

LITERATURA / LEITURAS SUGERIDAS

Criação – Gore Vidal

Viva o Povo Brasileiro – João Ubaldo Ribeiro

Um Conto de Duas Cidades – Charles Dickens

A Guerra do Fim do Mundo – Mario Vargas Llosa

Todos os Homens São Mortais – Simone de Beauvoir

Incidente em Antares – Érico Veríssimo

Contos de Terror, Mistério e de Morte – Edgar Allan Poe

Viagens aos Mundos Imaginários – Ernesto Sabato

O Lobo do Mar – Jack London

No Coração do Mar – Nathaniel Philbrick

Crime e Castigo – Dostoievski

Sapiens: Uma breve história da humanidade – Yuval Noah Harari

ETC ETC

Prof. José D. F. Gallas

GEOFÍSICA APLICADA

Em um levantamento geofísico sempre o que se prospecta são os contrastes nas propriedades físicas do bem mineral, estrutura geológica, litologias, agentes poluentes etc.

Assim, o principal determinante, quando se emprega um método geofísico, é a propriedade física mais característica do mineral, rocha ou estrutura a ser prospectada. Para que se tenha sucesso na escolha e aplicação de um método geofísico, é necessário que o objeto do estudo responda de forma diferenciada – anômala – isto é, apresente uma característica física que permita diferenciá-lo do meio circundante.

Principais Propriedades Físicas	Método de Prospeção
Densidade	Gravimetria
Susceptibilidade Magnética	Magnetometria
Resistividade	Métodos Elétricos e Eletromagnéticos
Polarizabilidade (IP)	Polarização Induzida (Método Elétrico)
Radioatividade	Radiometria, Cintilometria
Propriedades Elásticas	Métodos Sísmicos

O MÉTODO DO POTENCIAL ESPONTÂNEO (SP)

Trata-se de um método de campo natural e baseia-se no fato de que, mesmo na ausência total de qualquer campo elétrico criado artificialmente, é possível medir uma diferença de potencial entre dois eletrodos introduzidos no terreno.

A expressão inglesa “Self Potential” originou a sigla SP e é desse modo que é referido este método no meio técnico e acadêmico.

Em se tratando de prospecção mineral as anomalias SP, geralmente negativas, são relacionadas à presença de corpos de sulfetos maciços que comportam-se como condutores. O fenômeno, neste caso, é explicado por reações eletroquímicas na interface corpo/rocha encaixante nos níveis acima e abaixo do nível freático. A origem do conjunto destas reações é baseada nas diferenças de potencial “redox” nestes dois níveis separados pelo N. A.

O método do potencial espontâneo (SP), em casos ambientais ou de engenharia, tem sua principal aplicação no estudo dos movimentos da água em subsuperfície. As anomalias de SP são geradas pelo fluxo de fluidos, de calor ou de íons no subsolo e seu estudo tem sido útil para localizar e delinear estes fluxos e as fontes associadas.

GALLAS, J.D.F. 2020. Self-Potential (SP) generated by electrokinesis – Efficiency and low cost dam safety. Journal of applied geophysics v. 180, p 1-13.

GALLAS, J.D.F., 2005. O método do potencial espontâneo (SP): uma revisão sobre suas causas, seu uso histórico e suas aplicações atuais. Revista Brasileira de Geofísica (Impresso), v. 23, p. 133-144, 2005.
Prof. José D. F. Gallas

Potencial Espontâneo (SP)

A primeira notícia de utilização do método SP é de 1830, quando Robert Fox usou eletrodos de cobre e um galvanômetro objetivando delimitar a extensão de um depósito de cobre em subsuperfície.

Desde 1920 o método tem sido empregado de maneira rotineira como método complementar na prospecção de metais-base.

Apesar de suas origens serem tão remotas, o método continua sendo empregado nos dias de hoje. A principal vantagem e característica é sua simplicidade, tanto dos equipamentos necessários como da sua operação de campo, além dos baixos custos envolvidos.

Para a execução de um levantamento SP são necessários dois eletrodos para as medidas, um milivoltímetro e fios devidamente isolados para as conexões entre os eletrodos e o milivoltímetro.

No caso de aplicações do método para a prospecção mineral, a fenomenologia envolvida é basicamente aquela exposta por SATO & MOONEY (1960).

