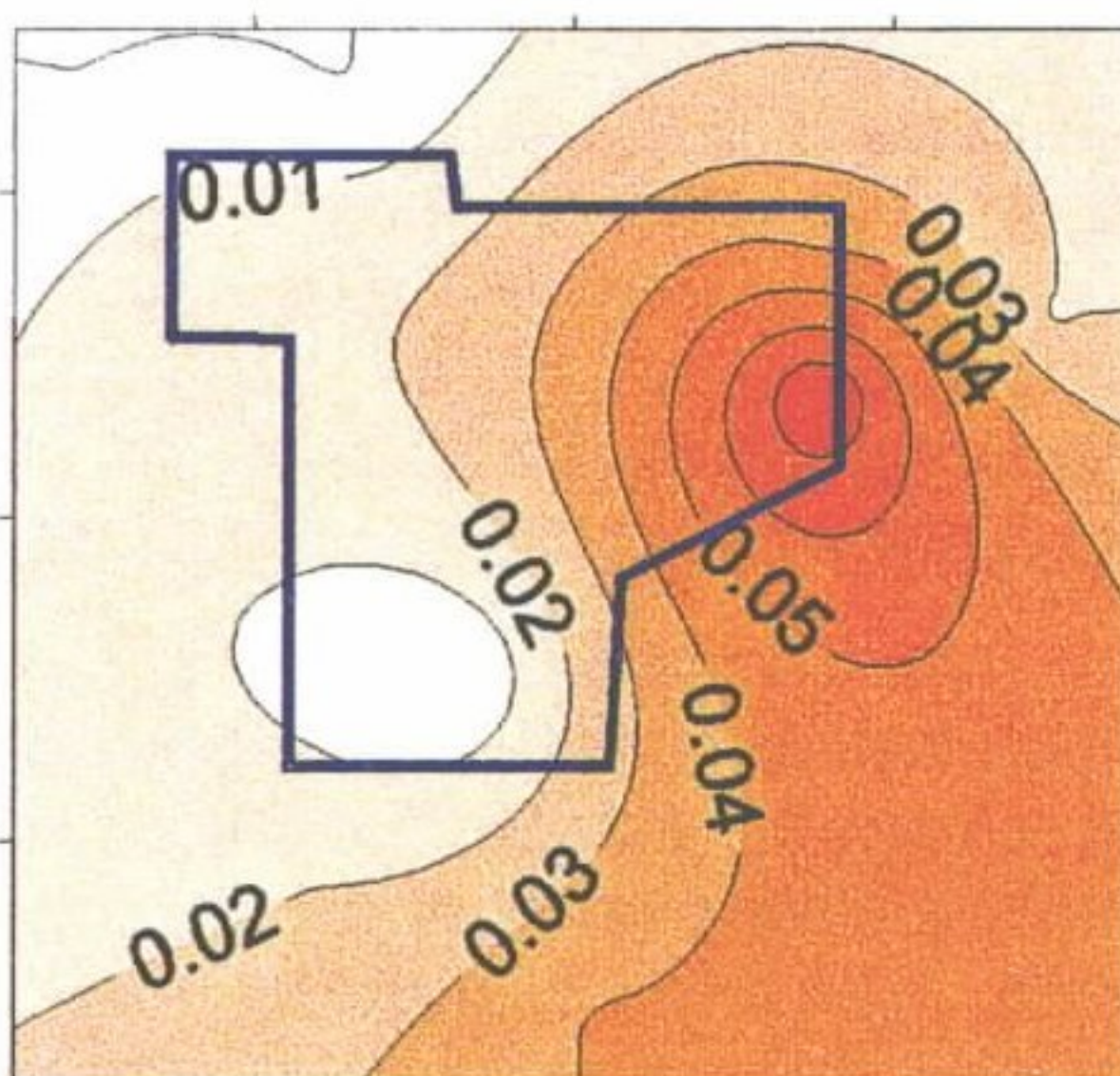
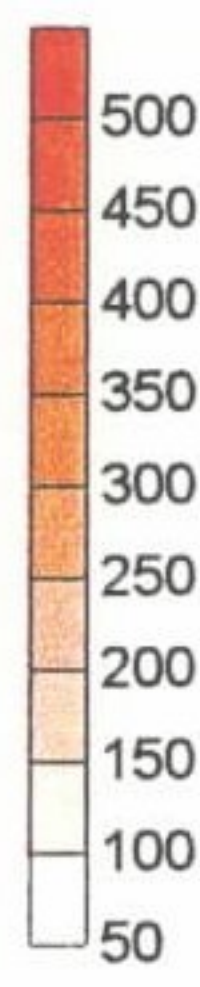
Cl (mg/l)



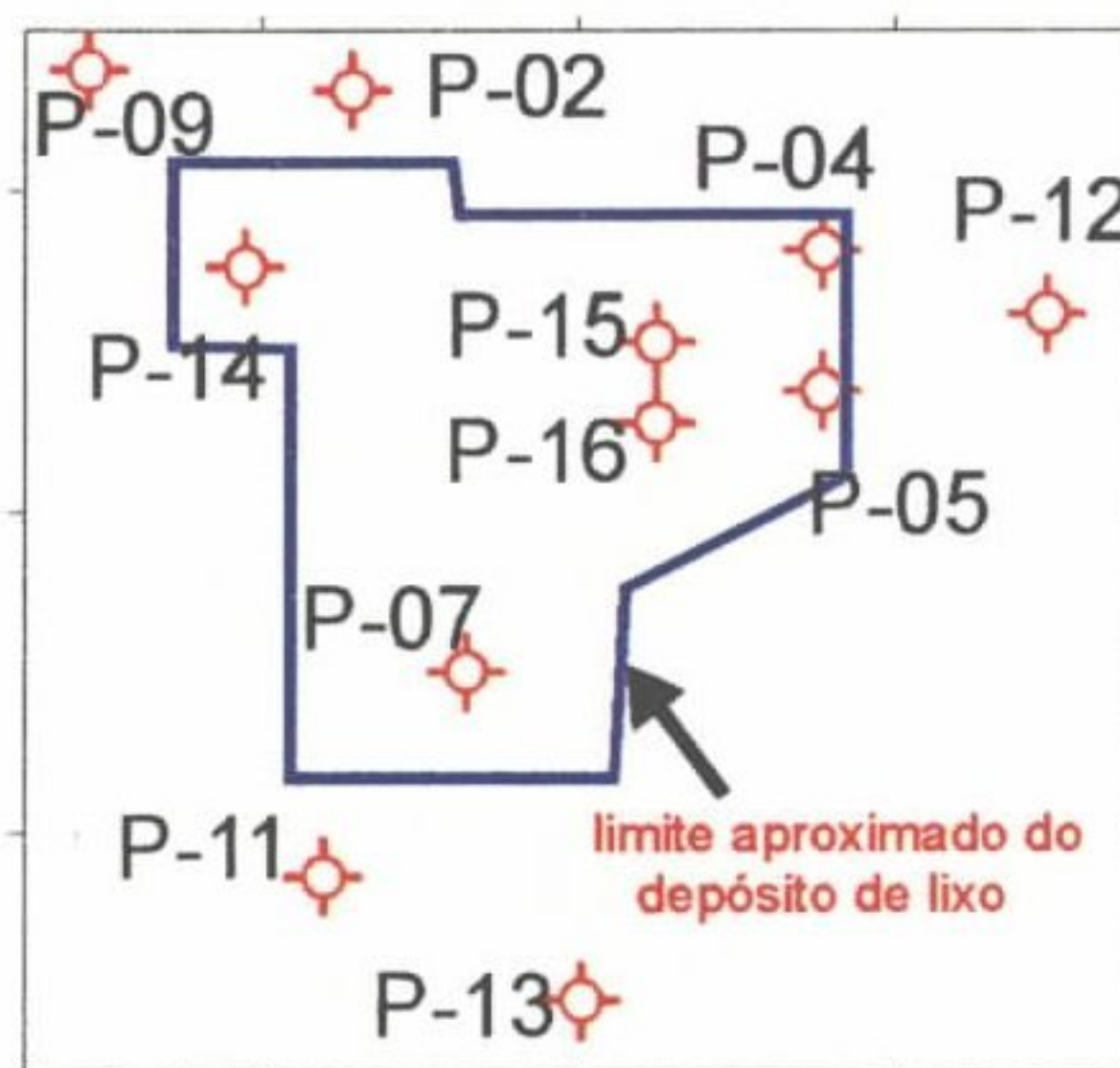
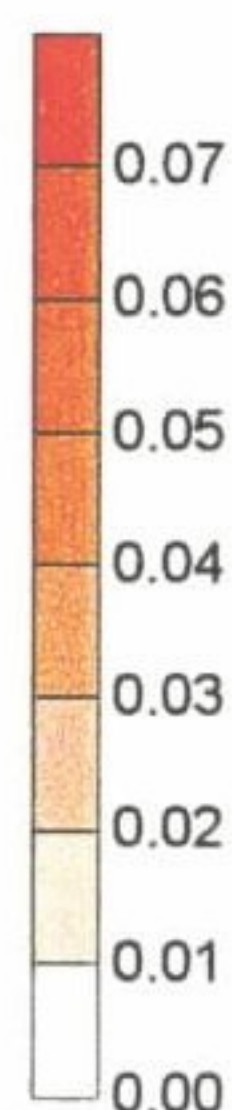
Condutividade (uS/cm)



Sólidos totais dissolvidos (mg/l)



Cromo Total (mg/l)



Poços de Monitoramento Hídrico

Figura 14 – Mapa de Isoteores

6 – INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS GEOLÓGICO-GEOFÍSICOS

Os estudos geológicos realizados no local do depósito de resíduos da Vila Kroeff identificaram a presença de duas seqüências litoestratigráficas. A primeira, situada mais próximo à superfície do terreno, é representada pelos Depósitos Aluvionares Quaternários, ligados à planície de inundação do rio dos Sinos e a segunda, sotoposta à anterior, é formada por rochas da Formação Sanga do Cabral, pertencente ao Grupo Rosário do Sul. A análise dos perfis litológicos dos furos, indicou que os Depósitos Aluvionares são formados por um pacote de sedimentos predominantemente argilosos, contendo na sua porção basal intercalações de níveis arenosos. No conjunto, estes sedimentos representam um intervalo pouco permeável, atuando principalmente como "aquitarado", isto é, litologias que dificultam a circulação das águas subterrâneas. Os níveis arenosos, que ocorrem na base da seqüência, constituem intervalos de "aqüíferos", mas estão intercalados entre níveis argilosos que atuam como "aquicludes", isto é, níveis que praticamente impedem a circulação da água. Todo o pacote possui uma espessura de 11 metros. O depósito de resíduos sólidos está inteiramente assentado sobre a seqüência aluvionar, não tendo contato com a seqüência sotoposta.

Da mesma forma, os perfis litológicos dos furos 15 e 16 revelaram que a Formação Sanga do Cabral é constituída, na área do depósito, por rochas sedimentares predominantemente areníticas finas com matriz argilosa, que atuam de uma forma geral, como "aquitarados". Os intervalos "aqüíferos" desta seqüência, verificados neste furos, são subordinados e ocorrem desde os 23 m até 46,50 m de profundidade. A inexistência de falhamento e/ou fraturas na área sugerem não existir interação significativa na percolação da água subterrânea entre estes intervalos.

Do ponto de vista da importância hidrogeológica, o "aqüífero" ligado aos Depósitos Aluvionares, pode ser considerado negligenciável, por situar-se na planície de inundação do rio dos Sinos. As áreas

de planície de inundação são consideradas áreas de risco, sujeitas a inundações e alagamentos, não aconselháveis para a ocupação urbana, não demandando, portanto, água para abastecimento humano. Devido ao pequeno potencial hidrogeológico que representam, baixas vazões presentes e a baixa qualidade que normalmente apresentam, não são utilizadas na indústria e agropecuária. No que se refere aos intervalos "aqüíferos" da Formação Sanga do Cabral, parecem representar níveis de pequena potencialidade, o que aliás é reforçado pelas pequenas vazões obtidas pelos poços perfurados pelas indústrias localizadas próximo ao depósito, alguns até totalmente secos. Por outro lado, a geologia regional demonstra que as formações geológicas existentes na região e sotopostas à Formação Sanga do Cabral, diminuem o seu potencial hidrogeológico com o aumento da profundidade.

A aplicação dos métodos geofísicos permitiu definir a extensão da contaminação do subsolo, tanto em profundidade como lateralmente. As Sondagens Elétricas Verticais, realizadas no interior do depósito de lixo, calibradas em pontos onde foram construídos poços de monitoramento, com descrição dos sedimentos e coleta de amostras para análises, permitiram definir a extensão em profundidade da contaminação. A espessura máxima de lixo encontrada nos poços foi de aproximadamente 6 metros (P-15 e P-16). Nos diversos pontos de sondagens elétricas verticais (SEV's 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 20, 21 e 22) a zona contaminada estende-se por no máximo 6 metros abaixo da base do lixo.

As anomalias de condutividade elétrica definidas pelo EM-34-3 possibilitaram, sobretudo, a determinação do avanço lateral da contaminação das águas subterrâneas, nos diferentes níveis mapeados. Observa-se que apenas no nível mais superficial (7,5 metros) a pluma estende-se a distâncias importantes (máximo de 100 metros na direção noroeste e 50 metros, para oeste, Figuras 2 e 3), recuando nos níveis mais profundos, para dentro dos limites do lixão em superfície (Figura 15).

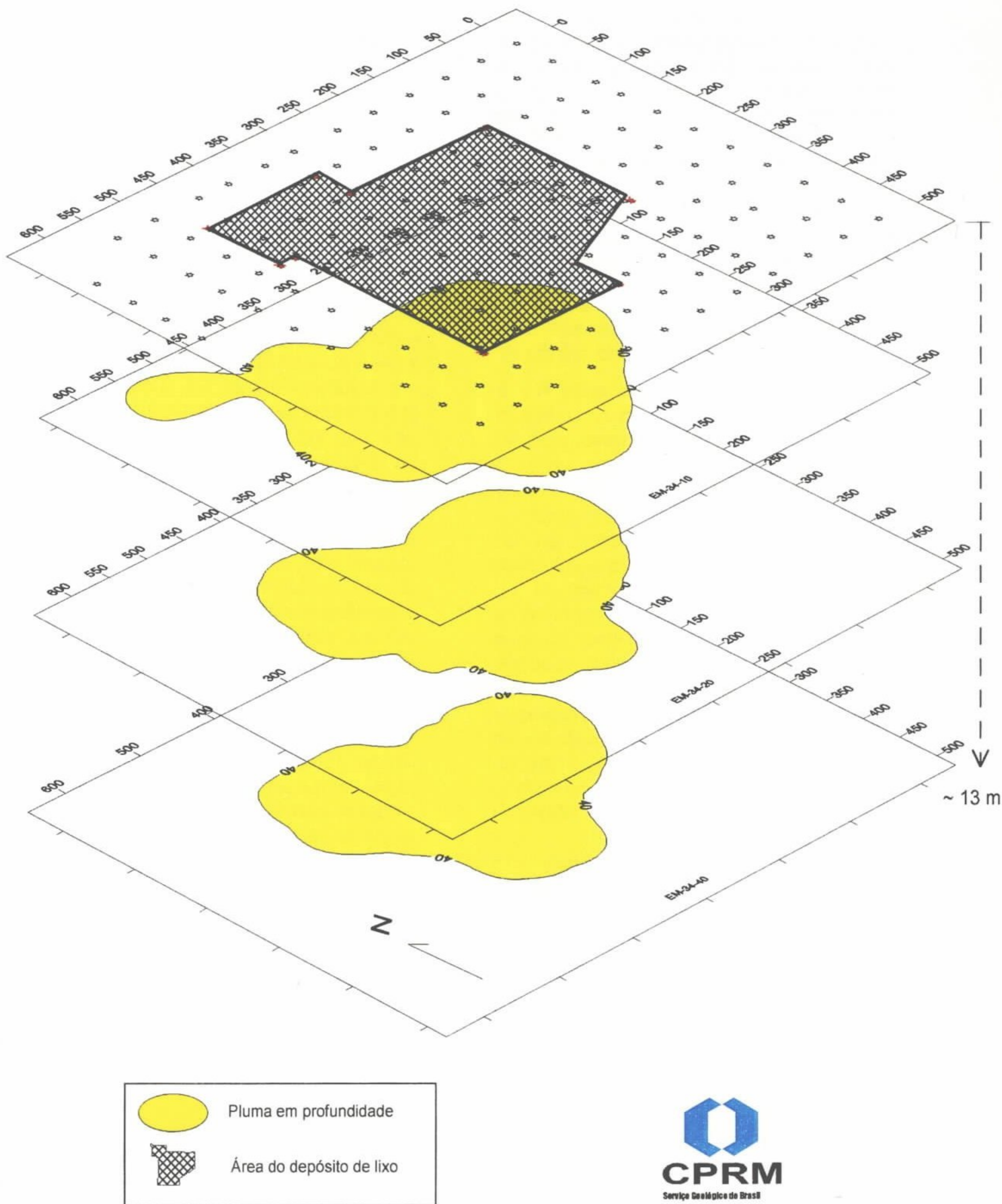


Figura 15 - Pluma de Contaminação definida pela Geofísica (Profundidade definida pelas sondagens elétricas ~13).

Os resultados obtidos, sugerindo a pequena extensão da pluma, lateral e vertical, mesmo na situação da área estudada, onde os resíduos encontram-se em contato direto com as águas subterrâneas, são explicados pelas características do terreno. Os sedimentos finos descritos nos furos, com condutividades hidráulicas (coeficientes de permeabilidade) muito baixas, associados aos insignificantes gradientes hidráulicos, definidos no mapa do nível freático (Figura 9), explicam os baixos valores de velocidades de circulação das águas subterrâneas na área, e, conseqüente-

mente, as limitadas extensões da pluma detectada (Figuras 8 e 15). O Anexo 3 contém a análise estatística dos dados geofísicos medidos pelo EM-34.

O Mapa de TDS (Figura 10), baseado nos valores das análises das amostras de água e nas condutividades elétricas dos sedimentos, de certo modo identifica e delimita a área afetada pelo lixão, com os valores acima de 500 ppm, indicando, de modo indireto, a zona de ocorrência de água não potável.

7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1 - Os resultados geológicos, geofísicos e de análises químicas obtidas na área do depósito de resíduos sólidos da Vila Kroeff confirmaram a contaminação das águas subterrâneas relacionadas aos Depósitos Aluvionares. Estes mesmos estudos revelaram que a pluma poluidora correspondente a esta contaminação encontra-se circunscrita à área do depósito, não tendo ocorrido uma dispersão significativa, em termos de área, no sentido horizontal e nem vertical. Os resultados obtidos do levantamento eletromagnético EM-34 revelaram que existe uma tendência da pluma poluidora diminuir de tamanho com o aumento da profundidade. Os resultados das sondagens elétricas verticais, por sua vez, indicam que esta pluma teria alcançado no máximo 13 metros de profundidade. Os dados obtidos através da interpretação dos perfis litológicos dos furos indicam que esta profundidade corresponde aproximadamente à espessura dos Depósitos Aluvionares, sugerindo que a contaminação está restrita a esta unidade geológica. As características litológicas deste pacote revelam que o mesmo tem uma baixa permeabilidade o que, juntamente com as características morfológicas do local, contribuem para que os líquidos contaminantes provenientes do lixão migrem lentamente. Velocidades de circulação, calculadas indiretamente a partir de dados geofísicos, indicam que as águas subterrâneas circulam a uma velocidade máxima de 2,89 m por ano, tanto no sentido horizontal como vertical. Este valor, comparado a padrões internacionais de velocidade de circulação, pode ser considerado baixo a muito baixo (Custódio & Llamas, 1976). Como já foi mencionado, este fato deve-se à baixa permeabilidade do pacote e ao baixo gradiente hidráulico da área.

2 - Os estudos hidrogeológicos locais indicam que os aquíferos presentes nos Depósitos Aluvionares e na Formação Sanga do Cabral são representados por níveis arenosos de pequeno porte, situados normalmente entre litologias pouco permeáveis e não constituem recursos hídricos significativos para o uso humano, industrial e agropecuário da região. A potencialidade hídri-

ca das unidades geológicas presentes na área tende a diminuir com a profundidade.

3 - A interpretação das análises químicas e mapas de isoteores demonstram que a contaminação do lençol freático, nos Depósitos Aluvionares, está circunscrita à área do depósito, concordando com a interpretação dos dados geofísicos. Os poços P-2, P-4, P-5, mostram sinais evidentes de contaminação, principalmente no tocante à DQO, Cádmi e Chumbo, acompanhados pela alta condutividade da água e alto teor de sólidos dissolvidos.

4 - A integração das informações obtidas nos estudos realizados sugere a existência de dois comportamentos distintos em termos de circulação dos contaminantes na área: o primeiro, detectado pela geofísica, compreendendo a infiltração vertical e lateral na zona saturada, com intensidade muito fraca e extensão limitada; e o segundo, identificado nos trabalhos de campo e já referidos em estudos anteriores, representado pelo escoamento superficial dos resíduos dissolvidos nas águas superficiais, nos terrenos inundados e alagados interligados com o rio dos Sinos. Este tipo de dispersão dos contaminantes, observado em superfície, aparentemente constitui o problema mais grave e urgente a ser resolvido.

5 - Como recomendação, sugerimos a imediata cobertura do depósito, utilizando-se material impermeável, implantação de um sistema de drenagem superficial para evitar a permanência da água de chuva sobre o depósito, instalação de drenos para gases e a elaboração de projetos visando à contenção da migração do chorume para o banhado, levando-se em consideração a contaminação até a profundidade de 13 metros. Por outro lado, consideramos importante o monitoramento periódico do depósito através de métodos geofísicos EM-34-3 (7,5 e 15m) e de SEVs, juntamente com coleta sistemática e análise de água nos poços de monitoramento. Como medida complementar, deve ser realizado o monitoramento das águas superficiais até o rio do Sinos, através de medições de condutividade elétrica das

águas. Paralelamente devem ser reamostrados os furos 15 e 16, visando confirmar os resultados preliminares obtidos na primeira campanha de monitoramento das águas subterrâneas. Este procedimento

deve ser precedido de uma limpeza criteriosa dos poços, objetivando eliminar possíveis contaminações que possam ter ocorrido durante o processo de perfuração.