Em situações de geologia de engenharia, hidrogeologia e aplicações ambientais, o método baseia-se principalmente nos movimentos das águas do subsolo.

Prof. José D. F. Gallas

Origens do Potencial Espontâneo (SP) – Prospecção Mineral

A teoria mais aceita para explicar a origem das anomalias SP associadas a mineralizações sulfetadas foi proposta por SATO & MOONEY (1960), que chegaram às seguintes constatações:

a) Os corpos mineralizados associados a anomalias SP são bons condutores eletrônicos, com continuidade elétrica em seu interior.

b) As anomalias de potencial espontâneo são quase sempre negativas nas proximidades da parte superior do corpo.

c) As anomalias SP podem ser da ordem de centenas de milivolts.

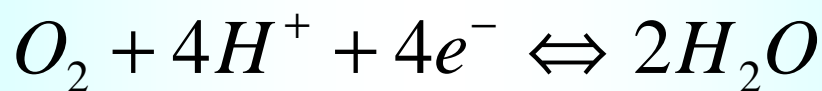
d) Parte da mineralização deve posicionar-se na zona de oxidação.

e) O potencial espontâneo é razoavelmente estável no tempo.

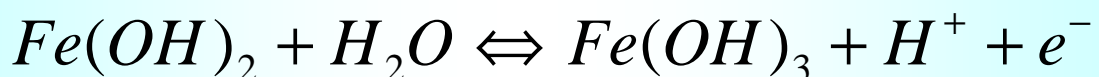
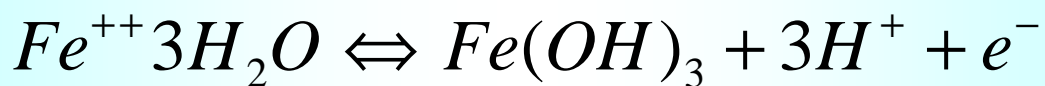
Baseando-se nestes fatos concluíram que as anomalias SP são ocasionadas por dois tipos de reações eletroquímicas que ocorrem uma acima e outra abaixo do nível freático. As substâncias dissolvidas na região próxima à parte superior do corpo sofrem redução, tomando elétrons provenientes do corpo mineralizado. Por outro lado, as substâncias em solução situadas nas porções inferiores do corpo sulfetado se oxidam, cedendo elétrons a este. O corpo sulfetado funciona como uma ligação elétrica entre estas posições/reações.

Assim, a origem destas reações é explicada pela diferença do potencial de oxidação E_h (ou potencial redox) que ocorrem nas partes superior e inferior do corpo de sulfetos, produzindo as anomalias SP.

Nas proximidades da parte superior do corpo sulfetado, as reações de redução mais prováveis que ocorrem envolvem o oxigênio livre e o íon férrico, tais como:



Nas porções inferiores da mineralização, as reações de oxidação mais prováveis seriam as que envolvem o íon ferroso e o hidróxido ferroso, como:



POTENCIAL ESPONTÂNEO – SP

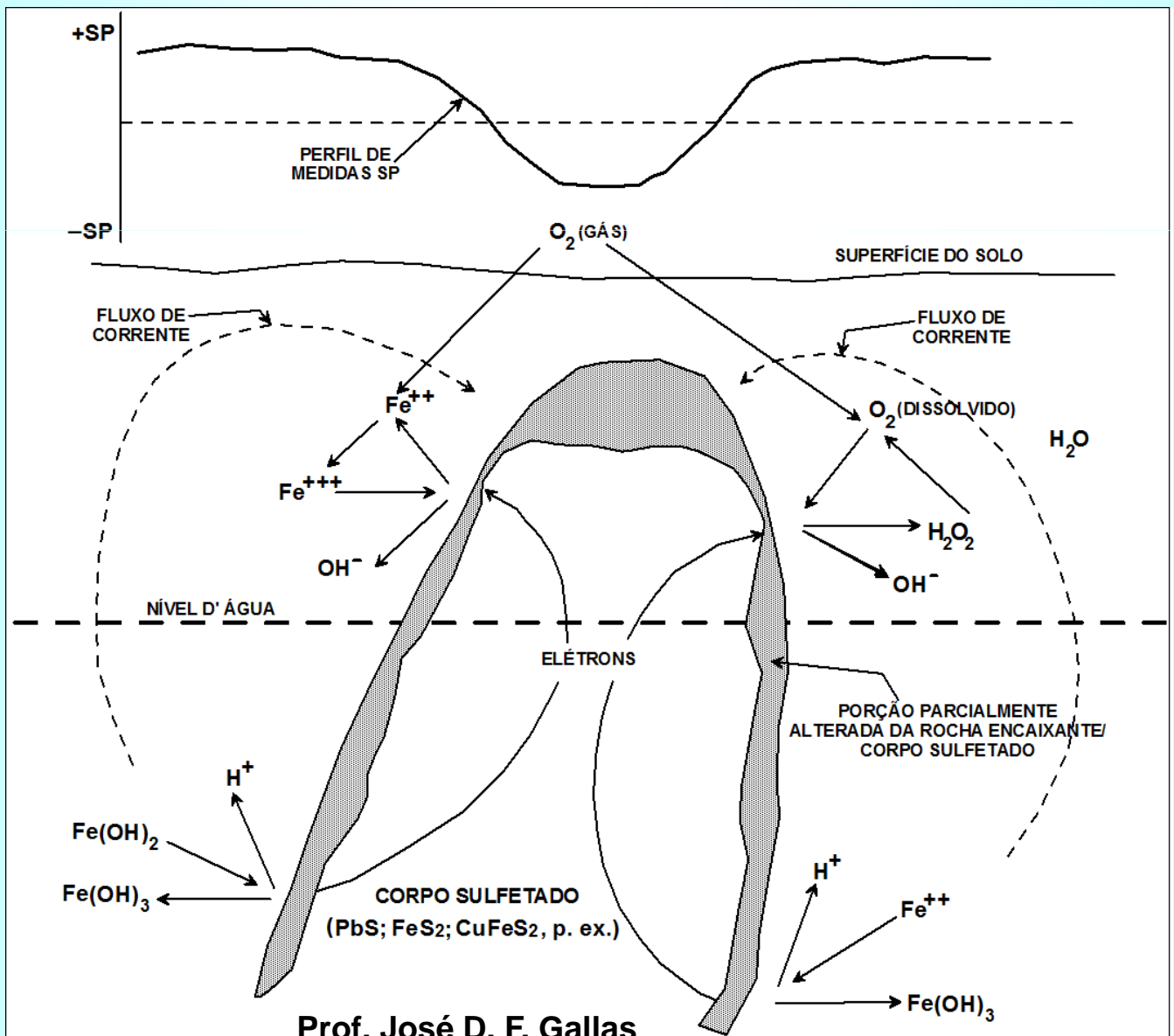
Fluxo de fluidos – movimento de fluidos pelos poros.

Potencial de difusão – mobilidade diferenciada dos íons.

Efeito de membrana das argilas – as argilas agem como uma membrana catiônica.

Potencial devido a mineralizações – associado a zonas mineralizadas.

Potencial devido a mineralizações – Sato & Mooney (1960).



Condição para o SP - necessária continuidade elétrica.

Carbonatos e silicatos não são condutores, assim como a maior parte dos óxidos e alguns sulfetos como a estibinita (Sb_2S_3) e a blenda (ZnS).

Pirita é associada com outros minerais: ouro, prata, níquel, sulfetos de cobre, galena e blenda em filões "BPG" (com blenda, pirita e galena).

Sulfetos de cobre (calcopirita, calcocita, covelita etc) são bons condutores e oxidáveis. A presença no minério piritoso, mesmo em baixas concentrações aumenta a continuidade elétrica.

Galena dá baixo SP. Em brechas ou xistos pode ter continuidade.

Grafite (xistos grafitosos), é altamente condutora, altamente oxidada, intensos SP, até 1000 milivolts.

Interpretação (CGG / CBG)

- 1) Atenção às anomalias de pelo menos 40/50 mV.
- 2) Outras causas (potenciais de fluxo, topografia).
- 3) Amplitudes acima de 400 mV – xistos grafitosos.
- 4) Pirita – raro + de 350 milivolts (entre 100 e 350mV).
- 5) Sulfetos de Cu cimentante de rochas ficam abaixo (400mV).
- 6) Galena pura sem pirita – menos de 100 mV.
- 7) Tubulações de aço ou ferro fundido, anomalias pequenas (poucos metros a partir da origem) e de 50 a 100 milivolts.

Prof. José D. F. Gallas

POTENCIAIS DE DIFUSÃO

Os potenciais de difusão surgem quando ocorrem eletrólitos diferentes ou ocorreram diferenças de concentração de um mesmo eletrólito.

Os íons de sinais distintos têm mobilidades diferenciadas e os mais móveis irão difundir-se mais rapidamente, surgindo duas regiões de concentração de íons de sinais opostos, estabelecendo-se uma diferença de potencial ΔV , que pode ser expressa como

$$\Delta V = \frac{u - v}{u + v} \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_1}{C_2}$$

onde:

u, v = mobilidades dos cátions e ânions, respectivamente.

n = valência dos íons.

$R = 8,314$ joules/mol.K (constante dos gases).

T = temperatura absoluta (oK).

$F = 96.487$ Coulombs/mol. (constante. de Faraday)

C_1, C_2 = concentrações dos eletrólitos em contato.

Potenciais de Fluxo (streaming potential)

É o de maior interesse em aplicações ambientais, geologia de engenharia e hidrogeologia. É devido ao movimento de fluidos através dos poros e descontinuidades das rochas e é também denominado de eletrofiltração ou eletrocinese. Este potencial é a causa de anomalias de SP comumente correlacionadas com o relevo e nas perfilagens SP, em que o fluido de perfuração penetra nas paredes do furo.

A magnitude do SP depende das características do subsolo e do fluido percolante, como resistividade elétrica, constante dielétrica e viscosidade do fluido, continuidade do contato fluido/subsolo e diferenças de pressão no percurso do fluxo.

$$\Delta V = \frac{\zeta \epsilon P}{\eta \sigma}$$
$$\Delta V = \frac{\zeta \epsilon P}{4\pi \eta \sigma}$$
$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

onde:

ζ = diferença de potencial na dupla camada.

ϵ = constante dielétrica.

σ = condutividade.

η = viscosidade do eletrólito.

P = diferença de pressão hidrostática entre os extremos do capilar – responsável pelo movimento do eletrólito.