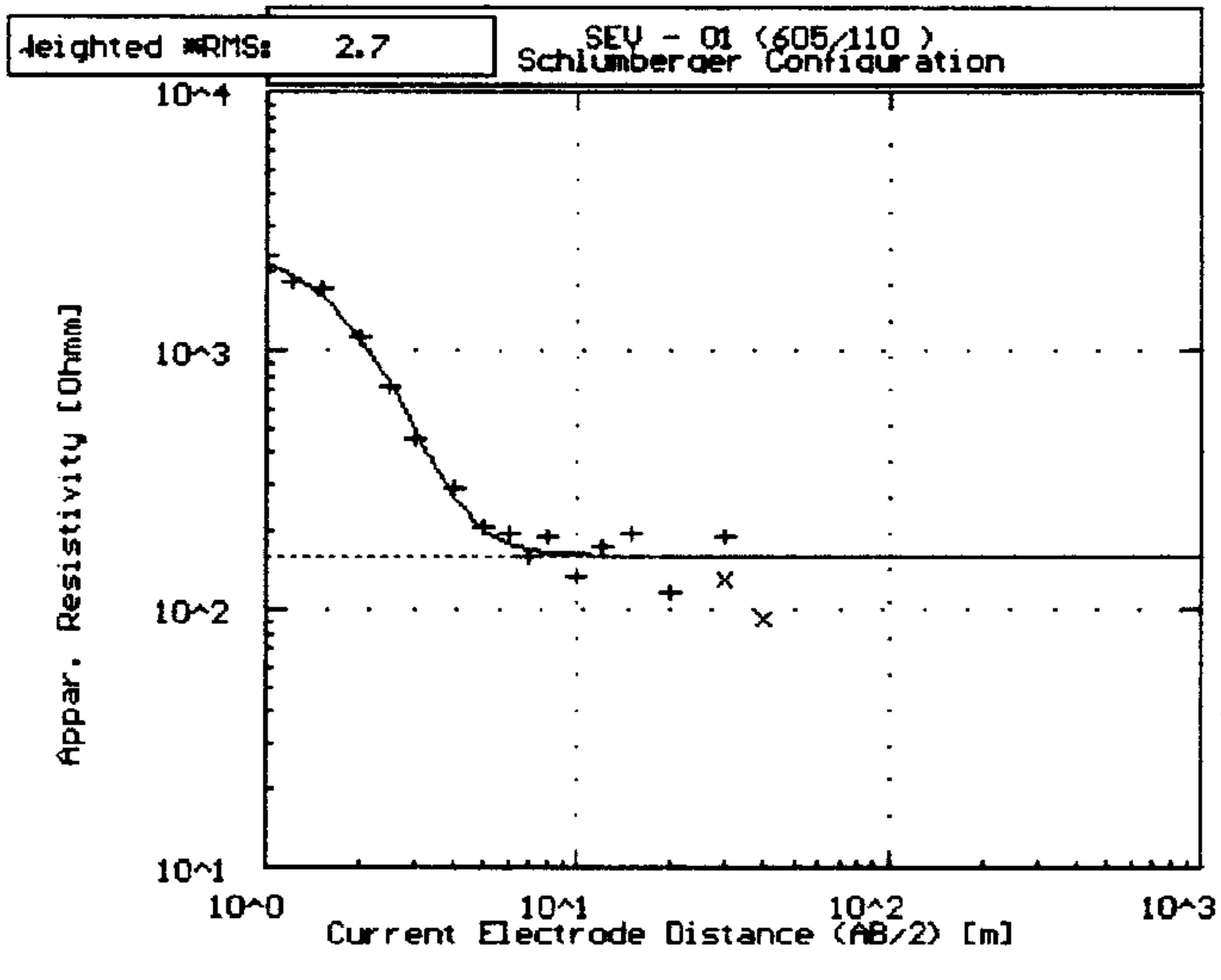
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem**. Rio de Janeiro, 1997. 21 p. (NBR 13895)
- ANDREIS, R.R.; BOSSI, G. E. & MONTARDO, D. K. O Grupo Rosário do Sul (Triássico Superior) no Rio Grande do Sul, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. **Anais...** Camboriú: SBG, 1980. v. 2. p.659-673.
- CUSTÓDIO, E. E LLAMAS, M. R. 1976. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona: Omega. Tomo i. 1157p.
- FACCINI, U.F. **O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1989. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências da UFRGS. 2v.
- FEITOSA, F.A.C. & MANOEL FILHO, J.; coords. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM/LABBHID/UFPE, 1997. 412 p.
- FOLHA SH-22. Porto Alegre e parte das Folhas SH-21. Uruguaiana e SI-22. Lagoa Mirim: geologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE., 1996. 796p. 6 mapas (Levantamento de Recursos Minerais, v.33).
- FOSTER, S. **Determinação do risco de contaminação de águas subterrâneas: um modelo baseado em dados existentes**. São Paulo: Instituto de Geologia, 1993. 1 v. (tradução de Ricardo Hirata, Sueli Yoshinaga, Seiju Hassuda, Mara Iritani)
- FOSTER, S. & HIRATA, R.. **Determinação do risco de contaminação de águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes**. São Paulo: Instituto de Geologia, 1993. 1 v. (Boletim n. 10)
- FOSTER, S.; VENTURA, M. & HIRATA, R. **Contaminación de las aguas subterranas: un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación com el suministro de agua potable**. Lima: OMS/OPS-HPE/CEPIS, 1987. 42 p.
- GORDON Jr., M. Classificação das Formações Gonduânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Notas Preliminares e Estudos**, DGM/DNPM, n. 38, 1947. 20 p.
- HAUSMAN, A. Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul. **Acta geológica Leopoldensia**, Série Mapas, São Leopoldo, UNISINOS, n. 2, 1995.
- KREBS, A.S.J. **Geologia do Município de Estância Velha, RS**. Porto Alegre: CPRM/METROPLAN, 1994. 1v. (Série Cartas Temáticas, v.7) (Programa Técnico para o Gerenciamento da Região Metropolitana de Porto Alegre).
- McNEILL, I. **Eletromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers**. s. l.: Geonics Limited , 1980. TN -6, 15p.
- McNEILL, I. **EM-34-3 Survey Interpretation Techniques**. s. l.: Geonics Limited, 1980. TN-8, 15p.
- NAPÉIA PROJETOS AMBIENTAIS Ltda. **Estudo de Impacto Ambiental – Lixão da Vila Kroeff**, Prefeitura Municipal de Novo Hamburgo, RS. São Leopoldo, 1996. 1 v. (Inédito)

SINANDOUX, P. Mesures dielectriques en milieux poreux, application a mesures des saturations en eaux, étude du comportement des massifs argileux. **Rev. de l'Institut Français du Pétrole** ; Supplémentaire issue. , 1963.

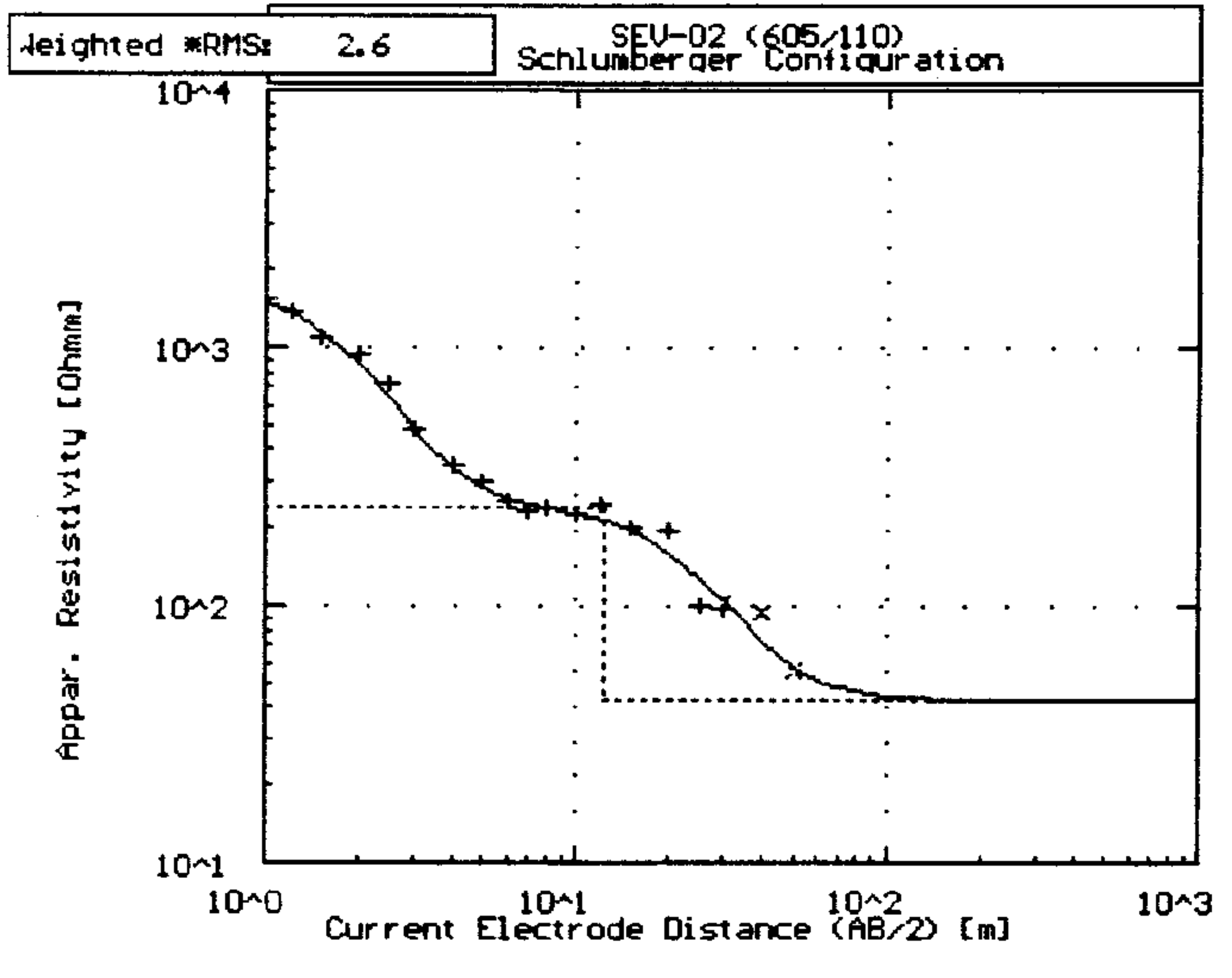
WHITE, I.C. Geologia do Sul do Brasil. **Boletim da Diretoria de Agricultura, Viação, Indústria e Obras Públicas**, Salvador, v. 8, n.6, p. 582-586, 1906. (Tradução de Manuel I. Ornellas).

Sondagens Elétricas Verticais Modeladas



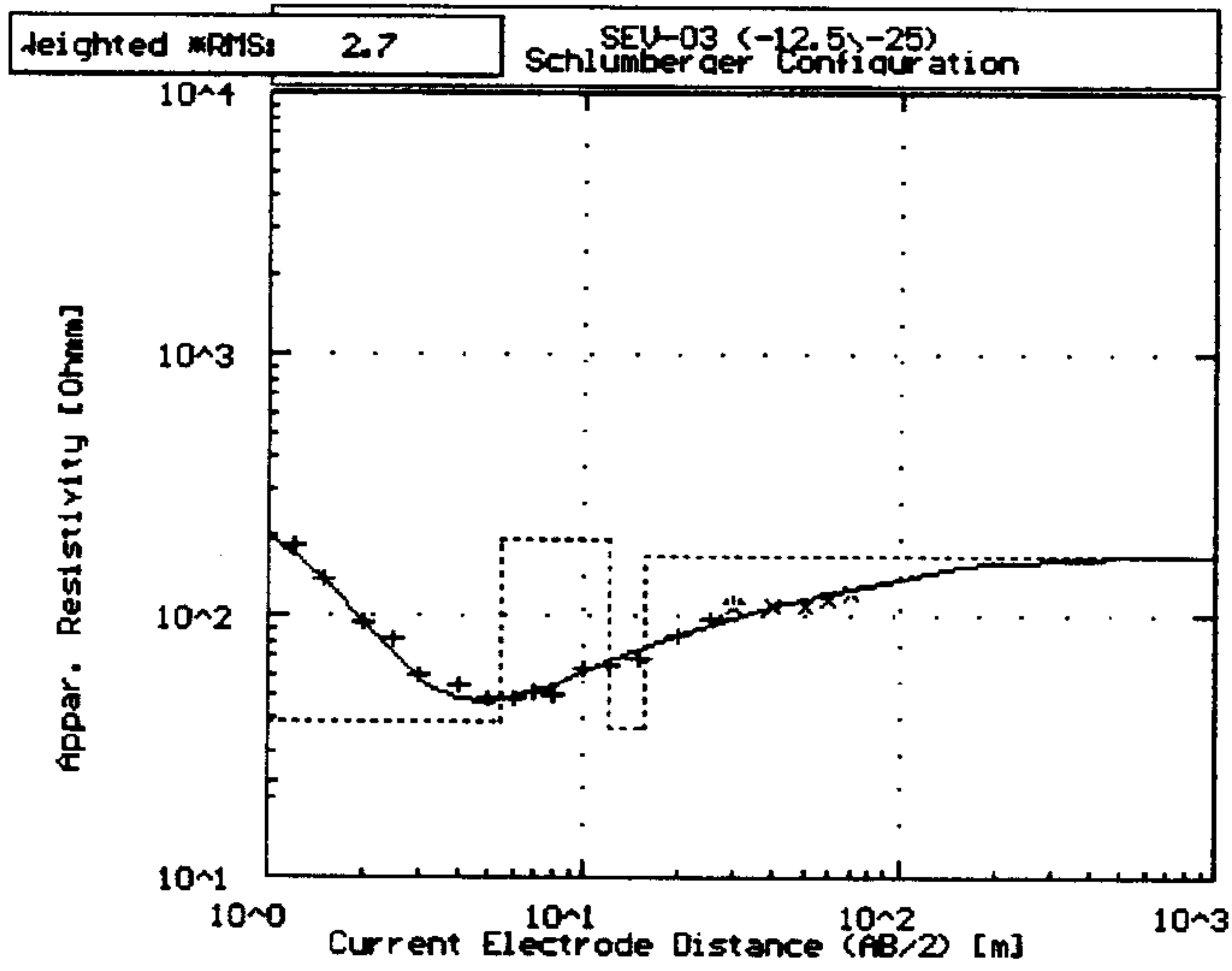
| No | Res | Thick | Depth |
|----|--------|-------|-------|
| 1 | 2699.4 | 0.9 | 0.9 |
| 2 | 159.0 | -.- | -.- |

* RMS on smoothed data



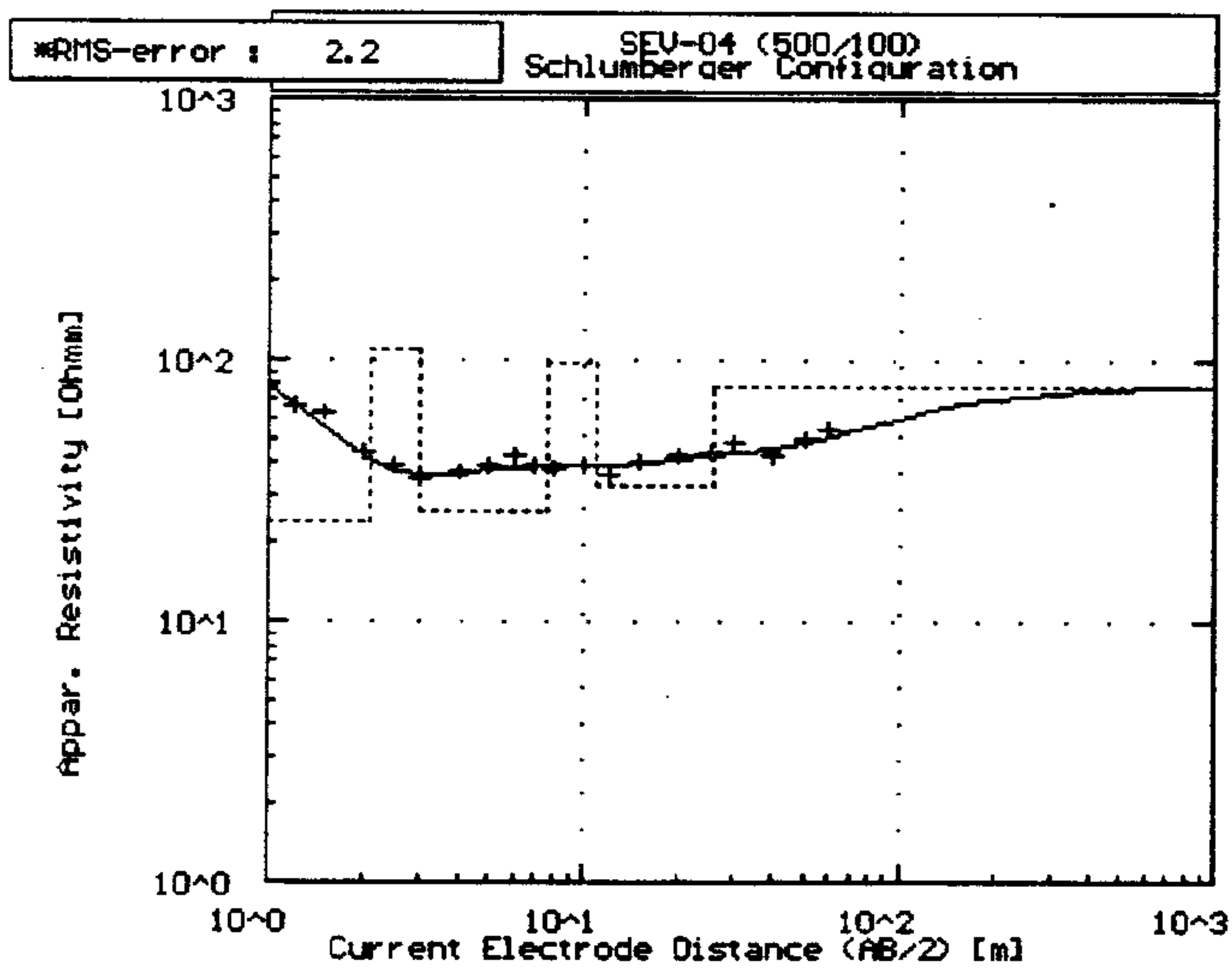
| No | Res | Thick | Depth |
|----|--------|-------|-------|
| 1 | 1765.7 | 0.9 | 0.9 |
| 2 | 242.8 | 11.3 | 12.2 |
| 3 | 42.8 | -.- | -.- |

* RMS on smoothed data



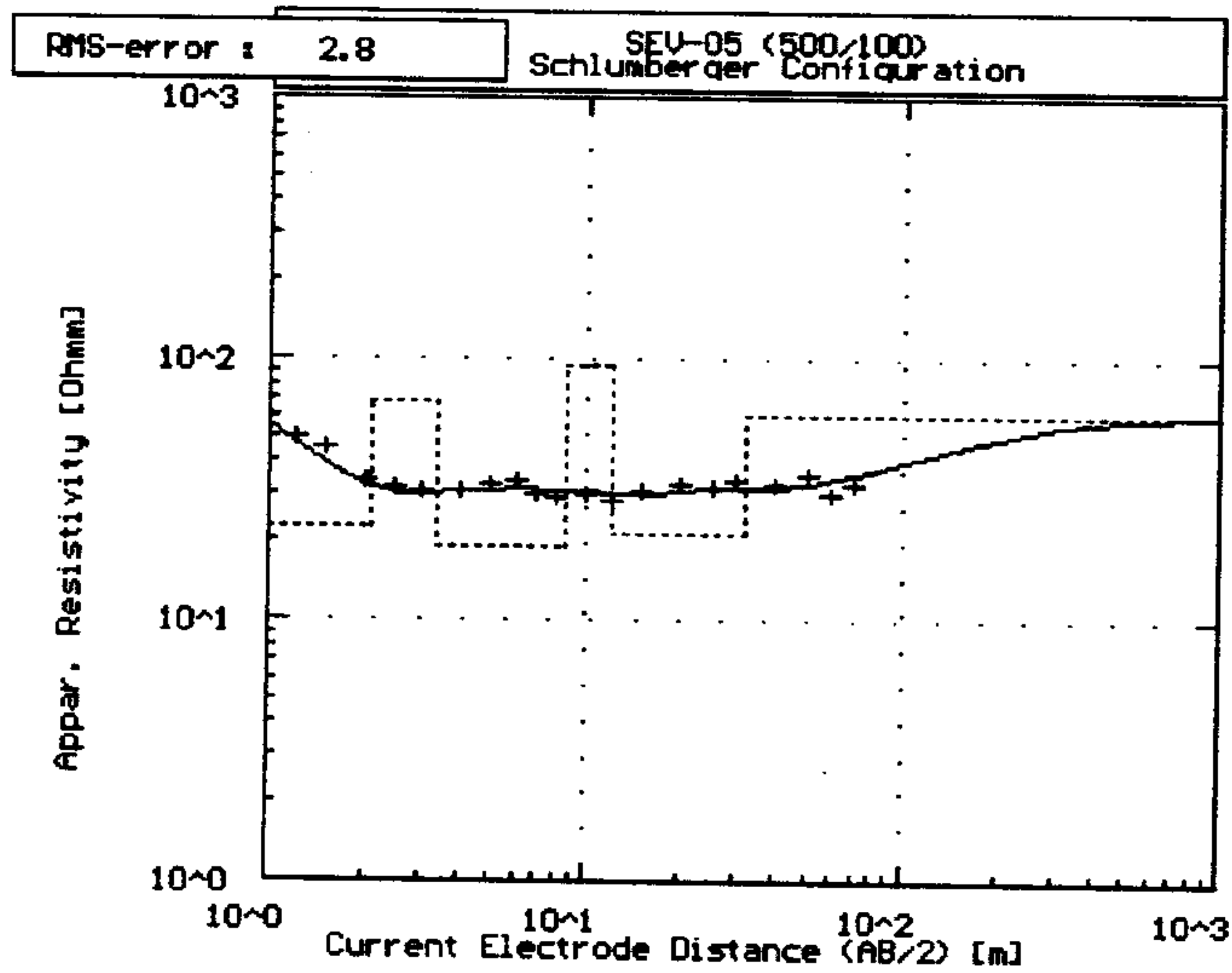
| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 267.9 | 0.7 | 0.7 |
| 2 | 39.3 | 4.8 | 5.8 |
| 3 | 193.9 | 6.6 | 12.5 |
| 4 | 36.9 | 3.4 | 15.5 |
| 5 | 170.1 | - | - |

* RMS on smoothed data

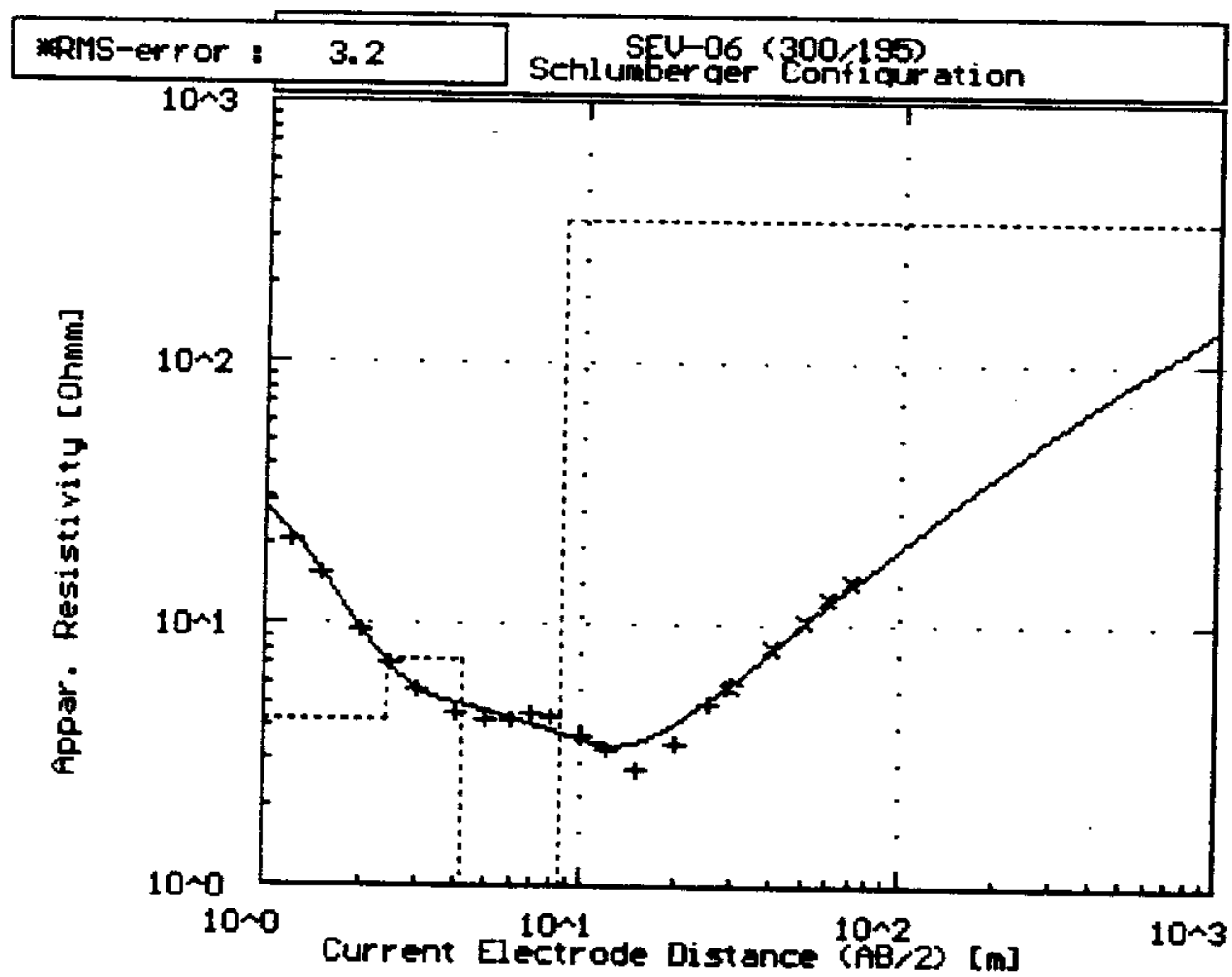


| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 111.0 | 0.6 | 0.6 |
| 2 | 24.2 | 1.0 | 1.0 |
| 3 | 109.6 | 0.9 | 0.9 |
| 4 | 25.9 | 4.6 | 6.0 |
| 5 | 97.0 | 3.4 | 11.0 |
| 6 | 33.3 | 14.7 | 20.6 |
| 7 | 80.1 | - | - |

* RMS on smoothed data

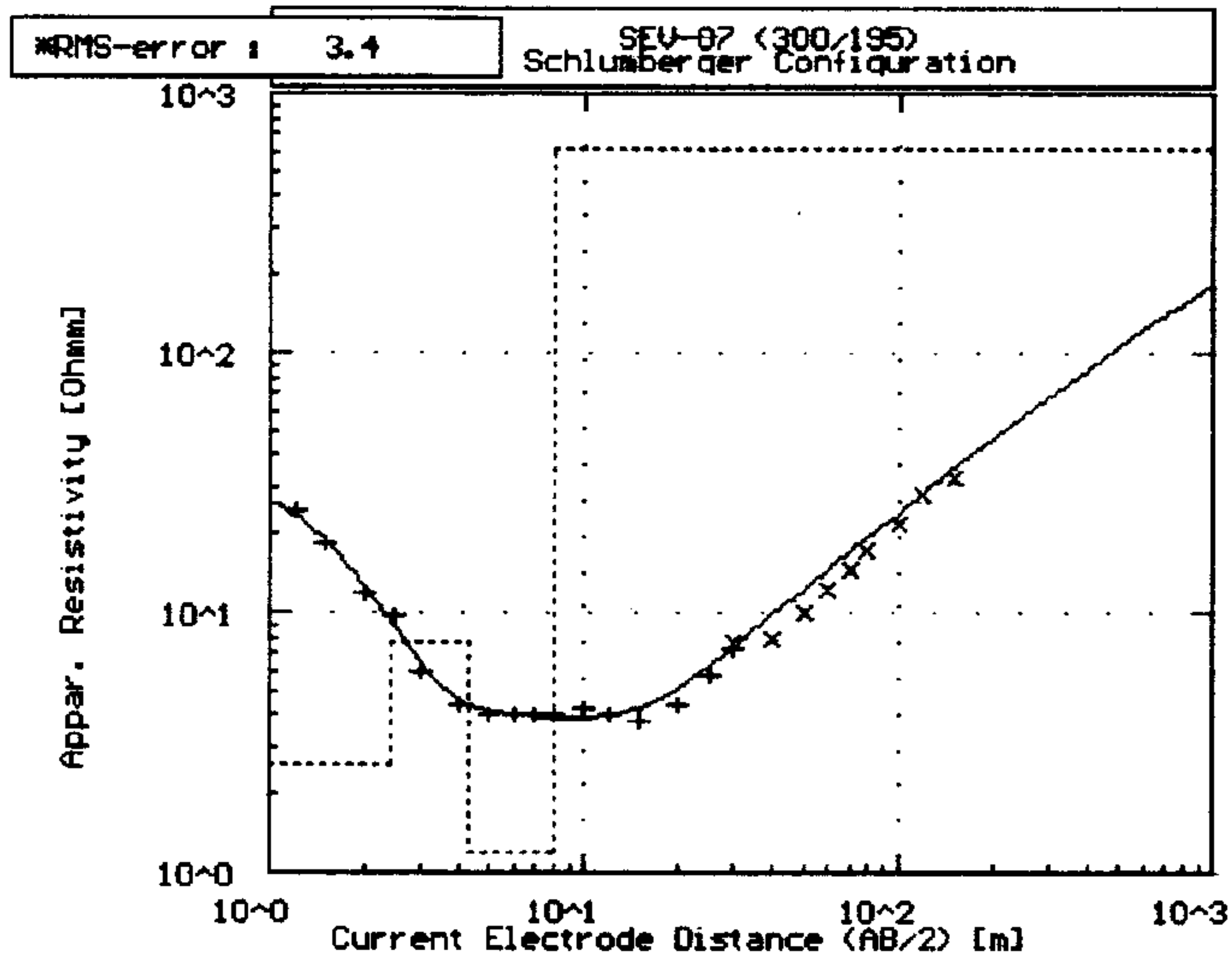


| No | Res | Thick | Depth |
|----|------|-------|-------|
| 1 | 86.9 | 0.5 | 0.5 |
| 2 | 22.0 | 1.6 | 2.1 |
| 3 | 68.7 | 1.1 | 2.4 |
| 4 | 10.9 | 3.5 | 3.6 |
| 5 | 94.1 | 20.0 | 32.1 |
| 6 | 21.5 | -. | -. |
| 7 | 61.8 | -. | -. |



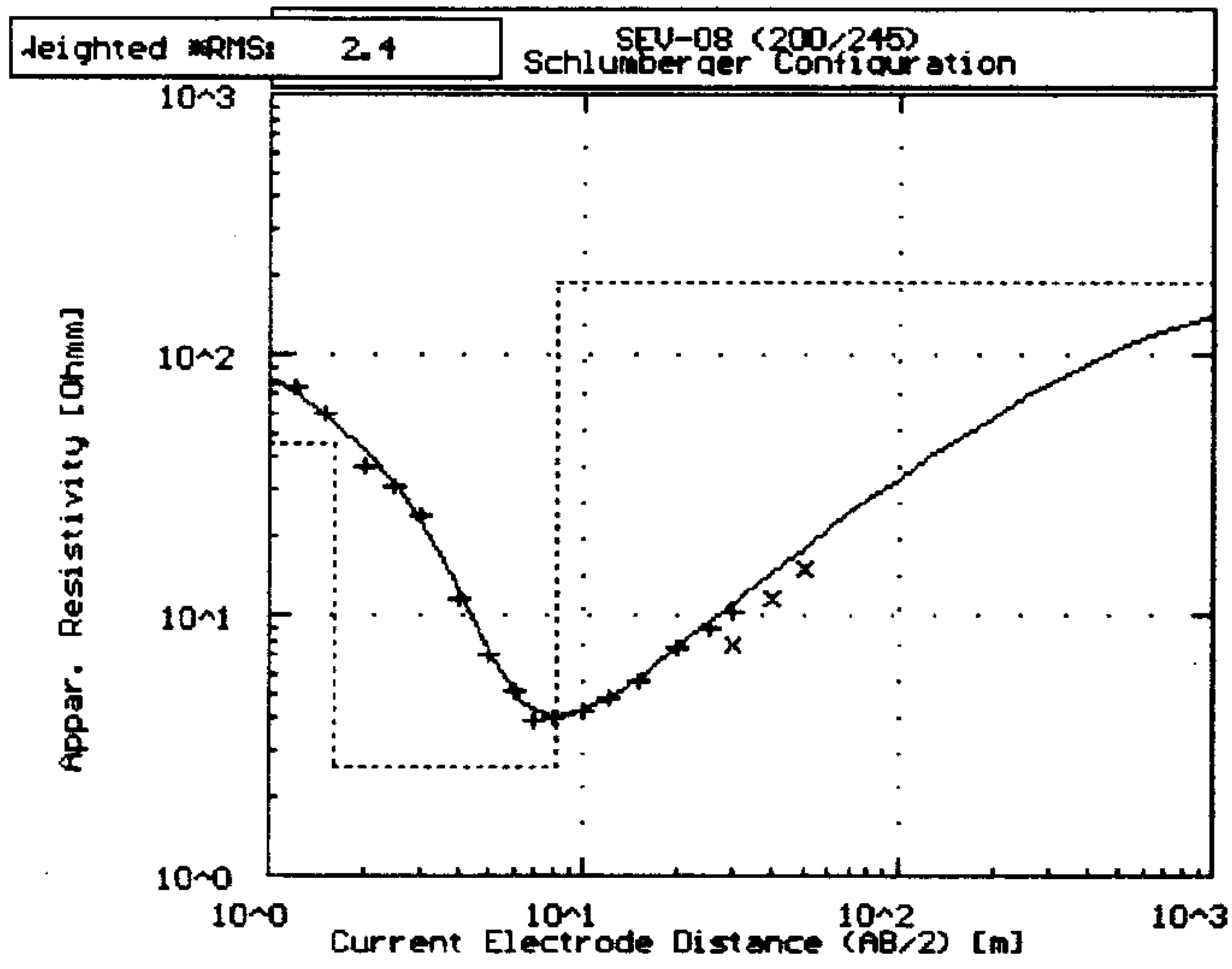
| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 46.9 | 0.6 | 0.6 |
| 2 | 4.3 | 1.9 | 2.4 |
| 3 | 7.3 | 1.8 | 4.2 |
| 4 | 1.0 | 4.3 | 8.5 |
| 5 | 353.5 | -. | -. |

* RMS on smoothed data



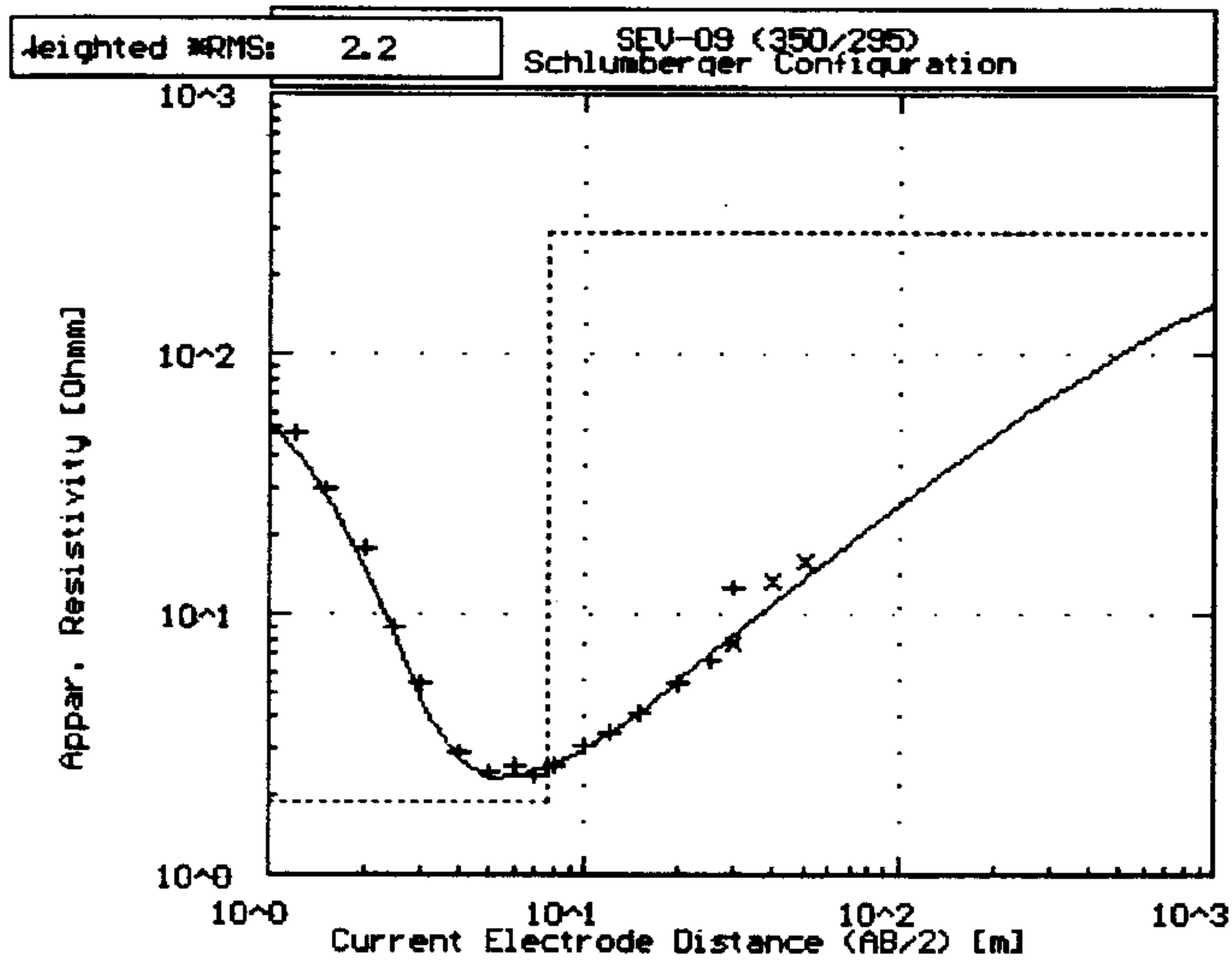
| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 33.9 | 0.8 | 0.8 |
| 2 | 2.6 | 1.6 | 2.4 |
| 3 | 7.7 | 1.9 | 4.3 |
| 4 | 1.2 | 3.7 | 8.0 |
| 5 | 604.5 | - | - |

* RMS on smoothed data



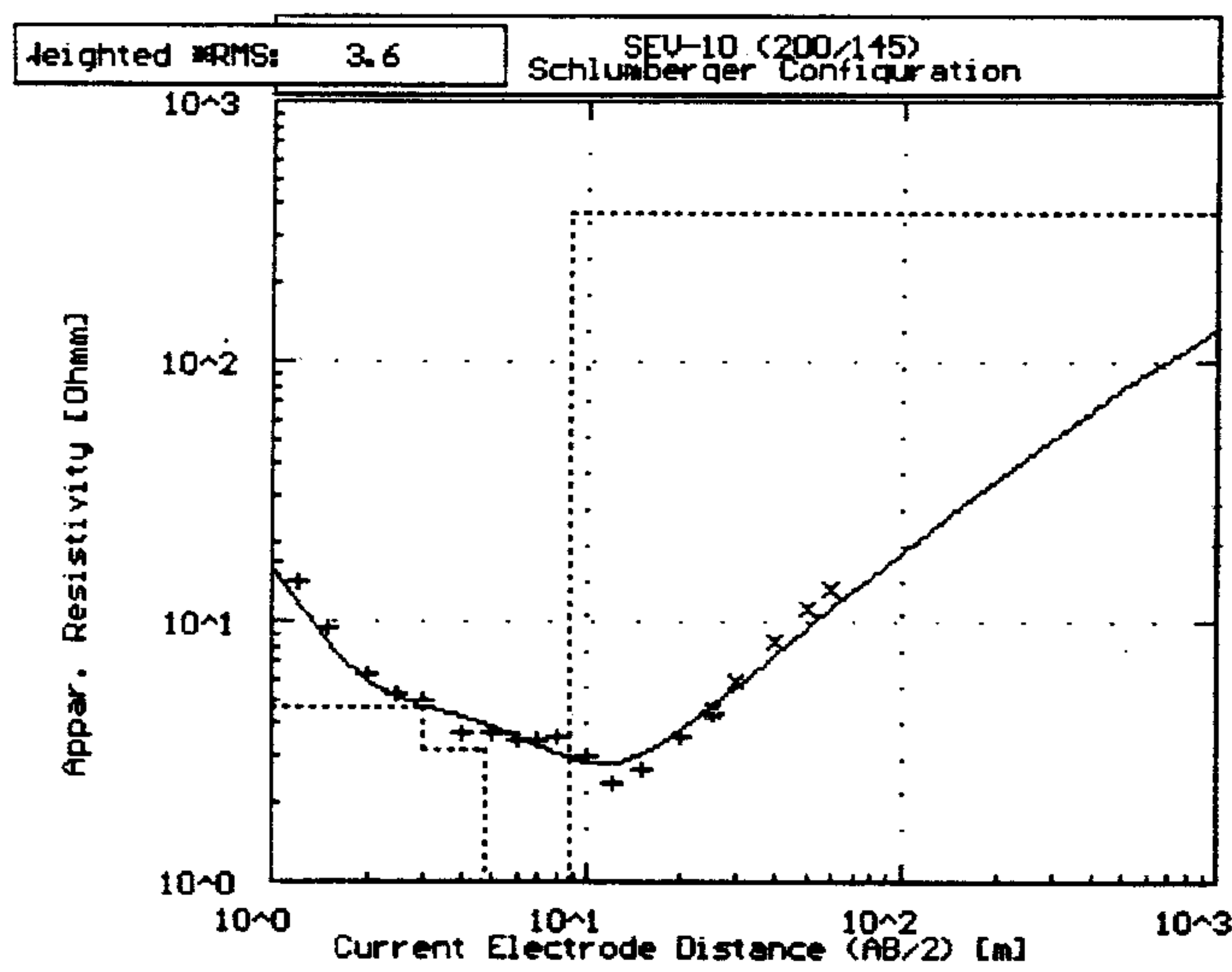
| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 117.8 | 0.5 | 0.5 |
| 2 | 46.1 | 1.1 | 1.6 |
| 3 | 2.6 | 6.5 | 8.1 |
| 4 | 191.5 | - | - |

* RMS on smoothed data



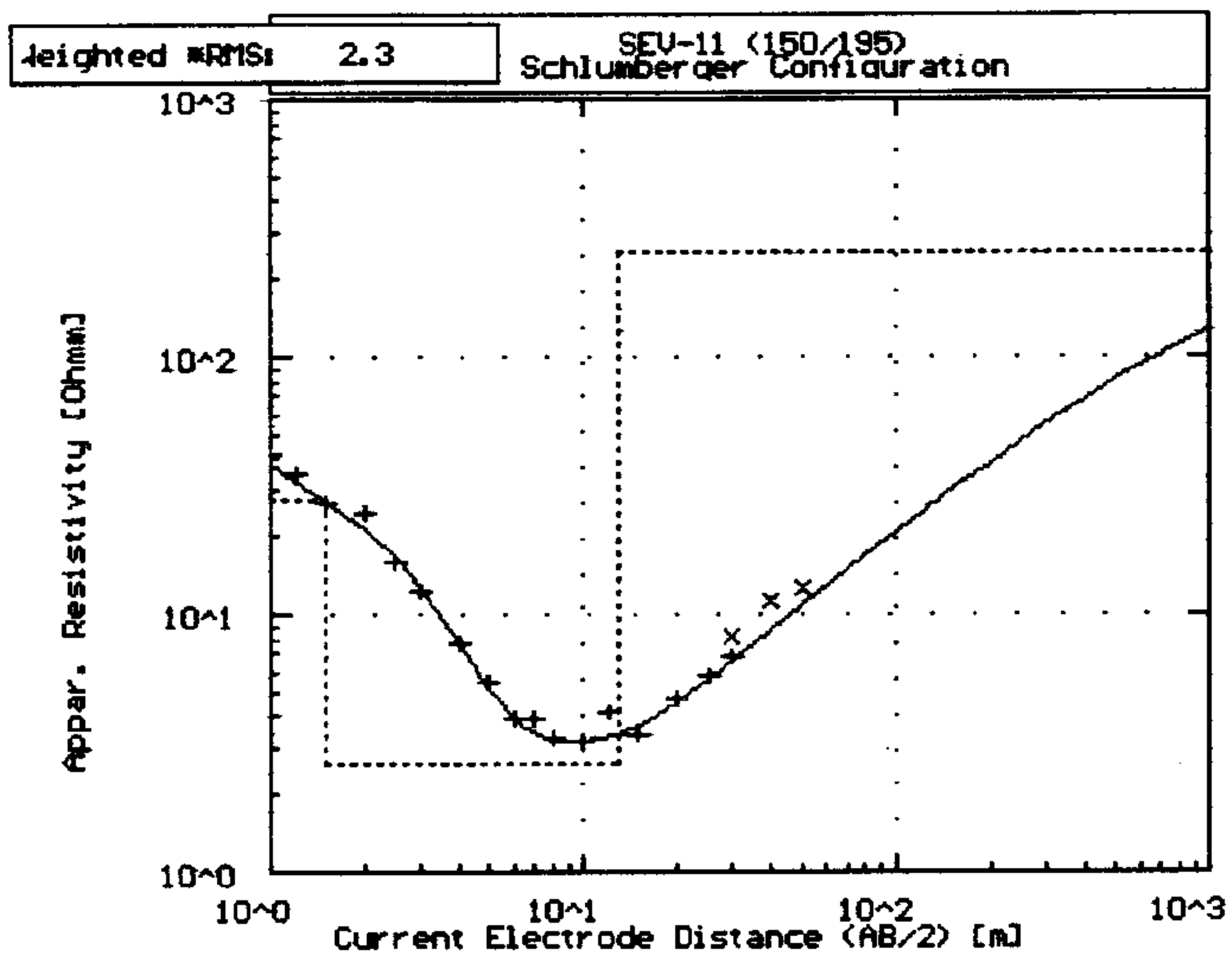
| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 95.2 | 0.5 | 0.5 |
| 2 | 22.8 | 0.5 | 1.0 |
| 3 | 1.9 | 6.6 | 7.6 |
| 4 | 291.3 | - | - |