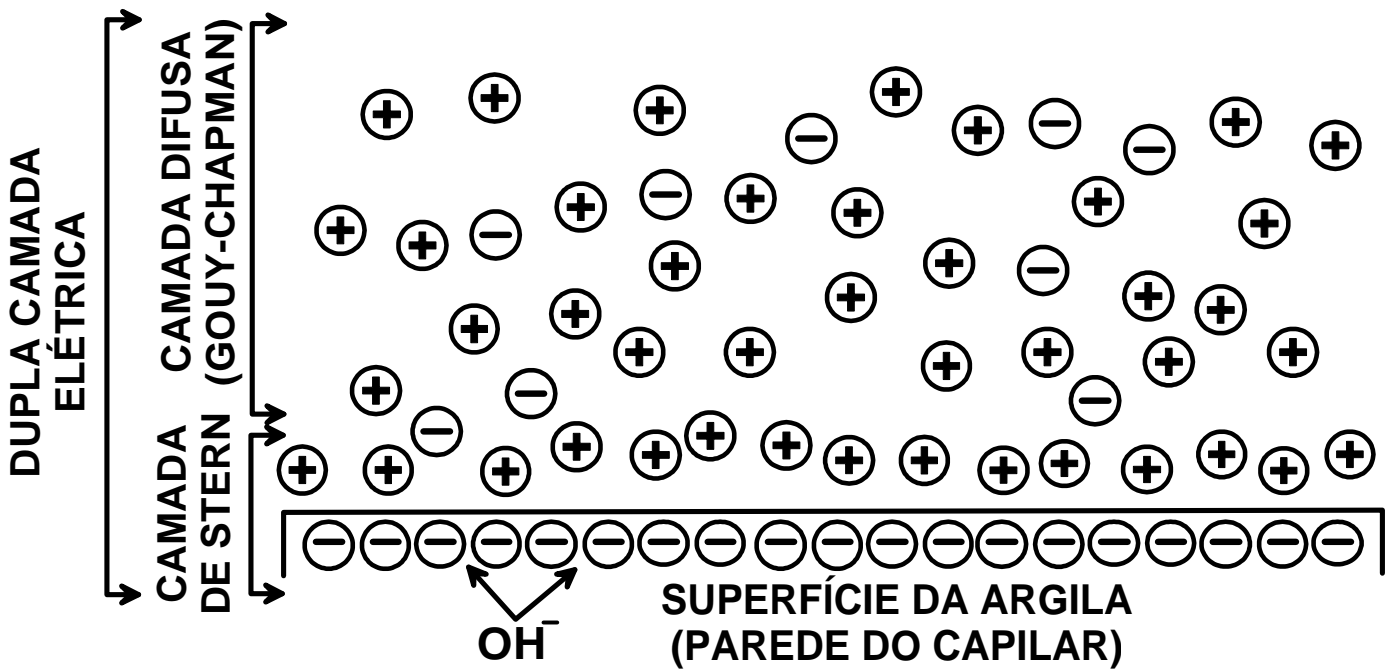
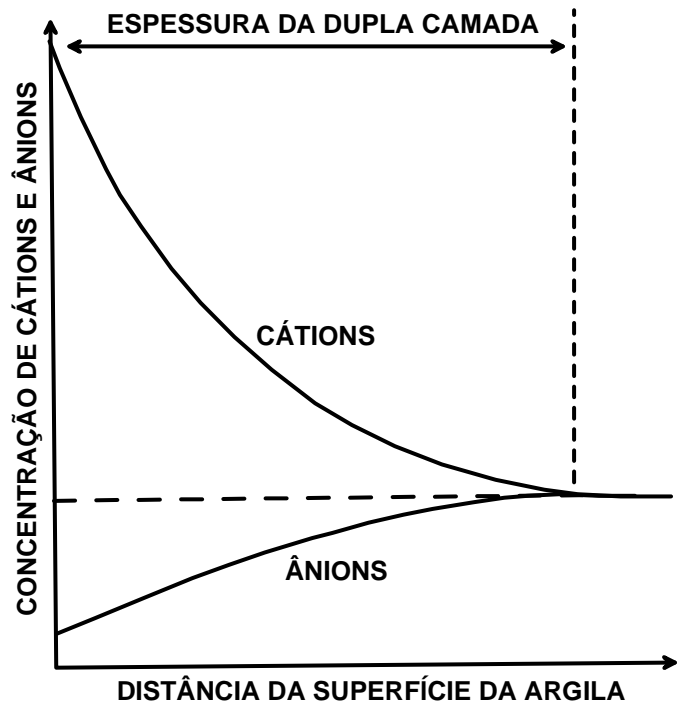
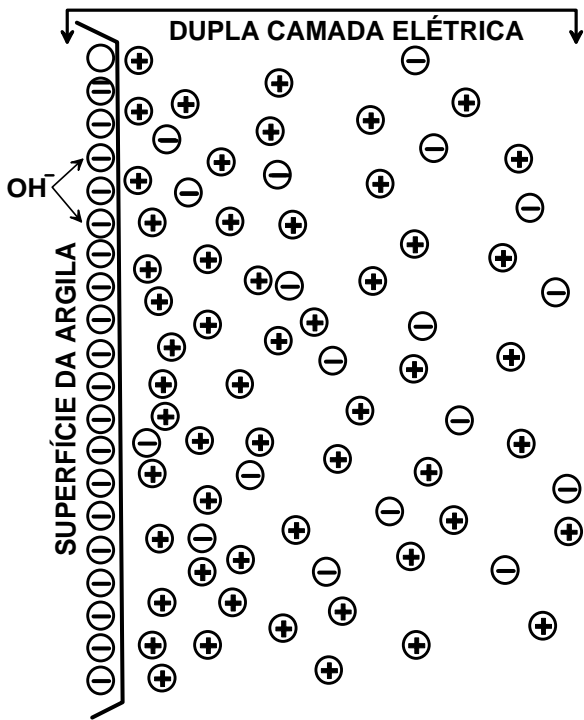
Prof. José D. F. Gallas