* RMS on smoothed data



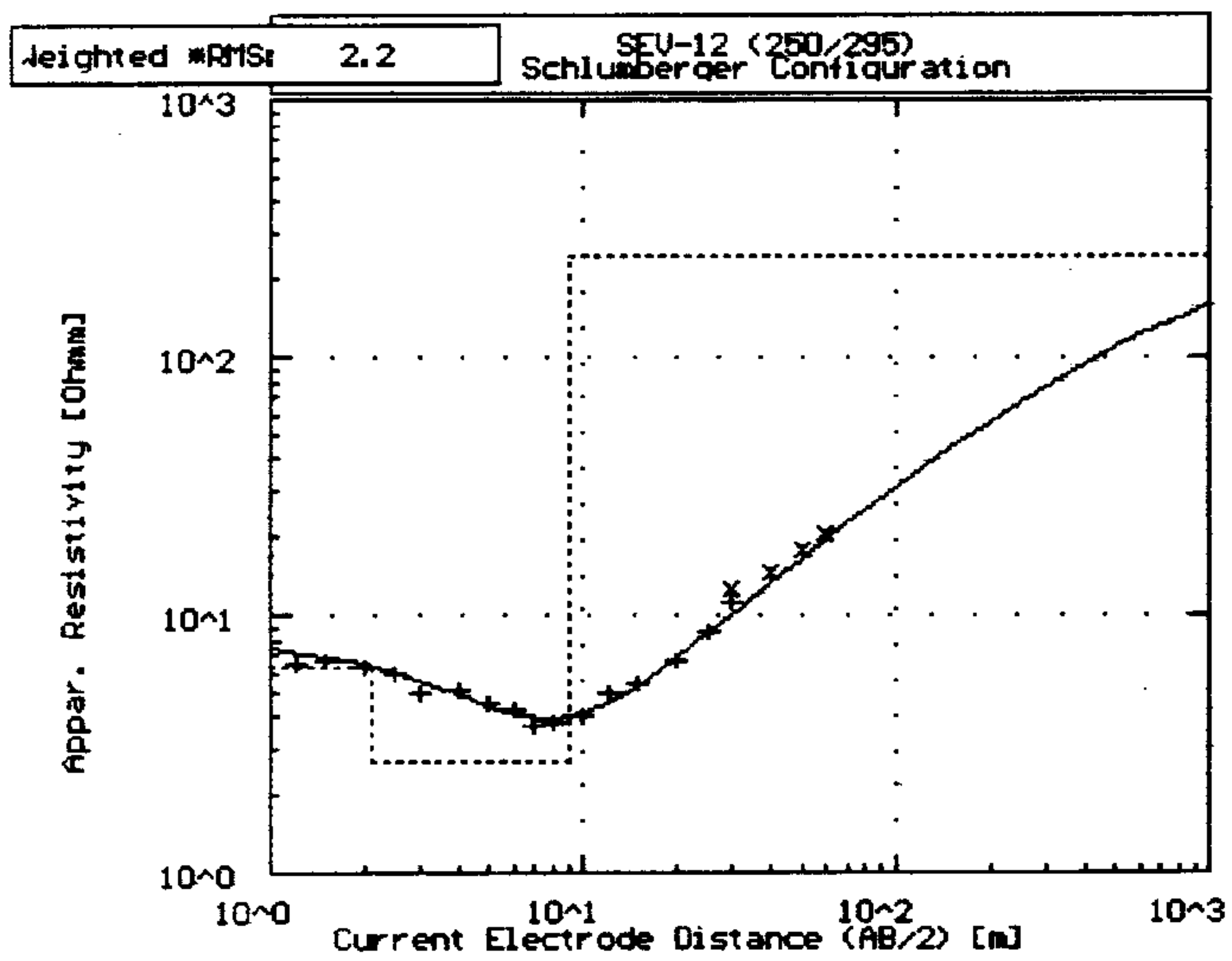
| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 40.5 | 0.4 | 0.4 |
| 2 | 4.7 | 2.6 | 3.0 |
| 3 | 3.2 | 1.7 | 4.7 |
| 4 | 1.0 | 4.1 | 8.8 |
| 5 | 368.0 | - | - |

* RMS on smoothed data



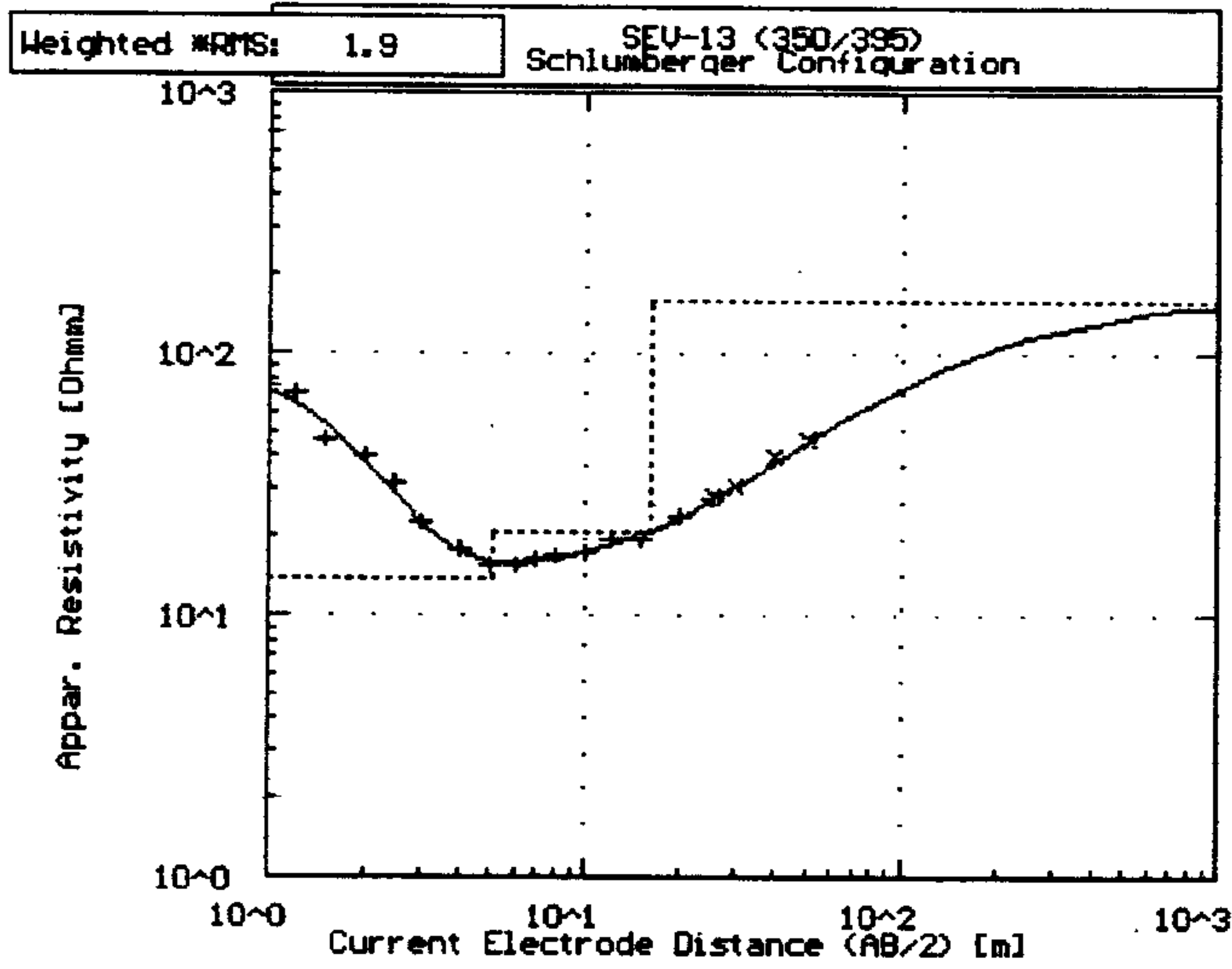
| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 83.2 | 0.3 | 0.3 |
| 2 | 27.4 | 1.2 | 1.5 |
| 3 | 2.6 | 11.4 | 12.9 |
| 4 | 250.7 | -- | -- |

* RMS on smoothed data



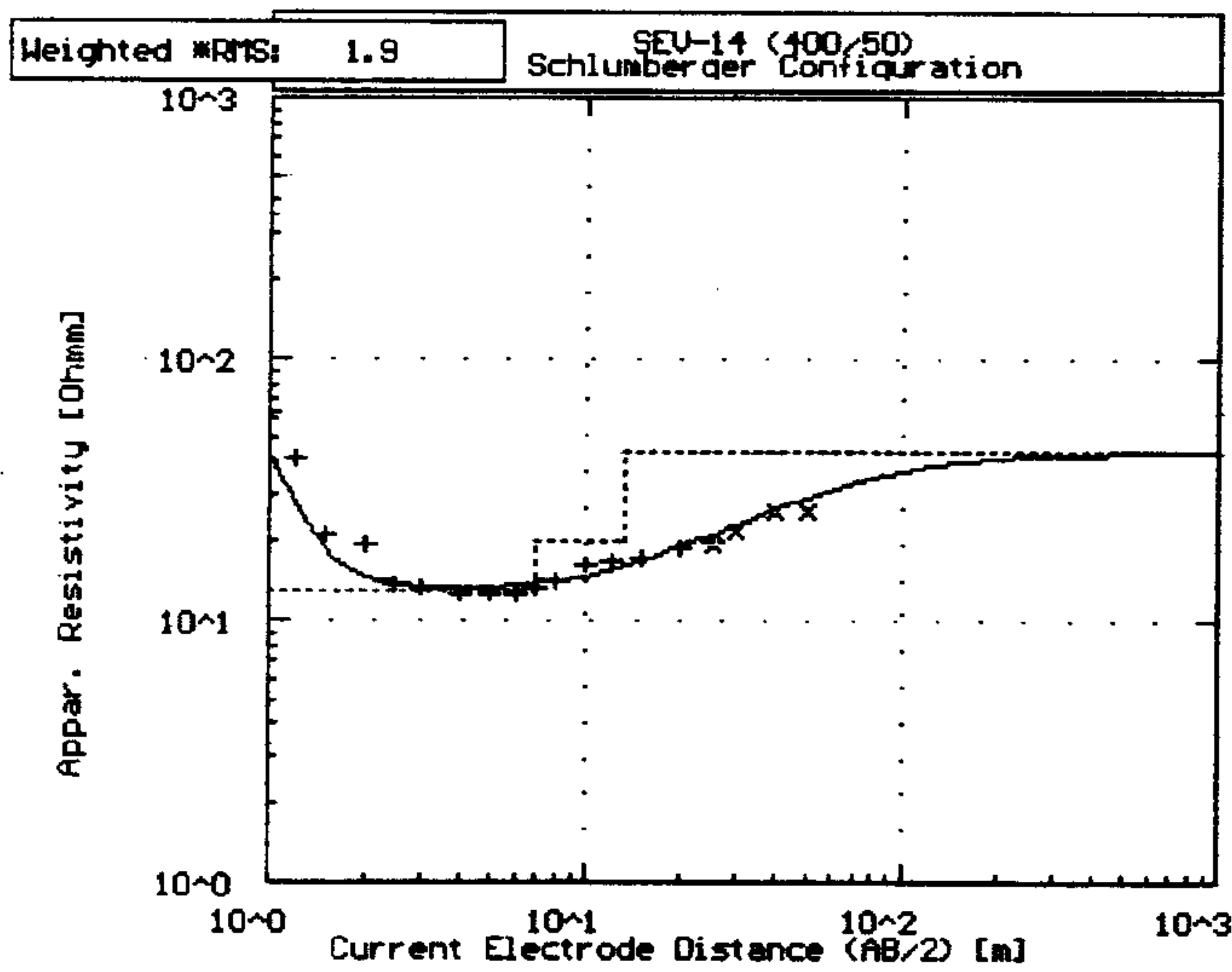
| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 8.3 | 0.5 | 0.5 |
| 2 | 6.3 | 1.6 | 2.1 |
| 3 | 2.7 | 6.8 | 8.9 |
| 4 | 247.9 | -- | -- |

* RMS on smoothed data



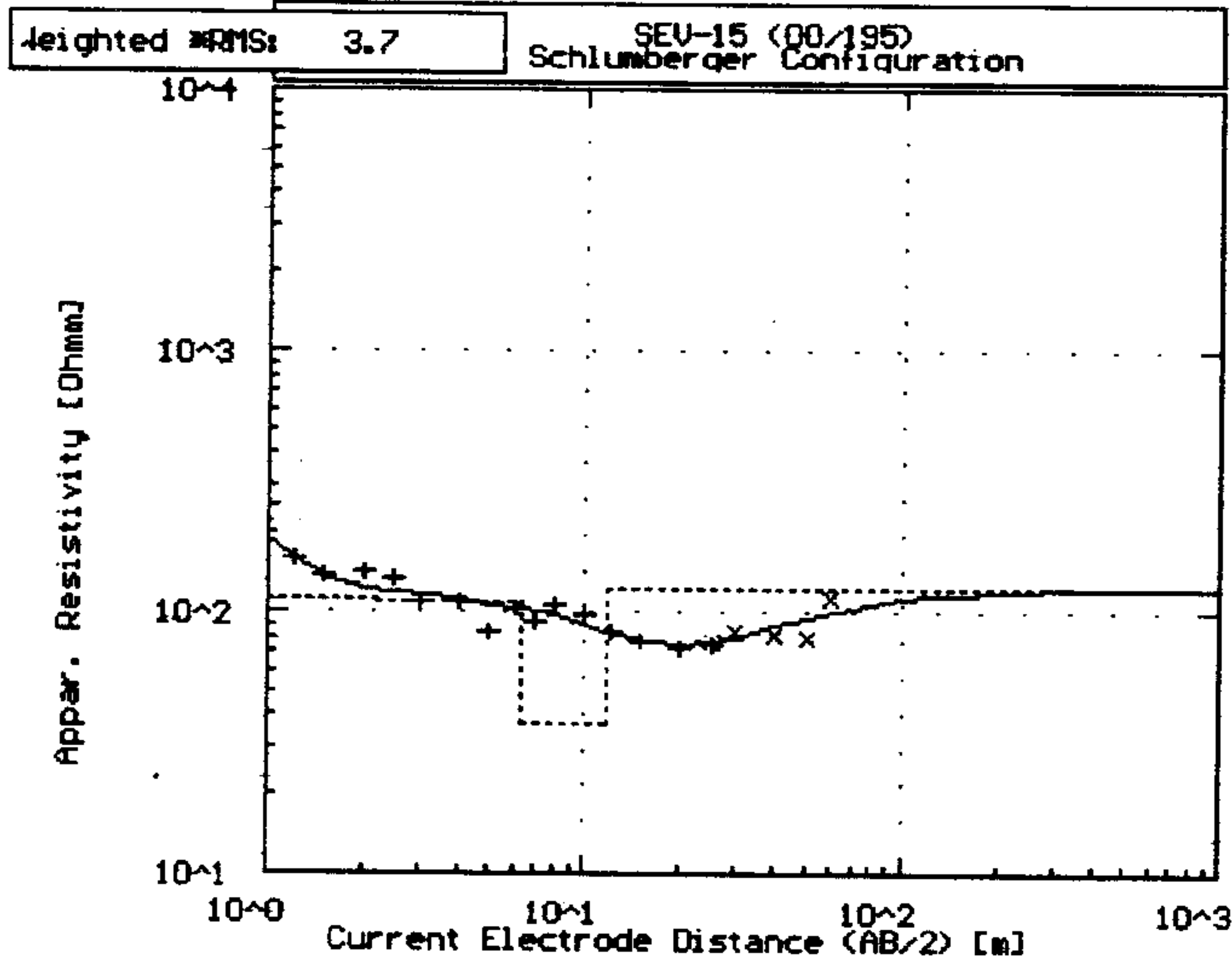
| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 90.5 | 0.8 | 0.8 |
| 2 | 13.7 | 4.3 | 5.1 |
| 3 | 20.7 | 10.7 | 15.8 |
| 4 | 158.2 | -- | -- |

* RMS on smoothed data



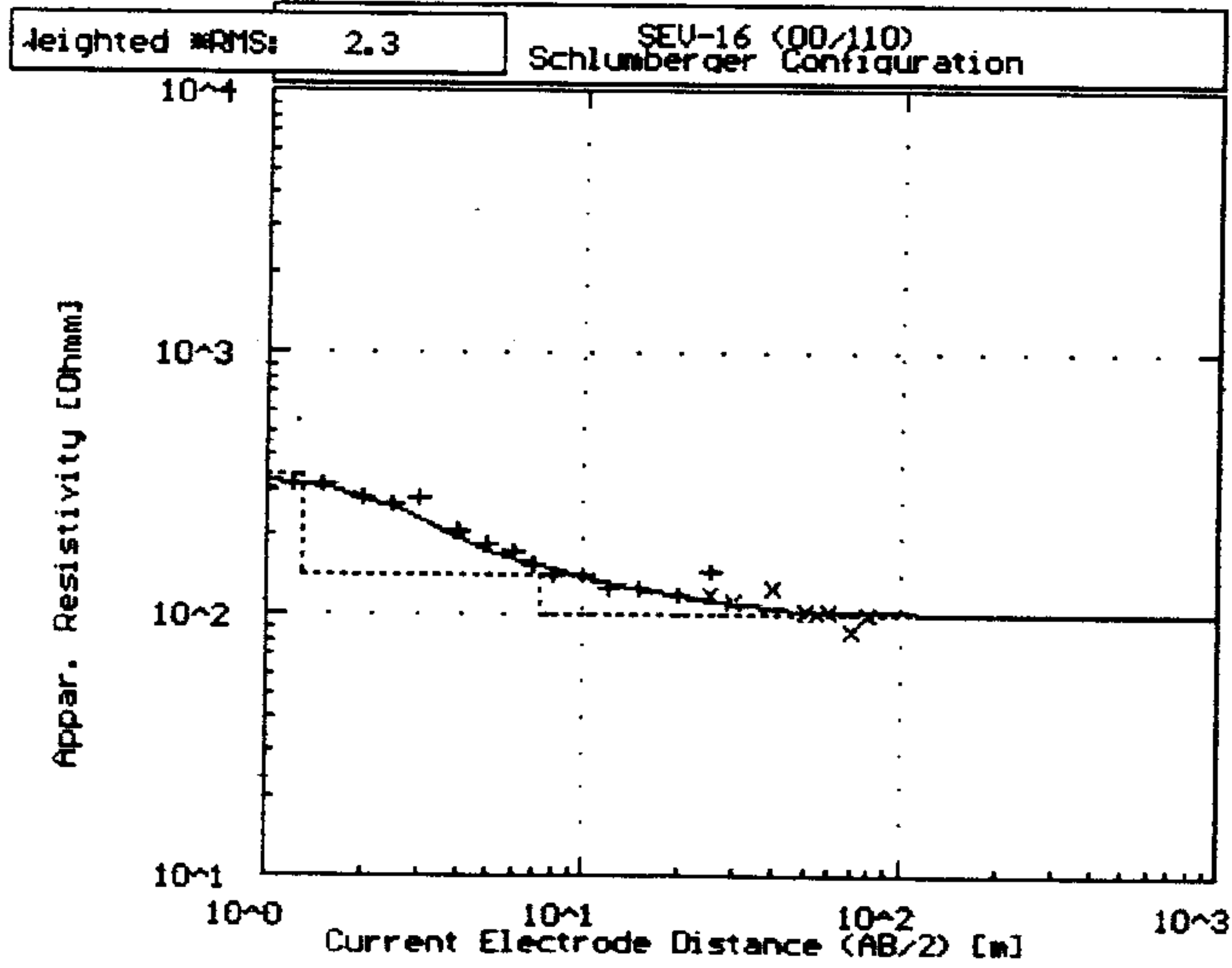
| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 251.9 | 0.3 | 0.3 |
| 2 | 12.9 | 6.6 | 6.9 |
| 3 | 20.4 | 6.2 | 13.1 |
| 4 | 44.3 | -- | -- |

* RMS on smoothed data



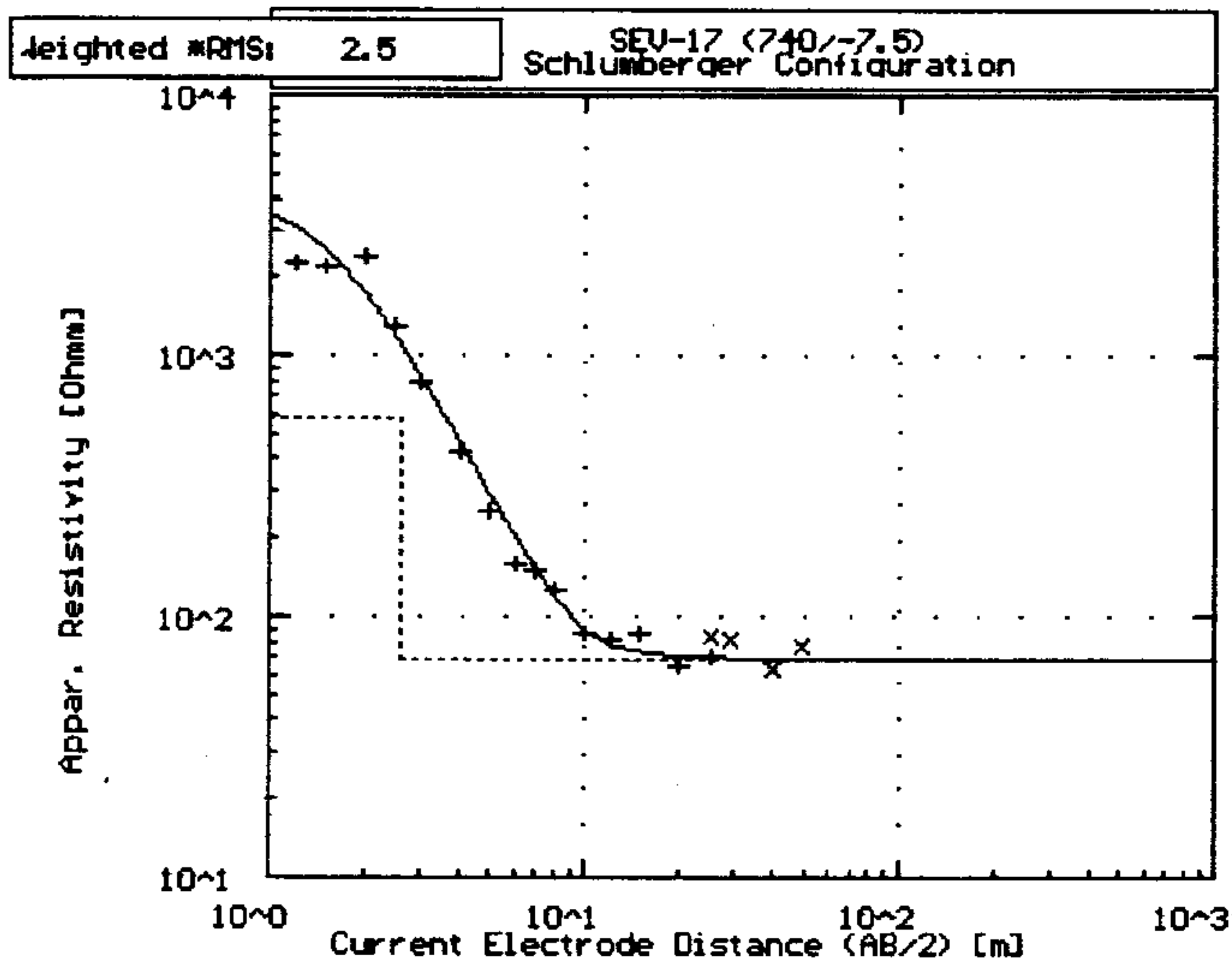
| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 519.5 | 0.3 | 0.3 |
| 2 | 113.7 | 1.9 | 1.9 |
| 3 | 108.6 | 4.1 | 4.1 |
| 4 | 37.5 | 5.5 | 11.6 |
| 5 | 123.4 | - | - |

* RMS on smoothed data



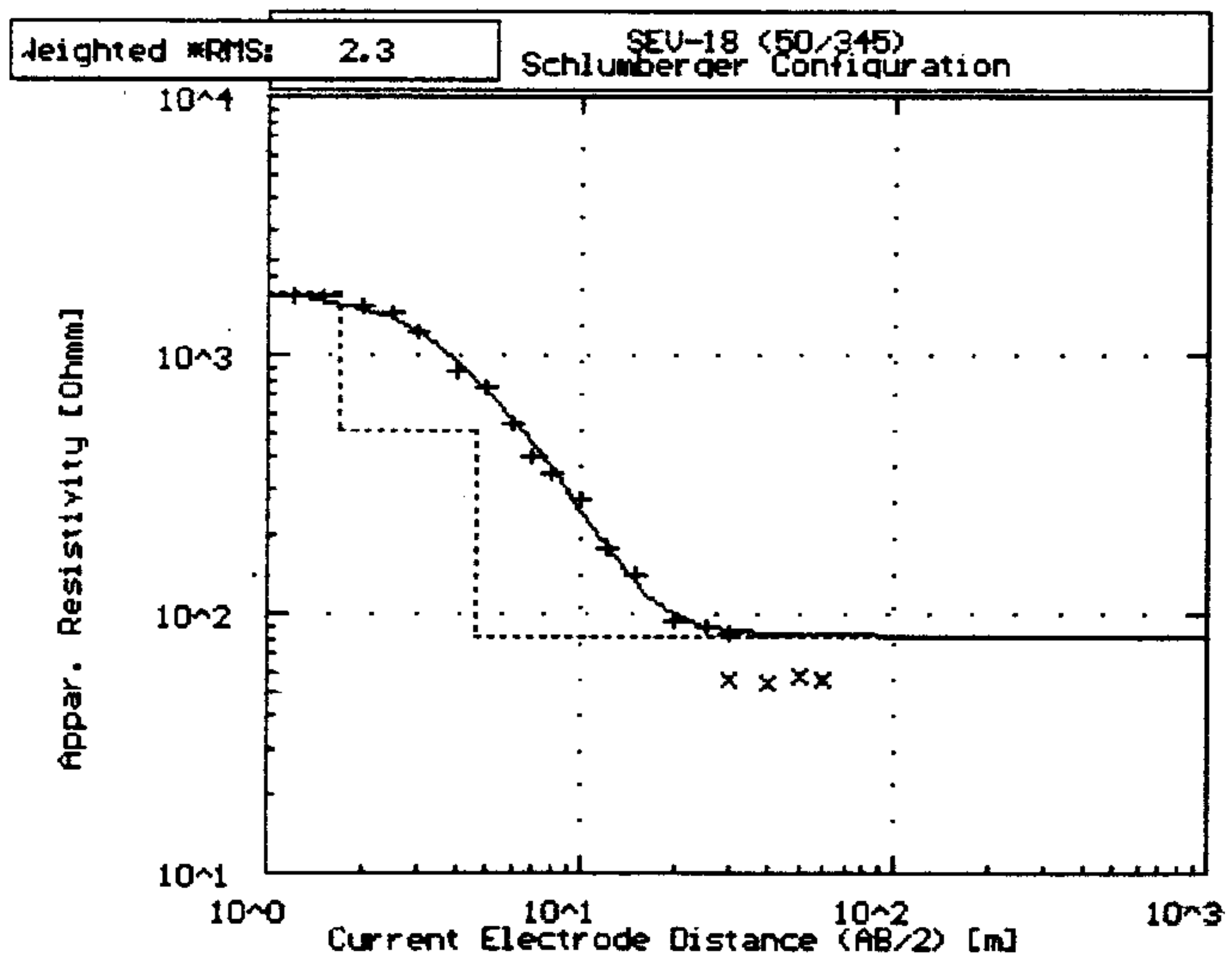
| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 337.1 | 1.3 | 1.3 |
| 2 | 143.1 | 6.0 | 7.3 |
| 3 | 101.0 | - | - |

* RMS on smoothed data



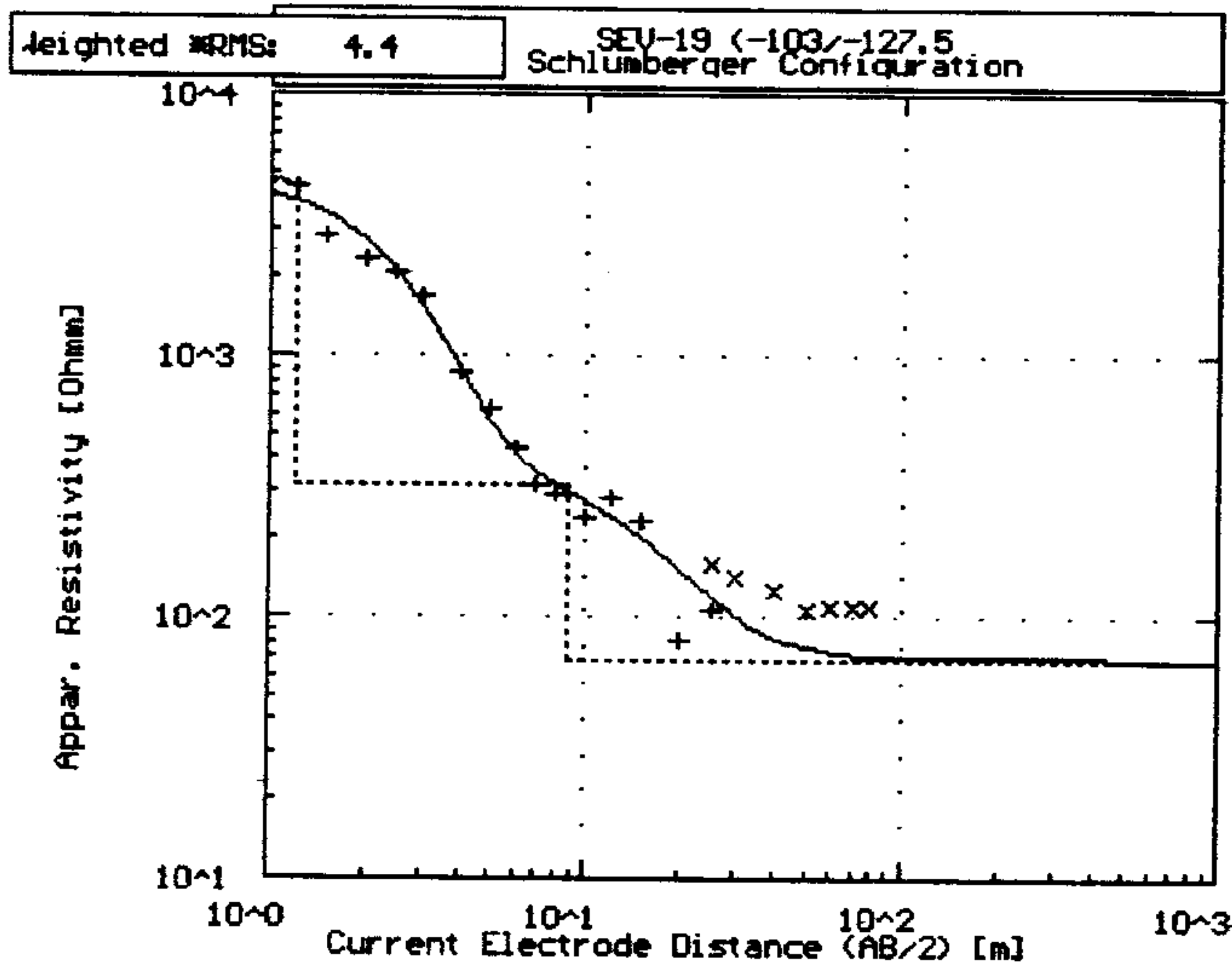
| No | Res | Thick | Depth |
|----|--------|-------|-------|
| 1 | 4455.7 | 0.8 | 0.8 |
| 2 | 572.0 | 1.8 | 2.6 |
| 3 | 68.2 | - | - |

* RMS on smoothed data



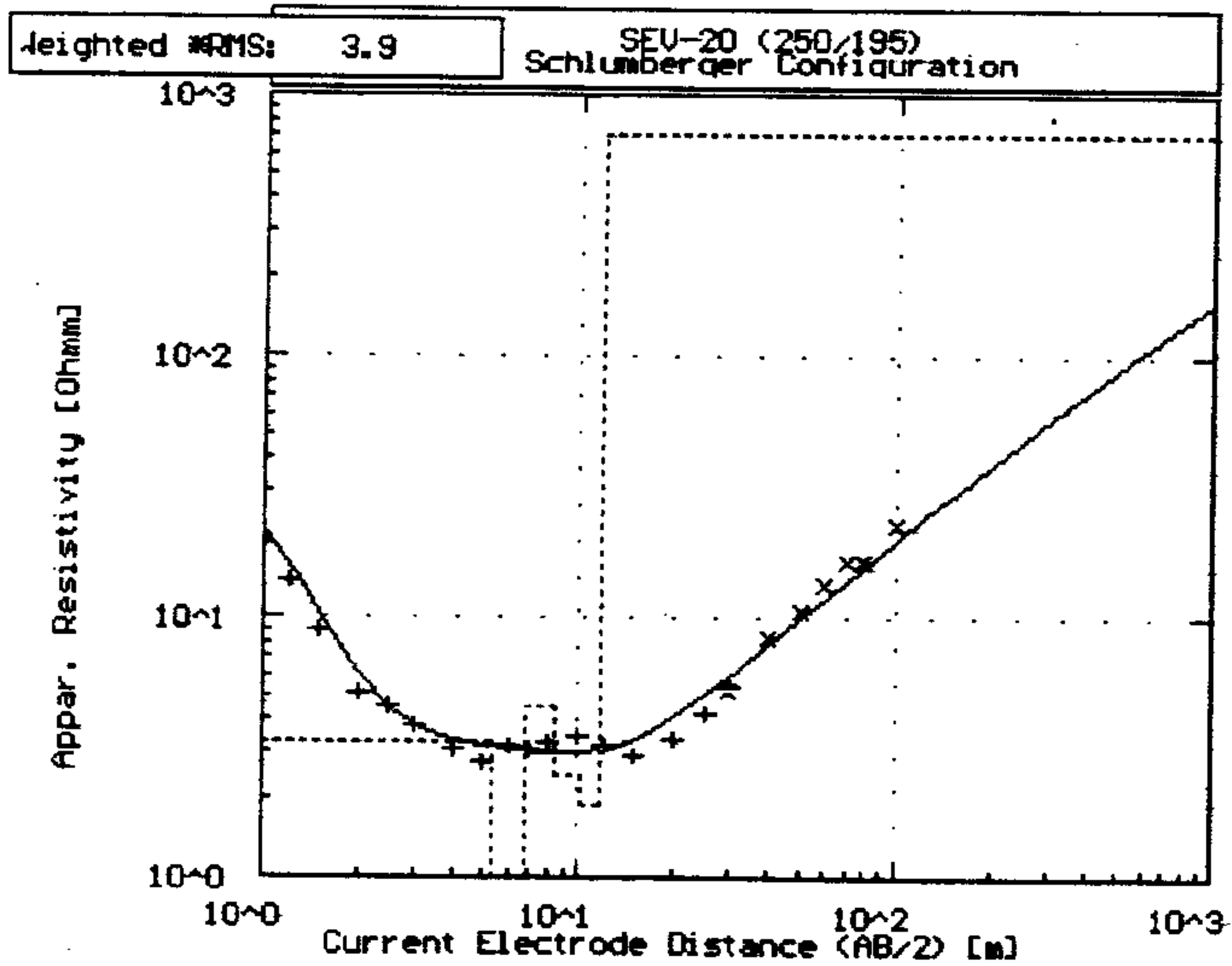
| No | Res | Thick | Depth |
|----|--------|-------|-------|
| 1 | 1753.4 | 1.7 | 1.7 |
| 2 | 507.8 | 2.9 | 4.6 |
| 3 | 82.2 | - | - |

* RMS on smoothed data



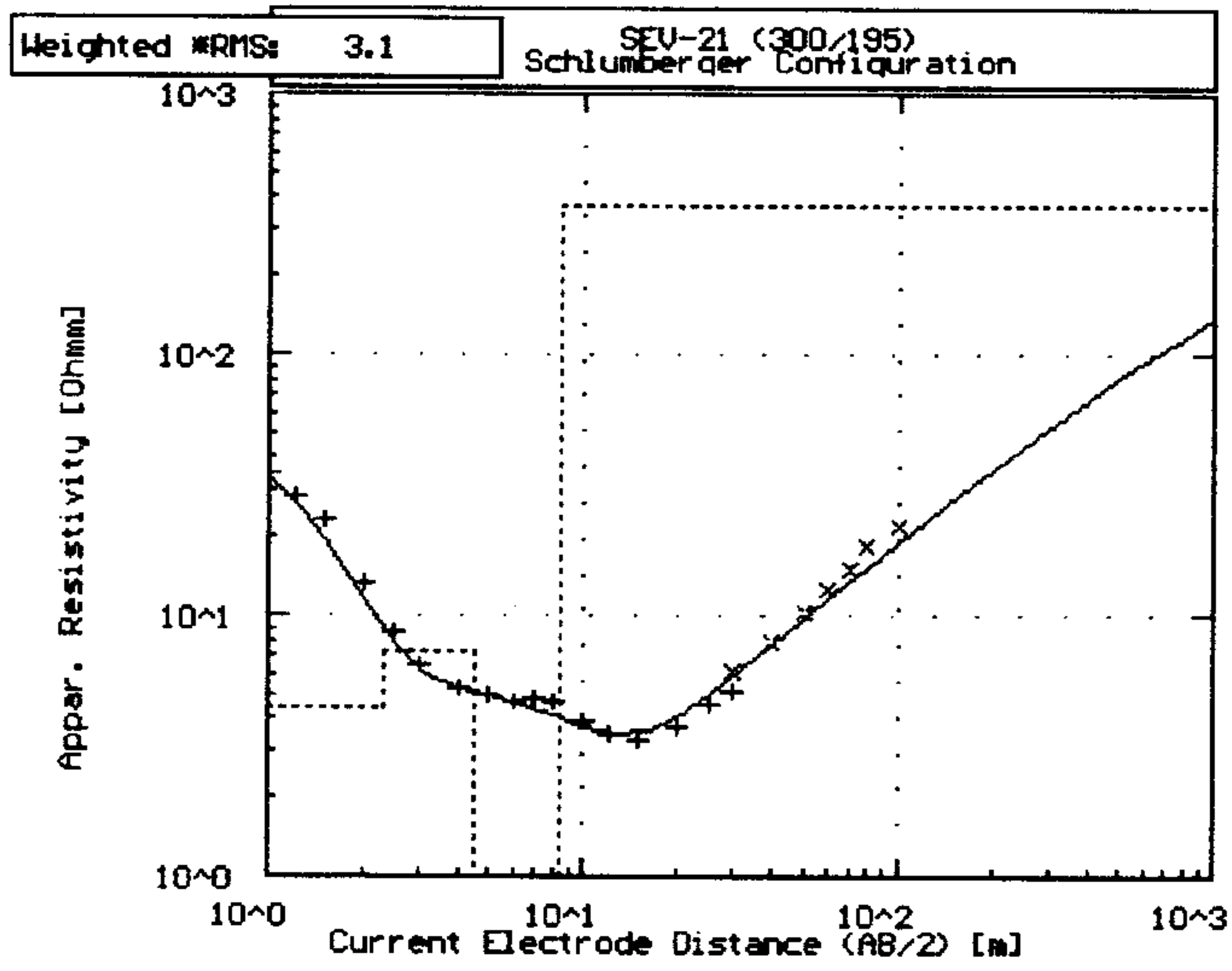
| No | Res | Thick | Depth |
|----|--------|-------|-------|
| 1 | 4513.4 | 1.2 | 1.2 |
| 2 | 316.3 | 7.5 | 8.7 |
| 3 | 69.4 | - | - |

* RMS on smoothed data



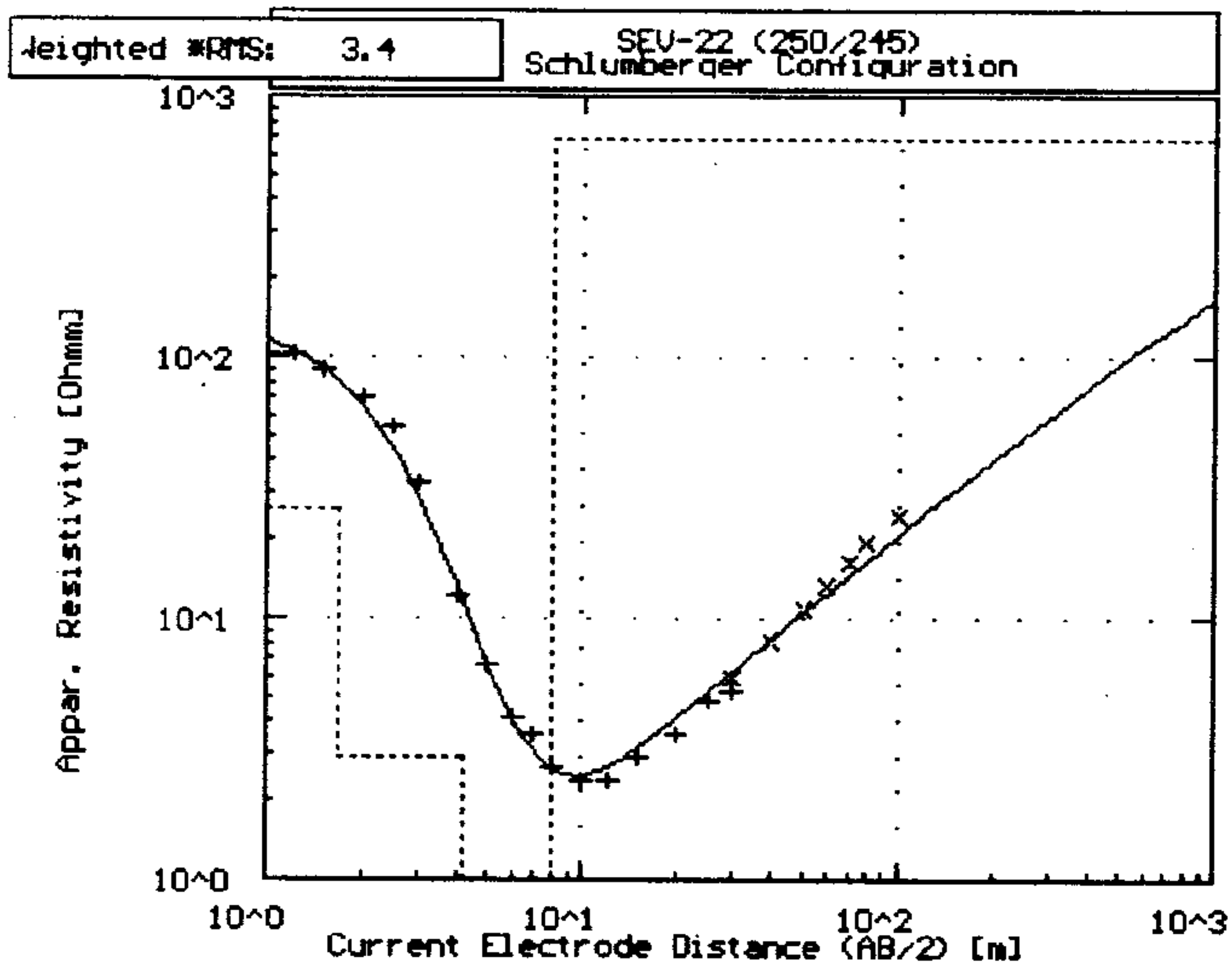
| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|--------|
| 1 | 42.4 | 0.5 | 0.5 |
| 2 | 0.000 | 4.000 | 4.000 |
| 3 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| 4 | 2.400 | 1.000 | 1.400 |
| 5 | 1.000 | 1.000 | 10.000 |
| 6 | 1.000 | 1.000 | 11.700 |
| 7 | 707.7 | - | - |

* RMS on smoothed data



| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 55.1 | 0.6 | 0.6 |
| 2 | 4.4 | 1.7 | 2.3 |
| 3 | 7.3 | 2.2 | 4.5 |
| 4 | 0.9 | 3.9 | 6.4 |
| 5 | 375.0 | - | - |

* RMS on smoothed data



| No | Res | Thick | Depth |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 137.3 | 0.9 | 0.9 |
| 2 | 26.5 | 0.8 | 1.7 |
| 3 | 2.9 | 2.5 | 4.2 |
| 4 | 1.0 | 3.8 | 6.0 |
| 5 | 691.1 | - | - |

* RMS on smoothed data

Perfis Litológicos de Sondagem



Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 01

Data: 15/06/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|---------------------------------|-----------|--|------|
| 0,60 | | Areia fina, marrom-avermelhada, com matriz argilosa avermelhada | |
| 1 | | Argila arenosa, marrom-amarelada. | |
| 1,50 2 3 | | Argila amarelo-avermelhada, algo pintalgada com manchas brancas e escuras, plástica. | |
| 3,40 | | Contato aluvião/substrato rochoso | |
| 4 5 | | Argila arenosa amarelada, eventualmente pintalgada com manchas brancas e escuras. | |
| 5,30 | | Argila arenosa, amarelo-escura, com intercalações de areia fina avermelhada. | |
| 6,10 | | Argila arenosa, amarelo-escura, algo plástica. | |
| 6,45 7 8 9 10 11 | | <p>Obs: Nível Freático: 2,20 m Prof. Final: 6,45 m</p> | |


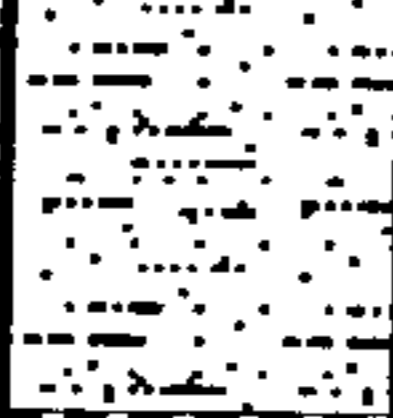

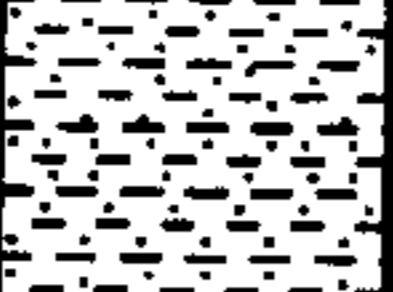
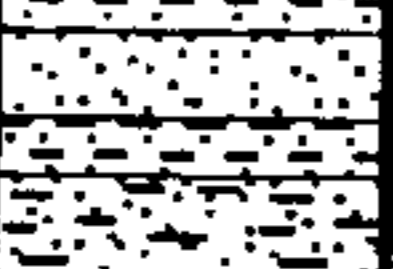


Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 02

Data: 16/06/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|------|---|---|--------------|
| 1,10 |  | Areia argilosa, marrom. | |
| 2,25 |  | Areia argilosa, cinza-escuro. | |
| 2,45 |  | Argila preta, fracamente arenosa, plástica. | |
| 3,70 |  | Argila cinza a cinza-clara, arenosa, com boa plasticidade. | 2,50 2,60 |
| 3,90 | | Contato aluvião/rocha sedimentar. | |
| 4,10 |  | Areia bege-clara, muito fina a silte arenoso. | |
| |  | Argila arenosa, avermelhada. | |
| 5,60 |  | Areia avermelhada, muito fina e muito argilosa, possivelmente relacionada ao topo de arenito. | 4,60 5,30 |
| 6 | | | 3" |
| 7 | | | 5" |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |

Obs:
Nível Freático: 1,40 m
Prof. Final: 5,60 m
Diâm. Furo: 5" (5,60 m)
Revestimento (PVC): 3" (5,30 m)



Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 03

Data: 17/06/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|------|-----------|---|------|
| 0,70 | | Argila arenosa, marrom. | |
| 1 | | Argila silto-arenosa, bege, plástica. | |
| 1,60 | | Areia fina, bege-clara, bem selecionada, com grânulos de quartzo geralmente arredondados, vítreos e raros minerais pesados. | |
| 1,90 | | Areia fina, muito argilosa, avermelhada. | |
| 2,10 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |