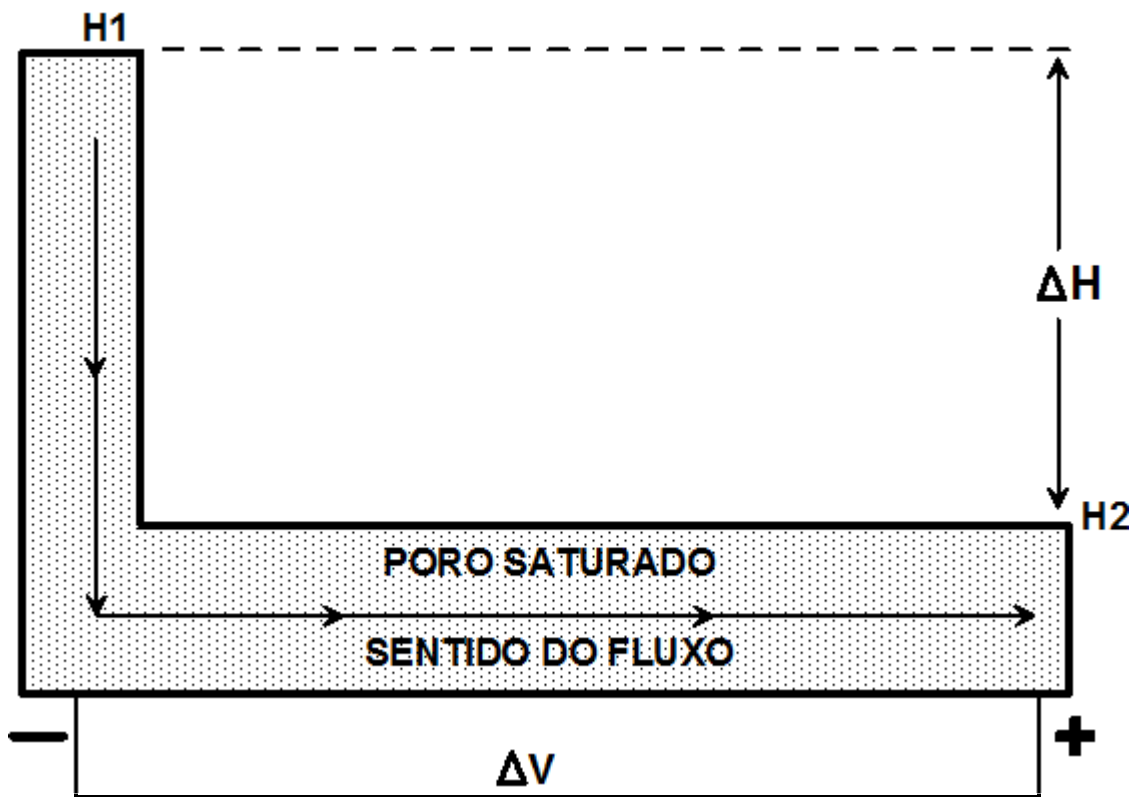
A passagem de um eletrólito através de uma membrana porosa produz uma diferença de potencial entre os dois lados da mesma.

Considerando a porosidade do substrato como uma rede de capilares por onde percolam as águas de subsuperfície, então o comportamento do substrato pode ser visto como uma membrana.

Os ânions são adsorvidos pelas paredes dos capilares e estes irão atrair os cátions, estabelecendo-se desta maneira uma dupla camada elétrica. Os ânions permanecem fixos enquanto os cátions são carregados através dos capilares pelo fluxo dos fluidos ali presentes, criando-se uma concentração destes últimos à saída. Surge então uma d.d.p., entre o ponto inicial e final do percurso, que obedece à equação de Helmholtz.

Prof. José D. F. Gallas





$$\Delta V = \frac{\zeta \varepsilon P}{4\pi\eta\sigma}$$

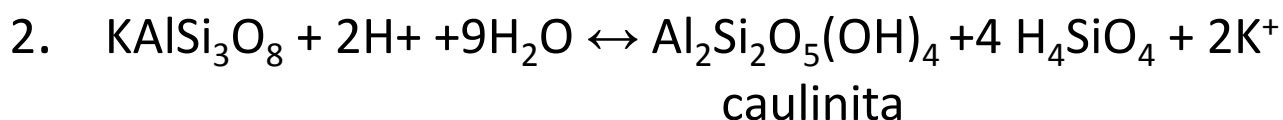
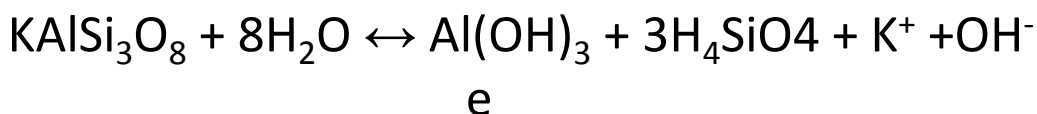
$$P = \Delta H = (H_1 - H_2)$$