Obs:
 Nível Freático: 0,60 m
 Prof. Final: 2,10 m

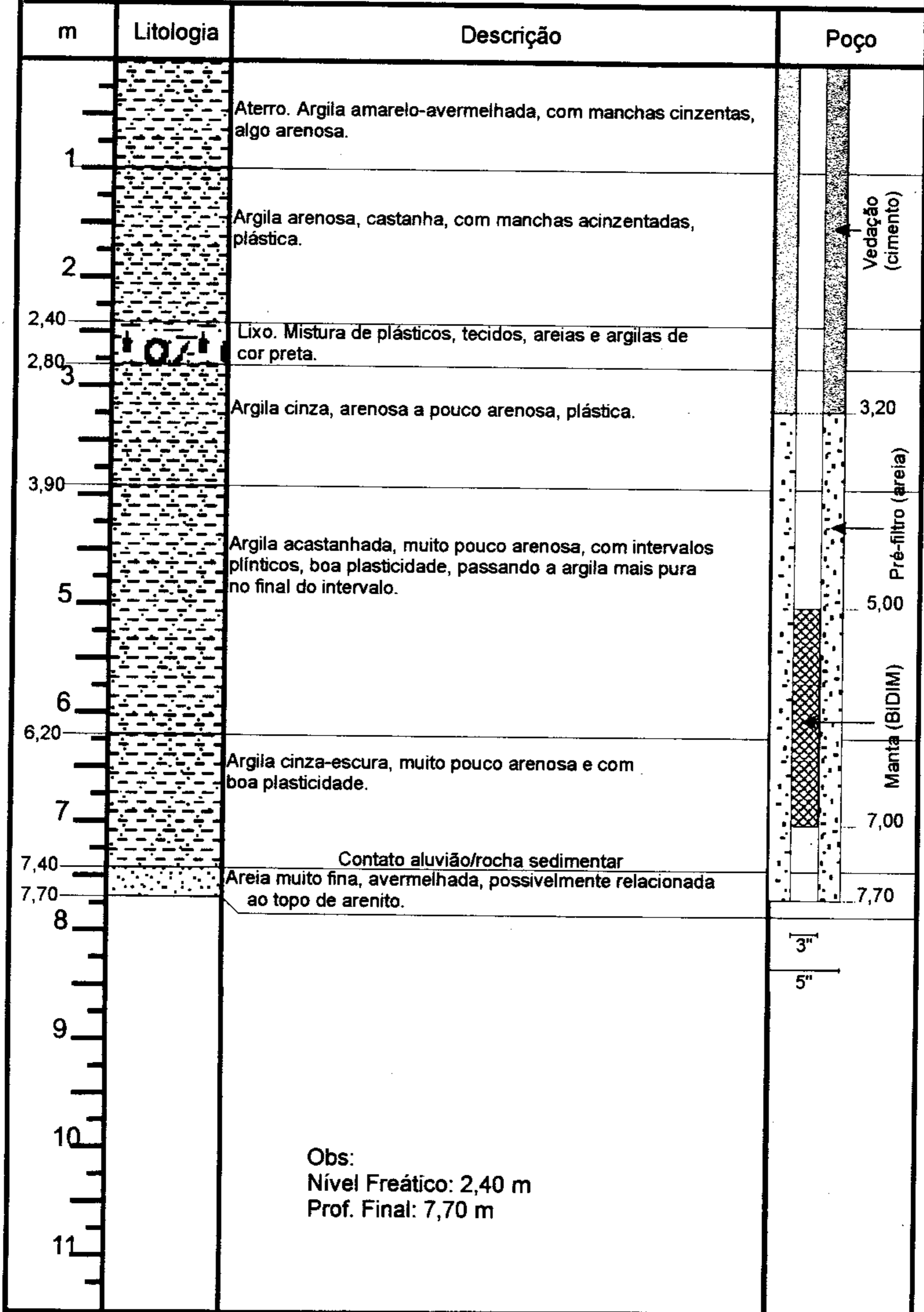
Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 04

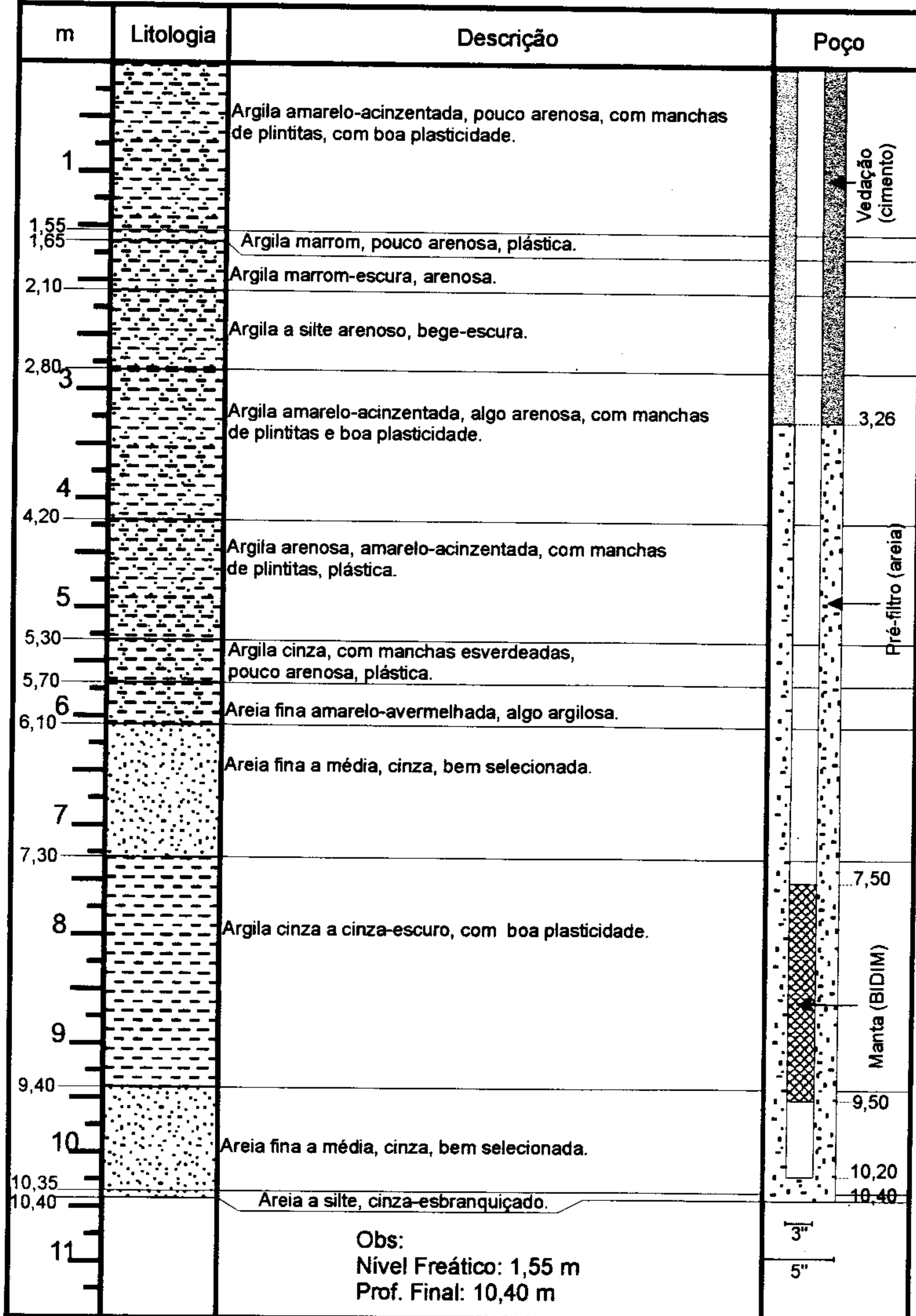
Data: 18/06/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini



Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso
 Furo: 05 Data: 21/06/1999
 Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini





Perfil Litológico de Sondagem

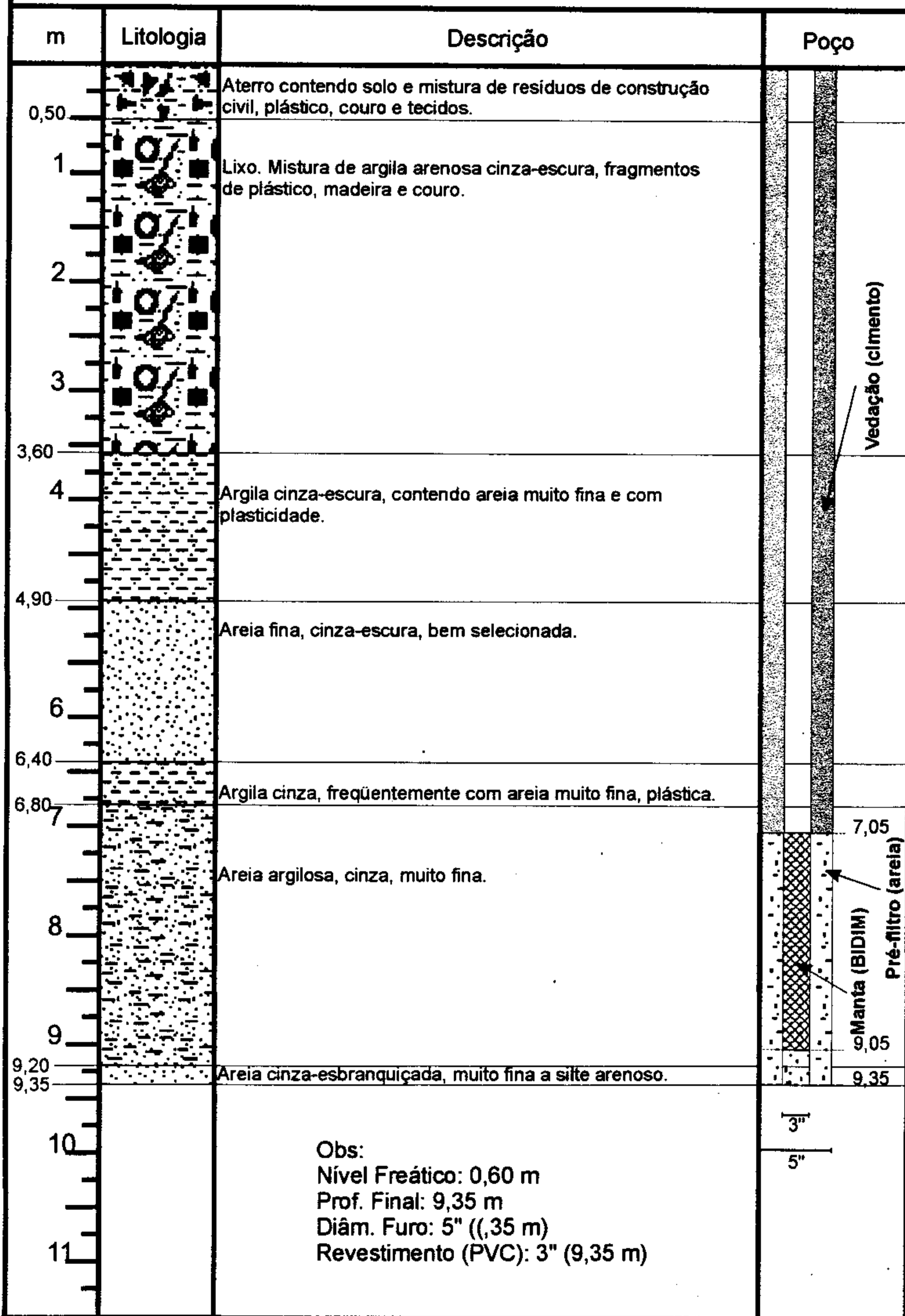
Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso
 Furo: 06 Data: 22/06/1999
 Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|------|-----------|---|------|
| 0,10 | | Argila castanha pouco arenosa, com matéria orgânica e raízes. | |
| 1 | | Argila arenosa, cinza-acastanhada. | |
| 1,30 | | Argila arenosa, amarelada. | |
| 2,50 | | Argila arenosa, cinza, levemente esverdeada, plástica. | |
| 2,80 | | Argila arenosa, cinza, levemente esverdeada, plástica. | |
| 3 | | Areia média a grossa, cinza, mal selecionada. | |
| 4,30 | | Argila cinza, algo arenosa, com fraca plasticidade. | |
| 4,40 | | Argila cinza, algo arenosa, com fraca plasticidade. | |
| 4,50 | | Argila arenosa, avermelhada. | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |

Obs:
 Nível Freático: 0,30 m
 Prof. Final: 4,50 m

Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso
 Furo: 07 Data: 23/06/1999
 Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini





Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso
 Furo: 08 Data: 24/06/1999
 Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|------|-----------|---|------|
| 1 | | Areia fina, amarelo-acastanhada, bem selecionada, quartzosa com grânulos predominantemente arredondados. | |
| 1,30 | | Argila arenosa amarelada, com manchas de plintita e alguma plasticidade. | |
| 2,90 | | Areia argilosa, amarela, de granulação muito fina. | |
| 4,45 | | Contato aluvião/rocha sedimentar | |
| 4,55 | | Silte argilo-arenoso, avermelhado, possivelmente relacionado ao topo de arenito. Obs: Nível Freático: 0,95 m Prof. Final: 4,55 m | |



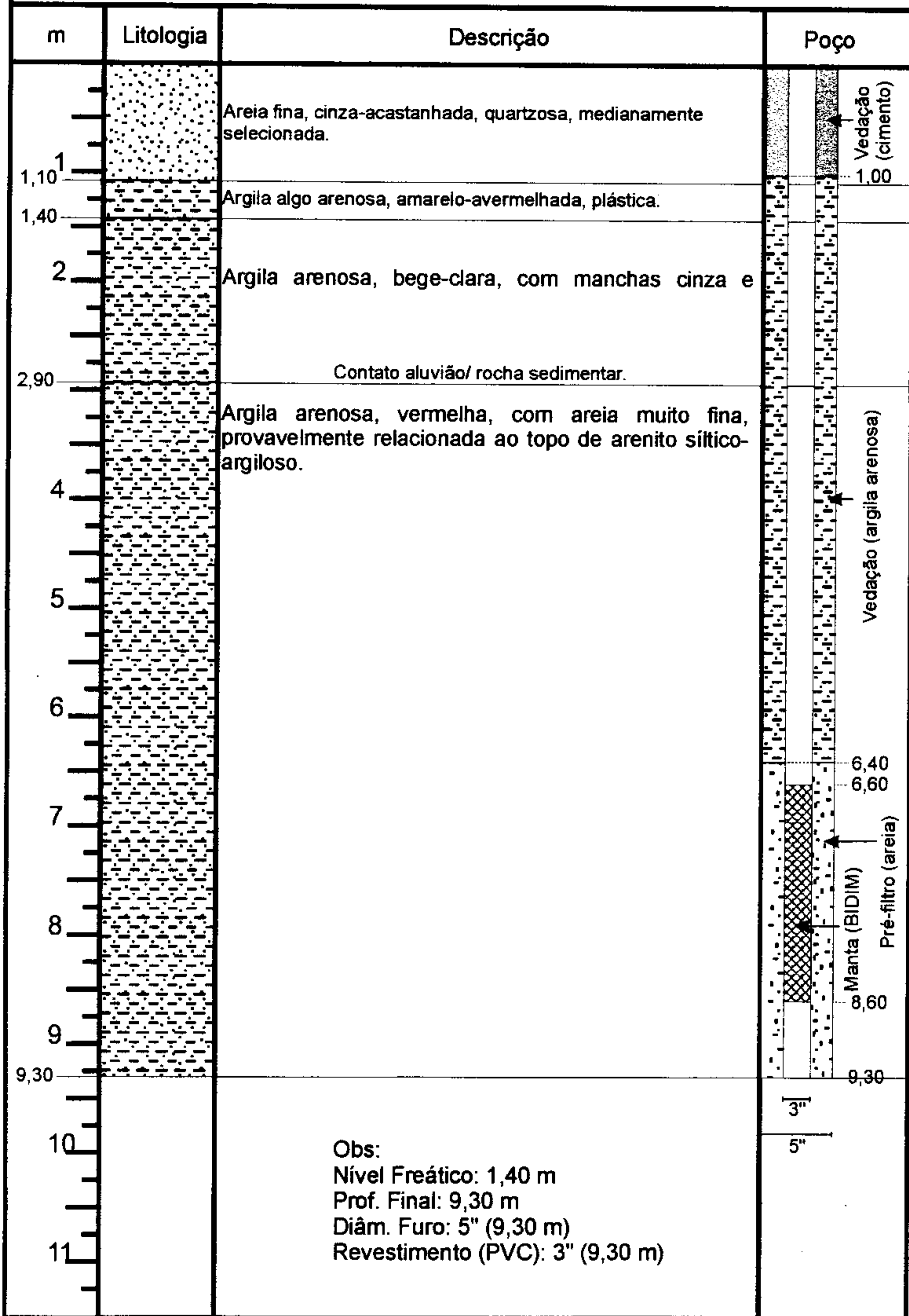
Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 09

Data: 06/07/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini





Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso
 Furo: 10 Data: 07/07/1999
 Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|------|-----------|---|------|
| 0,65 | | Argila arenosa, marrom-acastanhada. | |
| 1 | | Areia cinza, muito fina, com matriz siltico-argilosa. | |
| 1,30 | | Argila siltico-arenosa, amarelo-escuro, pouco plástica. | |
| 2,10 | | Areia fina, amarelo-escuro, bem selecionada. | |
| 2,90 | | Areia fina a média, bem selecionada, com matriz argilosa amarelo-avermelhada. | |
| 3,70 | | Areia média, bege-clara, quartzosa, medianamente selecionada. | |
| 4,80 | | Areia fina a média, bege-escuro, com matriz argilosa amarelada. | |
| 5,30 | | Argila arenosa, bege-avermelhada. | |
| 5,60 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |

Obs:
 Nível Freático: 0,65 m
 Prof. Final: 5,60 m



Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 11

Data: 08/07/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/ L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|------|-----------|---|---------------------------|
| 0,60 | | Areia fina, castanha, muito argilosa. | |
| 1 | | Areia fina, cinza-bege, pouco argilosa, bem selecionada. | Vedação (cimento) 1,00 |
| 1,50 | | Argila amarelada, com abundante contribuição da fração areia fina. | |
| 2 | | | 2,20 |
| 2,40 | | Areia fina a muito fina, bege, com matriz siltico-argilosa. | Pré-filtro (areia) |
| 3 | | | |
| 3,10 | | Areia média, cinzenta, bem selecionada. | |
| 3,40 | | | |
| 4 | | Areia fina a muito fina, bege, com matriz siltico-argilosa. | Manta (BIDIM) 4,20 |
| 4,80 | | Contato aluvião/rocha sedimentar | |
| 4,90 | | Areia muito fina, vermelha, siltico-argilosa, possivelmente relacionada ao topo de arenito. | 4,90 |
| | | | 3" |
| | | | 5" |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |

Obs:
 Nível Freático: 1,50 m
 Prof. Final: 4,90 m
 Diâm. Furo: 5" (4,90 m)
 Revestimento (PVC): 3" (4,90 m)



Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 12

Data: 13/07/1999

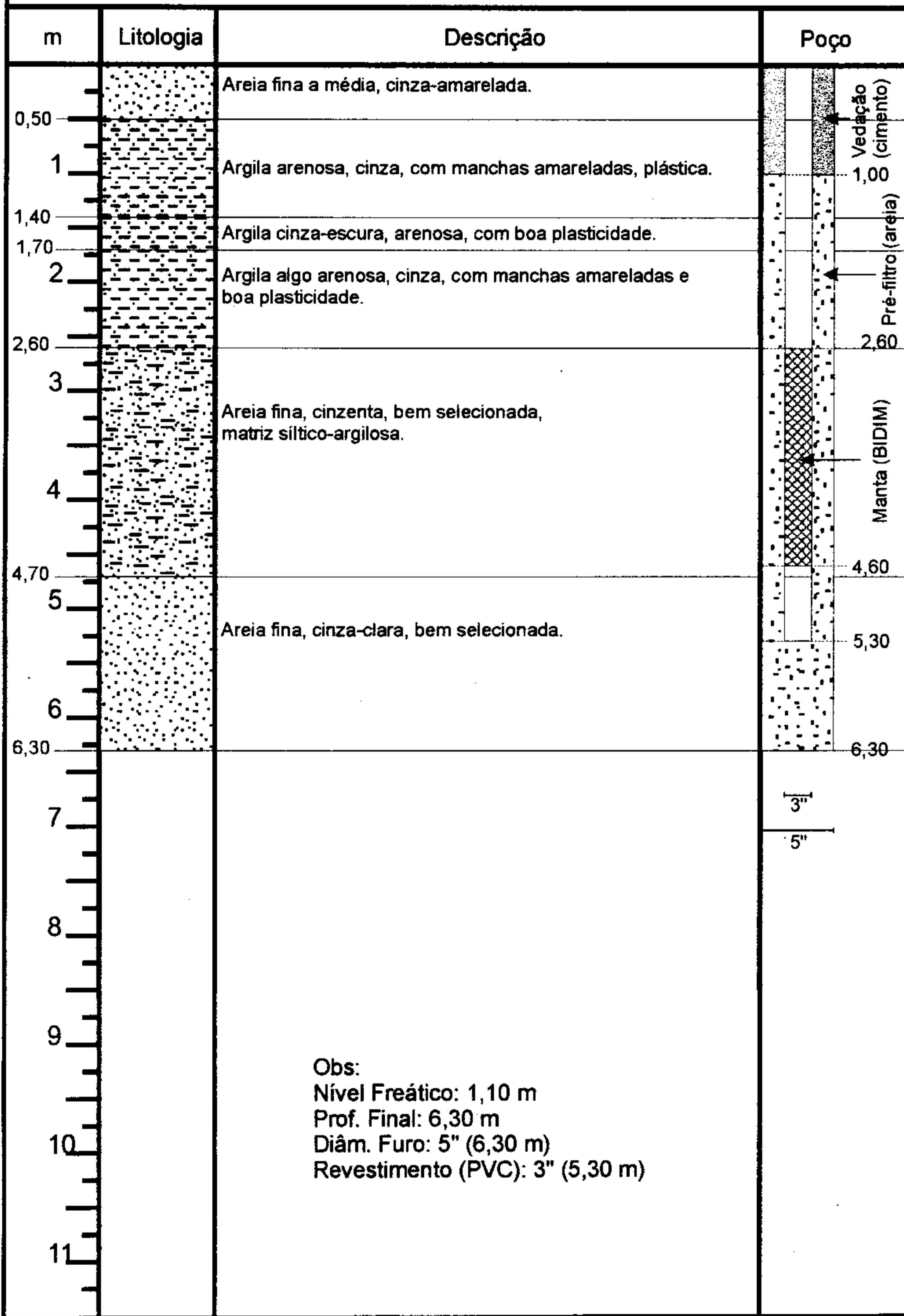
Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|------|-----------|---|------|
| 0,60 | | Areia argilosa, muito fina, castanho-escura. | |
| 1 | | Argila castanha com manchas amarelas, algo arenosa, plástica. | |
| 2 | | Argila bege-acinzentada, com boa plasticidade | |
| 2,20 | | Areia algo argilosa, muito fina, bege a amarelada. | |
| 3 | | Argila arenosa, cinza-escura, pouco coesa. | |
| 3,30 | | Argila arenosa, cinza-escura, pouco coesa. | |
| 3,60 | | Areia fina, cinza-escura, friável, bem selecionada. | |
| 4 | | Areia fina, cinza-escura, friável, bem selecionada. | |
| 5 | | Areia fina, cinza-escura, friável, bem selecionada. | |
| 5,40 | | Contato aluvião/rocha sedimentar | |
| 5,50 | | Arenito fino, siltico-argiloso, cinza-esbranquiçado. | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |

Obs:
Nível Freático: 0,45 m
Prof. Final: 5,50 m

Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso
 Furo: 13 Data: 15/07/1999
 Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini



Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Proj. Novo Hamburgo Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 14