$$\Delta V = \frac{\zeta \varepsilon (H_1 - H_2)}{4\pi\eta\sigma}$$

Prof. José D. F. Gallas

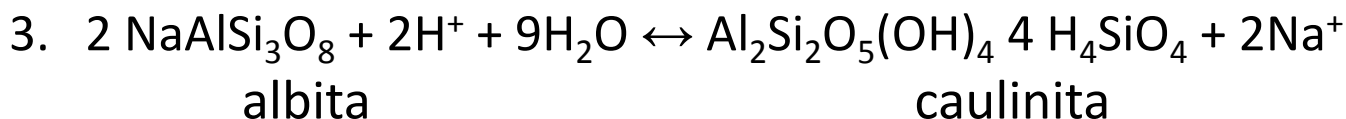
Os feldspatos constituem cerca 60 % em peso da crosta terrestre, contêm aproximadamente 80% de sílica e irão originar como resultados finais de sua hidrólise os seguintes produtos e íons:

1. Para o feldspato potássico:

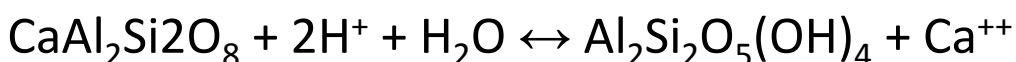


Também em outros minerais irão ocorrer:

Albita – extremo sódico da série dos plagioclásios:



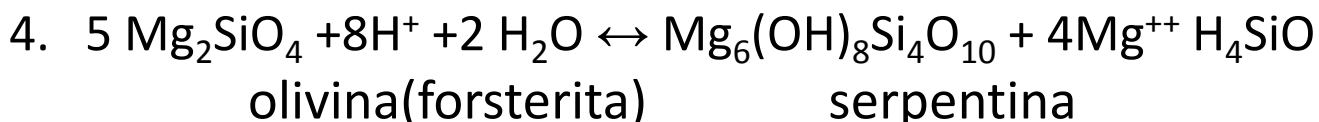
Anortita – extremo cálcico da série dos plagioclásios:



anortita

caulinita

Forsterita – extremo magnesiano da série das olivinas:



A mobilidade iônica

O raio iônico é definido como a distância entre o núcleo de um íon até o elétron estável mais distante do mesmo.

No caso dos cátions, a falta de um ou mais elétrons diminui a força de repulsão entre os remanescentes, aproximando-os entre si e ao núcleo positivo do átomo, resultando em um raio iônico menor que o atômico.