Data: 22/07/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|------|-----------|---|------|
| 1 | | Aterro. Argila arenosa de cor vermelha. | |
| 1,30 | | Argila arenosa, cinza a avermelhada, plástica. | |
| 1,90 | | Argila arenosa, cinza-escura, pouco plástica. Apresenta indícios de | |
| 2,20 | | Areia muito fina, bege-escura, bastante argilosa. | |
| 2,70 | | Argila arenosa, cinza com manchas amarelas, plástica. | 2,70 |
| 3 | | | 3,00 |
| 3,50 | | Argila muito arenosa, amarelada, pouco plástica. | |
| 3,90 | | Argila arenosa, amarelo-avermelhada, plástica. | |
| 4,70 | | Contato aluvião/rocha sedimentar | |
| 5 | | Argila arenosa, vermelha, com média plasticidade, possivelmente relacionada ao topo de arenito. | 5,00 |
| 5,50 | | | 5,50 |
| 6 | | | 3" |
| 7 | | | 5" |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |

Obs:
Nível Freático: 0,65 m
Prof. Final: 5,50 m

Perfil Litológico de Sondagem

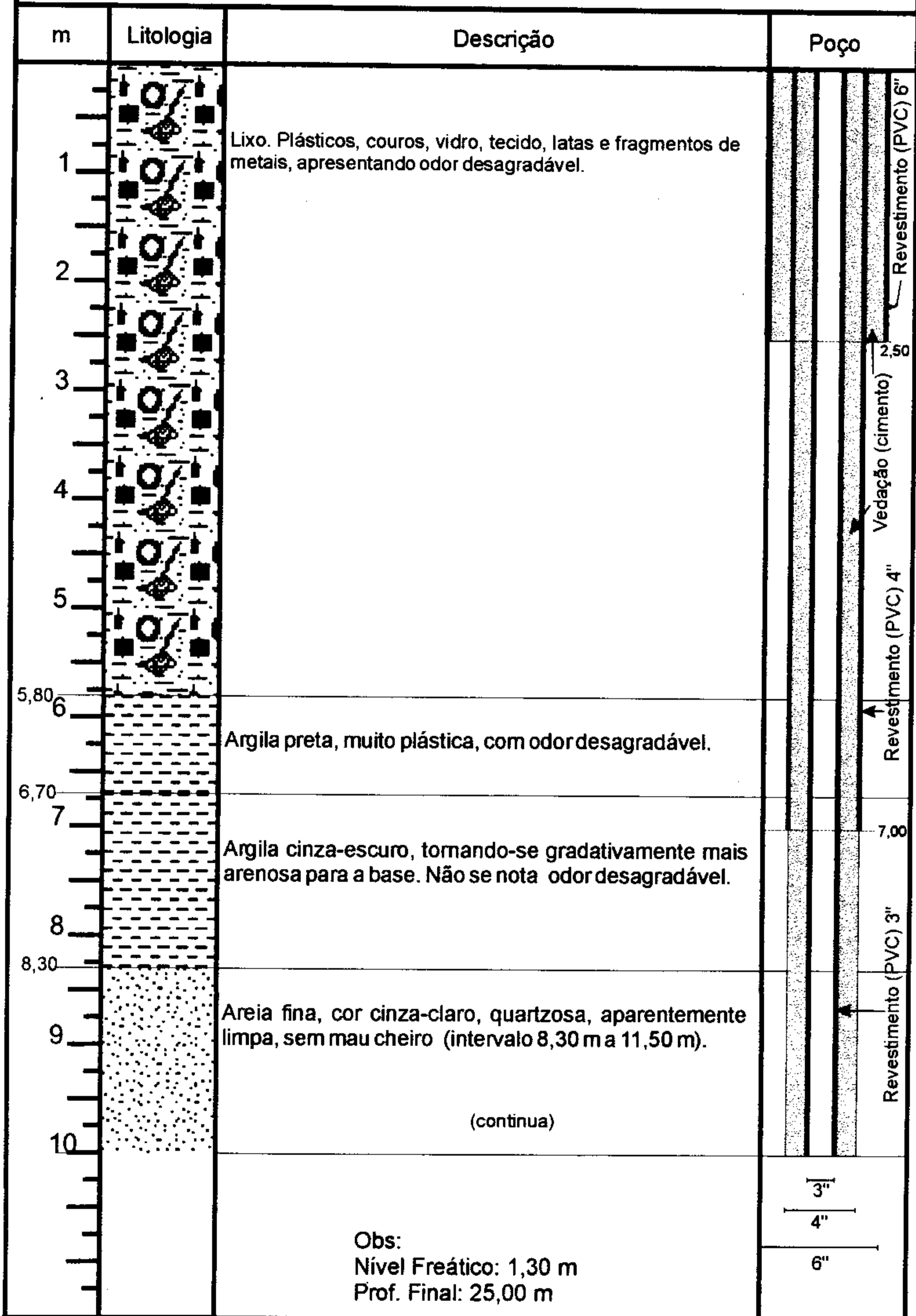
Projeto: Novo Hamburgo

Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 15

Data: 30/07/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini



Perfil Litológico de Sondagem

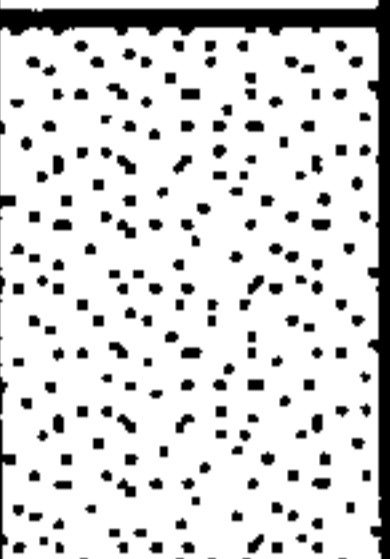
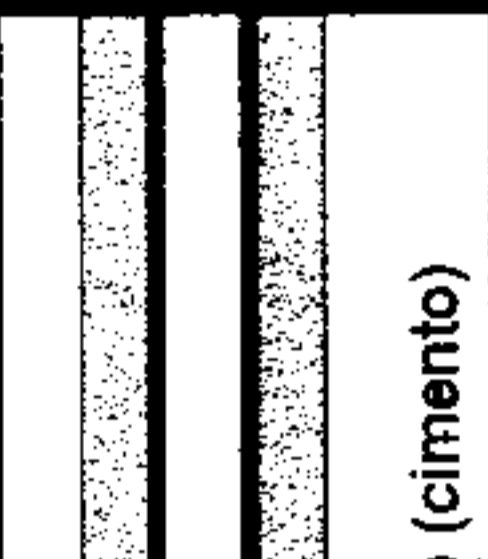
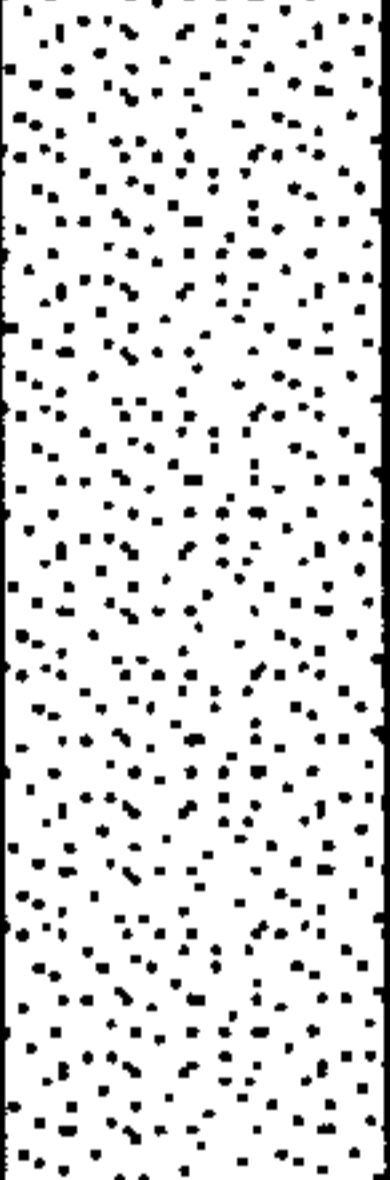
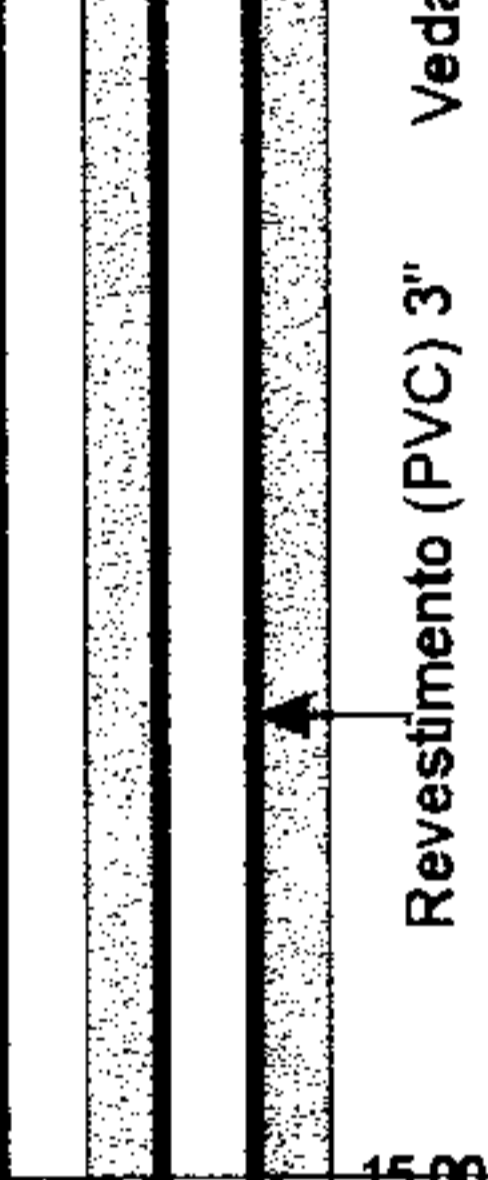

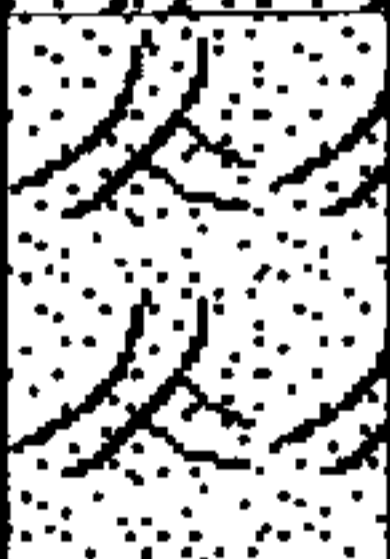

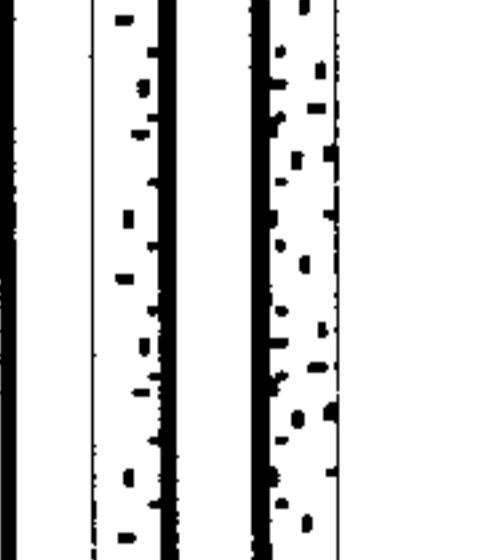





Projeto: Novo Hamburgo

Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 15

Data: 30/07/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|-------|---|--|---|
| 11 |  | Areia fina, cor cinza-claro, quartzosa, aparentemente limpa, sem mau cheiro (intervalo 8,30 m a 11,50 m). |  |
| 11,50 | | Contato aluvião/rocha sedimentar | |
| 12 |  | Material arenoso fino, quartzoso, cor vermelha. |  |
| 13 |  | | |
| 14 |  | | |
| 15 | | | 15,00 |
| 16 |  | Arenito arcoseano, cor bordô, fino a médio, com estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. |  |
| 17 |  | Arenito arcoseano, fino a médio, cor bordô, aspecto mosqueado, com estratificação cruzada acanalada de pequeno porte e intervalos de granulometria mais grossa. Gradação normal. | |
| 17,50 | | | |
| 18 |  | Intervalo destruído (17,50 m a 25 m), sem recuperação de testemunho. As amostras de calha indicam tratar-se da mesma unidade descrita no intervalo anterior (16,00 m - 17,50 m). | |
| 19 |  | | |
| 20 |  | (continua) | |
| | | Obs: Nível Freático: 1,30 m Prof. Final: 25,00 m |  |



Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Novo Hamburgo

Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 15

Data: 30/07/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|----------------------------|-----------|---|--|
| 21 22 23 24 25 | | <p>Intervalo destruído (17,50 m a 25 m), sem recuperação de testemunho. As amostras de calha indicam tratar-se da mesma unidade descrita no intervalo anterior (16,00 m - 17,50 m).</p> | <p>Revestimento (PVC) 3" Pré-filtro (areia) Manta (BIDIM)</p> <p>22,30 24,30 25,00</p> |
| 26 27 28 29 30 | | <p>Obs: Nível Freático: 1,30 m Prof. Final: 23,00 m</p> | <p>3" 4"</p> |



Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Novo Hamburgo

Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 16

Data: 31/07/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|---|-----------|---|--|
| 1 2 3 4 5 | | Lixo. Plásticos, couros, vidro, tecido, latas e fragmentos de metais, apresentando odor desagradável. | |
| 5,60 6 | | Argila preta, impregnada de choroume. | |
| 6,40 7 8 | | Argila cinza-escura, com plasticidade média a alta. Na base torna-se algo arenosa. | |
| 8,50 9 10 | | Areia cinza-clara, quartzosa, muito desagregável, textura fina, quartzosa, sem nenhuma percentagem de matriz. A facilidade com que a composição penetra indica que esta areia está saturada de água. Constitui um intervalo aquífero. | |
| (continua) | | | <div style="text-align: center;"> <p>2" 3" 4"</p> </div> |
| <p>Obs: Nível Freático: 1,90 m Prof. Final: 50,60 m</p> | | | |



Perfil Litológico de Sondagem


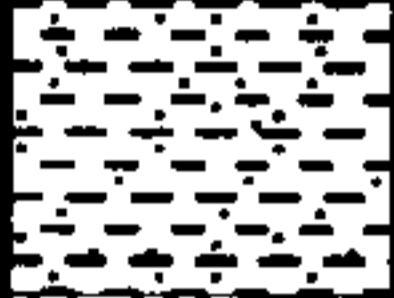
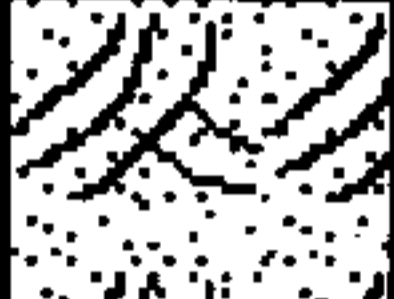





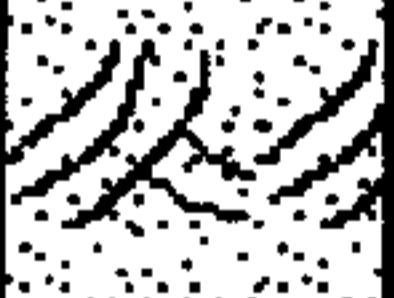
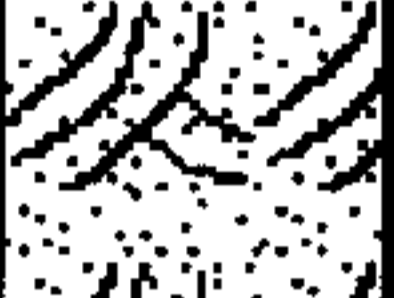
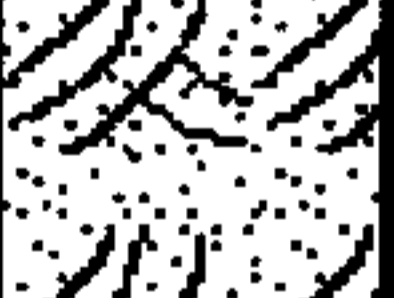

Projeto: Novo Hamburgo

Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 16

Data: 31/07/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|-------|---|---|-----------------------|
| 10,20 |  | Areia cinza-clara, ... intervalo aquífero. | |
| 11 |  | Argila cinza-escuro, algo arenosa, plasticidade média. Para a base torna-se gradativamente mais arenosa e menos plástica. Este intervalo corresponde à base do depósito quaternário. Contato dos sedimentos quaternários com o arenito da Formação Sanga do Cabral. | |
| 12 |  | Arenito vermelho, fino, quartzoso, com matriz argilosa e estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. | |
| 13 |  | | |
| 14 |  | | Vedação (cimento) |
| 15 |  | | |
| 16 |  | | Revestimento (PVC) 2" |
| 17 |  | | |
| 17,50 |  | | Revestimento (PVC) 3" |
| 18 |  | | |
| 19 |  | | |
| 20 |  | (continua) | |
| | | Obs: Nível Freático: 1,90 m Prof. Final: 50,60 m | 2" 3" |



Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Novo Hamburgo

Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 16

Data: 31/07/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|--|-----------|--|---|
| 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 | | <p>Arenito vermelho, fino, quartzoso, com matriz argilosa e estratificação cruzada acanalada de pequeno porte.</p> <p>(continua)</p> | <p>Vedação (cimento)</p> <p>Revestimento (PVC) 3"</p> <p>28,00</p> <p>Revestimento (PVC) 2"</p> |
| | | <p>Obs: Nível Freático: 1,90 m Prof. Final: 50,60 m</p> | <p>2"</p> <p>3"</p> |



Perfil Litológico de Sondagem

Projeto: Novo Hamburgo

Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 16

Data: 31/07/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini

| m | Litologia | Descrição | Poço |
|-------|-----------|--|--|
| 31 | | Arenito arcoseano, cor bordô, fino a médio, com abundante matriz argilosa. Os grãos de feldspato, de cor mais clara devido à alteração, conferem à rocha um aspecto mosqueado. Nota-se algumas fraturas verticais preenchidas por material claro. A estruturação interna da rocha é constituída por estratificação cruzada acanalada. Na base torna-se mais argiloso. | <p>Vedação (cimento)</p> <p>32,00</p> <p>Pré-filtro (areia)</p> <p>Revestimento (PVC) 2"</p> <p>Manta (BIDIM)</p> <p>39,50</p> <p>2"</p> <p>3"</p> |
| 32 | | Intercalação de arenito fino, quartzoso, cor vermelha, com arenito arcoseano médio de cor vermelha, com aspecto mosqueado. O arenito fino é predominante (80% do total). Localmente, intercalado com finos intervalos de siltito de cor vermelho-escuro. Localmente apresenta intervalos de areia mais grossa, mal selecionada, com gradação normal. No intervalo intercala com siltito apresenta laminação grossa plano-paralela. | |
| 33 | | Predominância de arenito médio a localmente grosso, mal selecionado, feldspático, com abundante matriz areno-siltica de cor avermelhada. As estruturas predominantes são estratificação cruzada acanalada de pequeno porte e, subordinadamente, nos intervalos mais grossos, ocorre acamadamento gradacional normal. Intercala raros leitos milimétricos de argila de cor vermelho-escuro. Devido à granulometria deste intervalo arenoso, a permeabilidade deve ser alta. | |
| 33,80 | | Predominância de arenito fino de cor avermelhada, quartzoso, com pouca matriz. Apresenta caracteristicamente estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. Na base intercala com finas camadas de arenito arcoseano médio. | |
| 35 | | Arenito fino bem selecionado, cor avermelhada, quartzoso, com aspecto mosqueado. Raramente ocorre intercalação de arenito arcoseano médio. A alternância de tonalidade indica intercalação de lâminas finas de siltito arenoso cor bordô. Apresenta estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. | |
| 36 | | Intervalo constituído por intercalação de arenito fino quartzoso, com arenito médio feldspático de cor bordô-avermelhado. A alternância de tonalidade confere um aspecto mosqueado ao pacote rochoso. Apresenta estratificação cruzada acanalada de pequeno porte e gradação normal nos intervalos de arenito médio (39,00 m a 43,50 m). | |
| 36,50 | | (continua) | |
| 37 | | | |
| 37,50 | | | |
| 38 | | | |
| 39 | | | |
| 40 | | | |

Obs:
Nível Freático: 1,90 m
Prof. Final: 50,60 m



Perfil Litológico de Sondagem

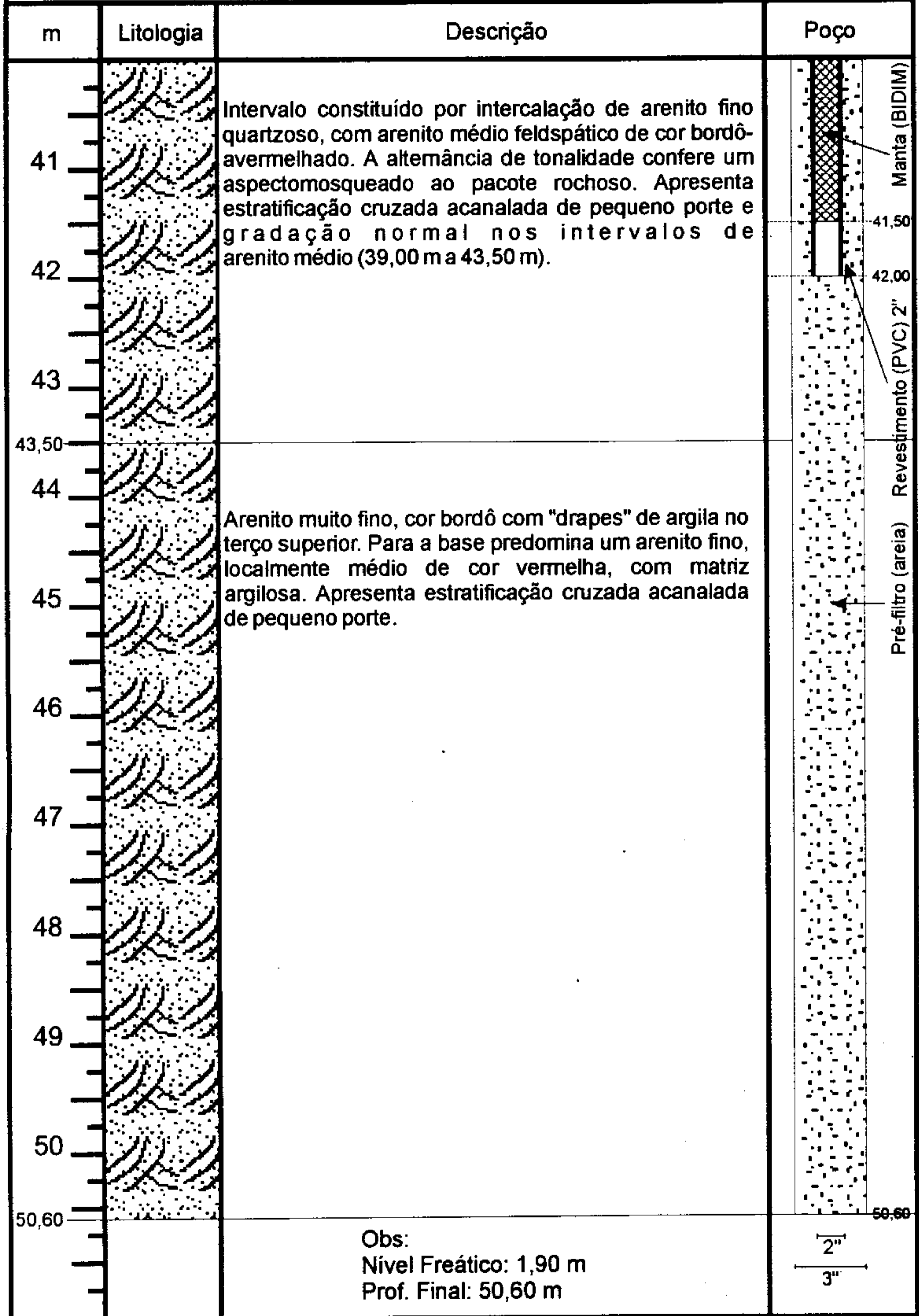
Projeto: Novo Hamburgo

Local: Vila Kroeff-Bairro Sto. Afonso

Furo: 16

Data: 31/07/1999

Resp. Técnico: A. S. J. Krebs/L. F. P. Zanini



Análise Estatística de Dados Geofísicos

Análise Estatística dos Dados Geofísicos

Ao se analisar os dados das variáveis EM10, EM20 e EM40 de forma integrada, isto é, contendo todos os dados disponíveis (internos e externos ao depósito), se verifica, sob o aspecto do comportamento estatístico das distribuições, marcadas heterogeneidades verificáveis pelos histogramas, pelos coeficientes de variação e pelos gráficos de probabilidades das três variáveis. Ao exame integrado de cada variável, reunindo, para cada uma delas (EM10, EM20 e EM40) a totalidade dos dados, se torna clara a necessidade de separar as populações externa e interna; do contrário, a tentativa de identificar valores anômalos vai indicar, e de forma apenas parcial e incorreta, alguns dados da parte interna, que tem valores mais elevados.

No exame da porção interna do depósito a variável EM10 é a que melhor destaca e diferencia o comportamento da mesma, as outras duas mostram uma dispersão maior dos dados, um comportamento um pouco mais errático. Isso se torna mais evidente pelo fato de na variável EM10 não haver nenhum valor anômalo no conjunto, ao passo que em EM20 e em EM40 há. A variável EM10 mostra menor dispersão, ou seja, identifica mais nitidamente um comportamento médio desta porção do depósito.

Na parte externa do depósito aparecem as diferenças mais marcantes, que justificaram a separação do conjunto inicial de dados em duas partes. Na parte externa o mesmo EM10 mostra, ao contrário, maior dispersão, ou seja, mais sensibilidade às variações locais que os demais métodos. Em EM10 da porção externa os valores superiores a 37 podem ser considerados anômalos (o valor máximo observado é 71,5).

O método EM10 é o que melhor identifica o comportamento médio da parte interna e, também, o que melhor permite visualizar diferenças de comportamento da parte externa que possam, por exemplo, lhe aproximar (em faixas de valores) do que se verifica na porção interna.



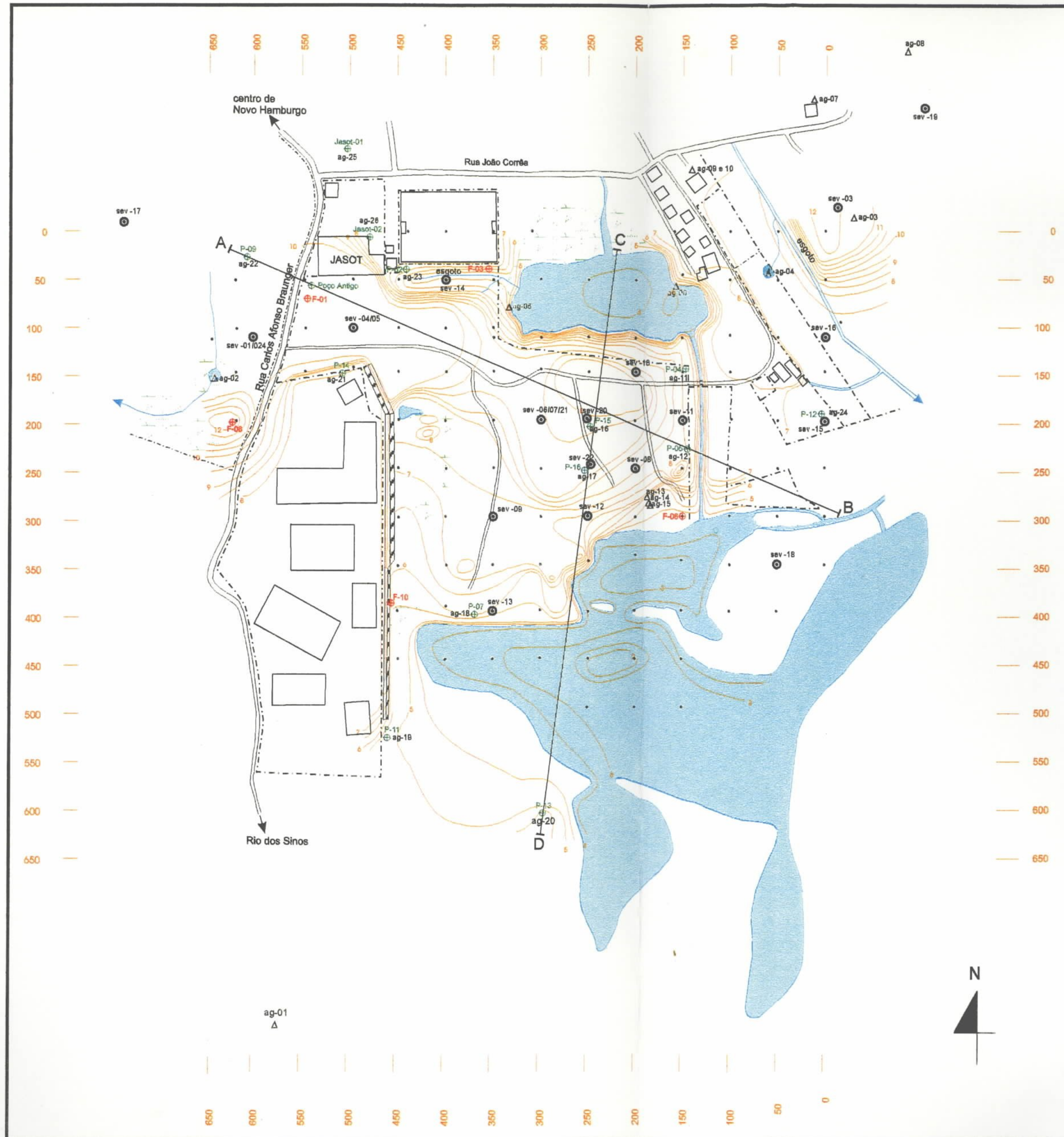
**MAPA PLANIALTIMÉTRICO E DE LOCALIZAÇÃO DOS
 TRABALHOS DE SONDAGEM E GEOFÍSICA
 REALIZADOS NO DEPÓSITO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
 DA VILA KROEFF, NOVO HAMBURGO-RS**

LEGENDA

- Estações (EM-34)
- P-04 ⊕ Poços de Monitoramento Hídrico
- F-08 ⊕ Furos de Trado
- ⊙ sev-18 SEV - Sondagem Elétrica Vertical
- Δ ag-07 Pontos de Leitura de Condutividade da Água
- ▨ Dique
- - - Cercas
- Estradas
- ▭ Edificações
- Curvas de Nível
- Corpo d'Água
- Drenagem
- Canal de Esgoto
- Banhados
- C—D Perfis Geológicos Esquemáticos



Edição: Geól. Mauro Rodrigues Reis



INFORMAÇÕES BÁSICAS PARA A GESTÃO TERRITORIAL - GATE

Objetivam a criação de produtos relacionados ao meio físico e à gestão ambiental, destinados a subsidiar tecnicamente as decisões dos planejadores e administradores dos diversos tipos de espaços geográficos do território nacional.

As publicações decorrentes dessa linha de atuação da CPRM apontam contribuições das mais diversas áreas do conhecimento ao interesse da ocupação e aproveitamento do meio ambiente, respeitado o condicionamento do meio físico.

Nesse contexto, as publicações foram agrupadas consoante os temas a seguir discriminados:

SÉRIE CARTAS TEMÁTICAS
SÉRIE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL
SÉRIE DOCUMENTAÇÃO
SÉRIE ORDENAMENTO TERRITORIAL
SÉRIE PUBLICAÇÕES ESPECIAIS
SÉRIE RECURSOS HÍDRICOS
SÉRIE RECURSOS MINERAIS

SÉRIE CARTAS TEMÁTICAS

Superintendência Regional de Belo Horizonte

- Vol. 01 - Caracterização Pedológica - Região de Sete Lagoas/Lagoa Santa - MG. 1994.
- Vol. 02 - Caracterização Geomorfológica - Região de Sete Lagoas/Lagoa Santa - MG. 1994.
- Vol. 03 - Uso da Terra e Caracterização da Cobertura Vegetacional - Região de Sete Lagoas/Lagoa Santa - MG. 1994.
- Vol. 04 - Dinâmica do Processo Erosivo - Região de Sete Lagoas/Lagoa Santa - MG. 1994.

Superintendência Regional de Porto Alegre

- Vol. 01 - Geomorfologia da Bacia do Rio Gravataí - RS. 1994.
 - Vol. 02 - Pedologia da Bacia do Rio Gravataí - RS. 1994.
 - Vol. 03 - Geologia do Município de Parobé - RS. 1994.
 - Vol. 04 - Geomorfologia do Município de Parobé - RS. 1994.
 - Vol. 05 - Pedologia do Município de Parobé - RS. 1994.
 - Vol. 06 - Cobertura Vegetal do Município de Parobé - RS. 1994.
 - Vol. 07 - Geologia do Município de Estância Velha - RS. 1994.
 - Vol. 08 - Geomorfologia do Município de Estância Velha - RS. 1994.
 - Vol. 09 - Cobertura Vegetal do Município de Estância Velha - RS. 1994.
 - Vol. 10 - Formações Superficiais do Município de Estância Velha - RS. 1994.
 - Vol. 11 - Pedologia do Município de Estância Velha - RS. 1994.
 - Vol. 12 - Vegetação e Uso Atual do Solo do Município de Criciúma - SC. 1994.
 - Vol. 13 - Áreas de Proteção Legal no Município de Criciúma - SC. 1995.
 - Vol. 14 - Pedologia do Município de Criciúma - SC. 1995.
 - Vol. 15 - Vegetação do Município de Xangri-Lá - RS. 1995
 - Vol. 16 - Cobertura Vegetal do Município de Triunfo - RS. 1995.
 - Vol. 17 - Cobertura Vegetal da Área da Sede do Município de Triunfo - RS. 1995.
 - Vol. 18 - Geologia do Município de Xangri-Lá - RS. 1995.
 - Vol. 19 - Cobertura Vegetal do Município de Eldorado do Sul - RS. 1995.
 - Vol. 20 - Solos do Município de Xangri-Lá - RS. 1995
 - Vol. 21 - Declividade do Município de Criciúma - SC. 1995
 - Vol. 22 - Situação Legal das Áreas Mineradas no Município de Criciúma - SC. 1995
 - Vol. 23 - Geologia do Município de Criciúma - SC. 1995
 - Vol. 24 - Potencial Hidrogeológico do Município de Criciúma - SC. 1998
 - Vol. 25 - Potencial Mineral para Não-Metálicos da Região Metropolitana de Porto Alegre - RS. 1998
-

Superintendência Regional de Recife

Vol. 01 - Levantamento Gravimétrico da Área Sedimentar de Região Metropolitana do Recife - PE. 1994.

Residência de Fortaleza

Vol. 01 - Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza - Texto Explicativo - CE. 1995.

SÉRIE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

Superintendência Regional de Porto Alegre

Vol. 01 - Caracterização da Pluma Poluidora Gerada pelo Depósito Municipal de Lixo de Estância Velha - RS. 1994.

Vol. 02 - Caracterização da Pluma Poluidora Gerada pelo Depósito Municipal de Lixo da Zona Norte de Porto Alegre - RS. 1994.

Vol. 03 - Fontes de Poluição e Degradação Ambiental do Município de Estância Velha - RS. 1994.

Vol. 04 - Catástrofe de Igrejinha - RS. 1994.

Vol. 05 - Catástrofe de Nova Hartz - RS. 1994.

Vol. 06 - Avaliação Geofísica da Pluma Poluidora Gerada por um Depósito de Lodo de Curtume - Estância Velha - RS. 1994.

Vol. 07 - Geofísica Aplicada à Detecção da Contaminação das Águas Subterrâneas no Depósito de Lixo de Alvorada - RS. 1995.

Vol. 08 - Fontes de Poluição no Município de Criciúma - SC. 1995.

Vol. 09 - Áreas Degradadas pela Atividade Mineira no Município de Criciúma - SC. 1995.

Vol. 10 - Estudos Geológico-Geofísicos na Área do Depósito de Lixo da Vila Kroeff - Município de Novo Hamburgo - RS. 1999.

Superintendência Regional de Recife

Vol. 01 - Os Aterros Sanitários e a Poluição das Águas Subterrâneas - Região Metropolitana do Recife - PE. 1994.

Superintendência Regional de Belo Horizonte

Vol. 01 - Espeleologia, Inventário de Cavidades Naturais, Região de Matozinhos - Mocambo - MG. 1994.

SÉRIE DOCUMENTAÇÃO

Superintendência Regional de Porto Alegre

Vol. 01 - Documentação Básica Do Projeto - Estância Velha - RS. 1994.

Vol. 02 - Sinopse dos Trabalhos Realizados - PROTEGER - RS. 1994.

Superintendência Regional de Recife

Vol. 01 - Índice de Informações Cartográficas - Região Metropolitana do Recife - PE. 1995.

Superintendência Regional de São Paulo

Vol. 01 - Índice de Informações Cartográficas - Região Metropolitana de Curitiba - PR. 1994.

Vol. 02 - Cartas de Fotoleitura - Subsídios para Caracterização do Meio Físico - Informações Básicas. Folha Curitiba - PR. 1994.

Vol. 03 - Procedimentos Metodológicos para Elaboração do Índice de Informações Cartográficas da Região Metropolitana de Curitiba - PR. 1995.

Vol. 04 - Gerenciamento da Bacia do Rio Jundiá Mirim - SP. 1995.

Residência de Fortaleza

Vol. 01 - Índice de Informações Cartográficas - Região Metropolitana de Fortaleza - CE. 1994.

Vol. 02 - Índice de Informações Cartográficas - Região Costeira do Ceará - CE. 1994.

Vol. 03 - Índice de Informações Cartográficas - Região do Cariri - CE. 1994.

SÉRIE ORDENAMENTO TERRITORIAL

Superintendência Regional de Belo Horizonte

- Vol. 01 - Município de Capim Branco: Socioeconomia, Zoneamento Geomorfológico, Geologia, Uso da Terra e Cobertura Vegetal, Caracterização dos Solos e Avaliação da Capacidade de Uso das Terras - MG. 1994.
- Vol. 02 - Município de Capim Branco: Hidrologia (Uso das Águas Subterrâneas), Hidrogeologia (Favorabilidade à Exploração de Água Subterrânea), Geotecnia (Zoneamento Geotécnico), Espeleologia e Declividade - MG. 1994.
- Vol. 03 - Cartografia Geotécnica de Planejamento - Região de Sete Lagoas/Lagoa Santa - MG. 1994
- Vol. 04 - Mapeamento Geológico da Cidade de Sete Lagoas com Vistas a Aplicação no Planejamento Urbano - MG. 1994.
- Vol. 05 - Uso da Terra e Caracterização da Cobertura Vegetacional - Município de Sete Lagoas - MG. 1996.
- Vol. 06 - Caracterização Pedológica e Aptidão Agrícola - Município de Sete Lagoas - MG. 1996.
- Vol. 07 - Zoneamento Geotécnico e Aptidão dos Terrenos - Município de Sete Lagoas - MG. 1996.
- Vol. 08 - Geofísica Aplicada aos Estudos dos Abatimentos de Solo da Rua Brás Filizola - Município de Sete Lagoas - MG. 1996.

Superintendência Regional de Porto Alegre

- Vol. 01 - Diagnóstico Setorial da Região Metropolitana de Porto Alegre - RS. 1994.
- Vol. 02 - Cobertura Vegetal e Ocupação Atual do Solo da Área de Influência da Barragem Olaria Velha e da Bacia do Rio Gravataí - RS. 1994.
- Vol. 03 - Suscetibilidade à Erosão da Bacia do Rio Gravataí - RS. 1994.
- Vol. 04 - Adequação do Uso Agrícola do Solo da Bacia do Rio Gravataí - RS. 1994.
- Vol. 05 - Isodeclividade da Bacia do Rio Gravataí - RS. 1994.
- Vol. 06 - Áreas de Inundação, Alagamento e Banhados da Região Metropolitana de Porto Alegre - RS. 1994.
- Vol. 07 - Isodeclividade do Município de Parobé - RS. 1994.
- Vol. 08 - Suscetibilidade à Erosão do Município de Parobé - RS. 1994.
- Vol. 09 - Áreas com Restrição à Mineração do Município de Parobé - RS. 1994.
- Vol. 10 - Áreas com Maior Favorabilidade à Mineração e Menor Risco Ambiental do Município de Parobé - RS. 1994.
- Vol. 11 - Isodeclividade do Município de Estância Velha - RS. 1994.
- Vol. 12 - Suscetibilidade à Erosão do Município de Estância Velha - RS. 1994.
- Vol. 13 - Uso e Ocupação do Solo do Município de Estância Velha - RS. 1994.
- Vol. 14 - Áreas de Proteção do Município de Estância Velha - RS. 1994.
- Vol. 15 - Áreas Críticas e com Restrições à Ocupação do Município de Estância Velha - RS. 1994.
- Vol. 16 - Adequação do Uso Agrícola do Solo Rural do Município de Estância Velha - RS. 1994.
- Vol. 17 - Uso Recomendado do Solo do Município de Estância Velha - RS. 1994.
- Vol. 18 - Diagnóstico Preliminar dos Aspectos Ambientais do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. 1994.
- Vol. 19 - Seleção Preliminar de Áreas para o Futuro Distrito Industrial do Município de Nova Santa Rita - RS. Estudo Geológico-Geotécnico. 1995.
- Vol. 20 - Alternativas Locacionais para Áreas Industriais e Tratamento de Esgotos Domésticos do Município de Portão - RS. Subsídios à Elaboração do Plano Diretor. 1995.
- Vol. 21 - Subsídios à Avaliação de Áreas Potencialmente Favoráveis à Implantação de Aterros Sanitários no Município de Lauro Müller - SC. 1995.
- Vol. 22 - Diagnóstico da Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos do Litoral Norte e Médio do Estado do Rio Grande do Sul. 1995.
- Vol. 23 - Áreas de Proteção Legal no Município de Xangri-Lá - RS. 1995
- Vol. 24 - Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos na Região Metropolitana de Porto Alegre, RS - Mapeamento das Áreas Favoráveis - Etapa 1. 1995
- Vol. 25 - Carta de Uso Recomendado do Solo do Município de Parobé - RS. 1996
- Vol. 26 - Suscetibilidade à Erosão do Município de Criciúma - SC. 1996
- Vol. 27 - Subsídios ao Desenvolvimento Integrado da Região das Hortênsias - RS. 1996
- Vol. 28 - Uso Recomendado do Solo do Município de Xangri-Lá - RS. 1996
- Vol. 29 - Áreas Críticas e com Restrições à Ocupação do Município de Criciúma - SC. 1997
- Vol. 30 - Uso Recomendado do Solo do Município de Criciúma - SC. 1998
- Vol. 31 - Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos na Região Metropolitana de Porto Alegre, RS - Etapa 2. 1998

Superintendência Regional de Recife

Vol. 01 - Metodologia para Estudos Neotectônicos Regionais. Caso João Câmara - RN. 1994.

Superintendência Regional de Salvador

Vol. 01 - Parque Nacional da Chapada Diamantina - BA. Informações Básicas do Meio Físico. 1994.

Vol. 02 - Área de Proteção Ambiental de Mangue Seco. Plano Manejo - BA. 1994.

Vol. 03 - Informações Básicas para o Planejamento e Administração do Meio Físico - Mapas Municipais de Morro do Chapéu - BA.3 v. 1995.

Superintendência Regional de São Paulo

Vol. 01 - Áreas Naturais sob Proteção - Região Metropolitana de Curitiba - PR. 1994.

Vol. 02 - Cartas Temáticas de Planejamento da Região Metropolitana de Curitiba - PR. 1994.

Residência da CPRM de Fortaleza

Vol. 01 - Diagnóstico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza - CE. 1995.

SÉRIE PUBLICAÇÕES ESPECIAIS

Superintendência Regional de Porto Alegre

Vol. 01 - Cartografia Digital: Uma Contribuição ao Desenvolvimento de Técnica de Elaboração de Cartas Temáticas de Baixo Custo e Alta Qualidade Gráfica. 1996.

Vol. 02 - Aspectos Turístico-Ambientais do Litoral Norte/RS. Uma amostragem nos municípios de Capão da Canoa, Imbé, Maquiné, Osório, Tramandaí e Xangri-Lá. 1997.

Superintendência Regional de Recife

Vol. 01 - Turismo Geocientífico: Uma Viagem no Tempo - Região Metropolitana de Recife - PE. 1994.

SÉRIE RECURSOS HÍDRICOS

Superintendência Regional de Belo Horizonte

Vol. 01 - Hidrologia e Qualidade das Águas de Superfície - Município de Caxambu - MG. 1996.

Superintendência Regional de Porto Alegre

Vol. 01 - Potencial Hidrogeológico do Município de Estância Velha - RS. 1994.

Vol. 02 - Monitoramento Hídrico da Bacia do Rio Gravataí - RS. 1994.

Vol. 03 - Potencial Hídrico Subterrâneo do Município de Nova Hartz - RS. 1994.

Vol. 04 - Avaliação Geofísica das Águas Subterrâneas no Balneário de Capão Novo - RS. 1994.

Vol. 05 - Qualidade das Águas Superficiais do Município de Criciúma - SC. 1994.

Vol. 06 - Qualidade das Águas Superficiais do Município de Criciúma - SC. Relatório Final.1995.

Superintendência Regional de Recife

Vol. 01 - Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana do Recife - PE. 1994.

Superintendência Regional de Manaus

Vol. 01 - Alternativas para o Abastecimento Hídrico de São Gabriel da Cachoeira - AM. 1995.

Residência de Fortaleza

Vol. 01 - Água no Sertão do Pajeú. Município de Afogados da Ingazeira - CE. 1994

Vol. 02 - Vulnerabilidade Natural das Unidades Aquíferas da Região do Cariri - CE. 1995

SÉRIE RECURSOS MINERAIS

Superintendência Regional de Porto Alegre

- Vol. 01 - Potencial Mineral para Não Metálicos do Município de Parobé - RS. 1994.
- Vol. 02 - Áreas Mineradas para Carvão - Município de Criciúma - SC. 1994.
- Vol. 03 - Potencial Mineral para Não Metálicos do Município de Criciúma - SC. 1994.

Superintendência Regional de Recife

- Vol. 01 - Insumos Minerais no Sertão do Pajeú: Calcários e Mármore. PE. 1994.
- Vol. 02 - A Mineração na Região Metropolitana do Recife - PE. 1994.
- Vol. 03 - A Atividade Extrativa Mineral em Jaboatão dos Guararapes - PE. 1994.
- Vol. 04 - Fosfato de Olinda e os Conflitos de Mineração. Região Metropolitana do Recife - PE. 1994.

Residência de Fortaleza

- Vol. 01 - Potencial Mineral de Não-Metálicos da Região Metropolitana de Fortaleza - CE. 1994.
- Vol. 02 - Diagnóstico Geoeconômico Acopiara - CE. 1995.
- Vol. 03 - Diagnóstico Geoeconômico do Município de Banabuiú - CE. 1995.
- Vol. 04 - Avaliação da Potencialidade Mineral do Médio-Baixo Jaguaribe - CE. 1995.
- Vol. 05 - Minerais Não-Metálicos - Região do Cariri - CE. 1995.
- Vol. 06 - Diagnóstico Geoeconômico do Município de Maranguape - CE. 1995.