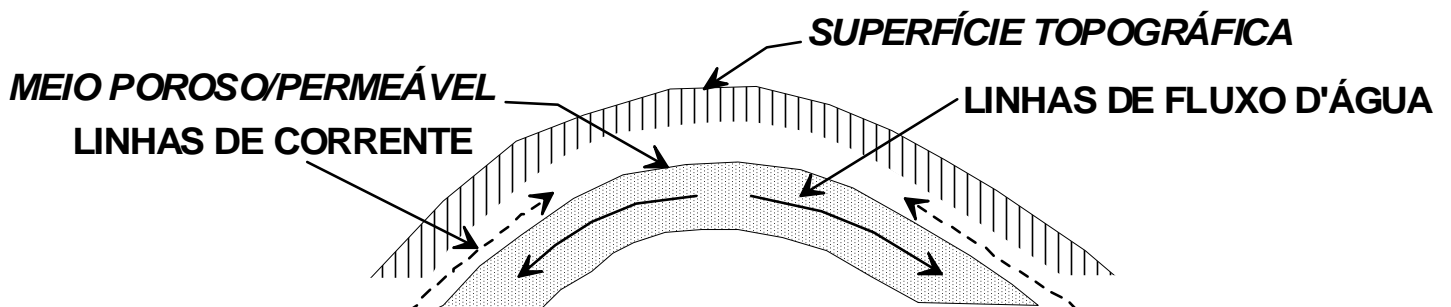
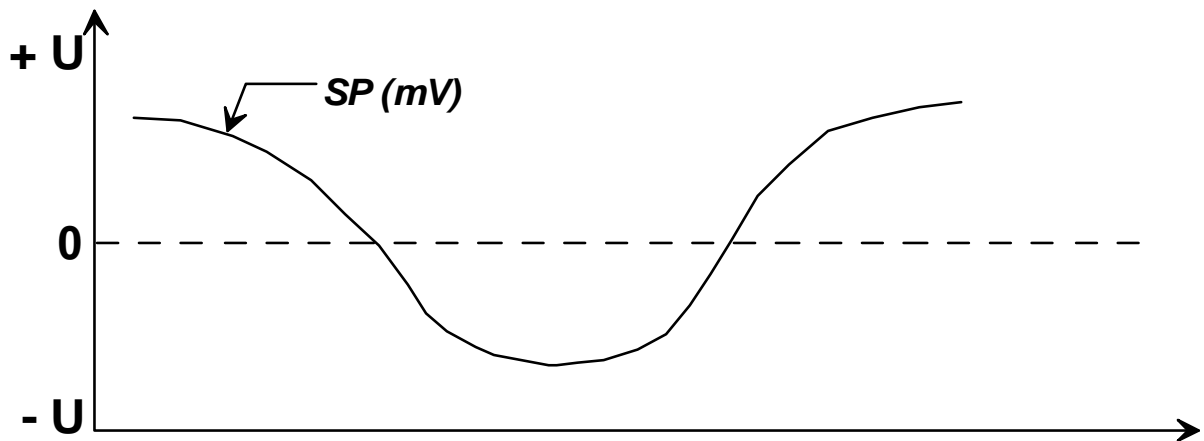
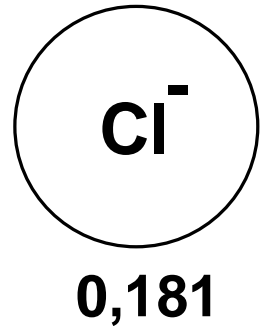
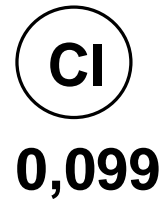
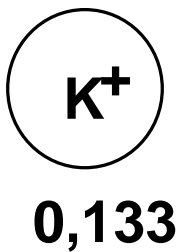
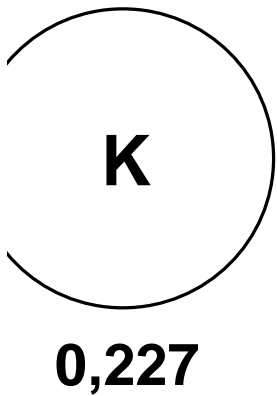
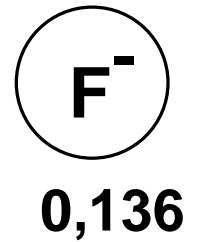
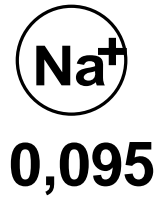
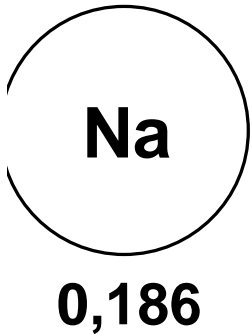
Sódio: configuração $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$, perdendo o elétron $3s$, perde também a terceira camada, reduzindo o raio.

Situação inversa para os ânions, o excesso de carga negativa afasta os elétrons entre si, resultando que o raio iônico será maior que o atômico.

Cloro: configuração $1s^2 2s^2 2p^5$ ao receber elétron, aumenta seu número e a repulsão entre as cargas negativas na sua camada $2p$, expandindo o raio iônico.

Assim, um cátion será sempre menor que o átomo neutro original e, inversamente, os ânions serão sempre maiores que seus átomos neutros primários.

Raio Iônico (nm)



Prof. José D. F. Gallas

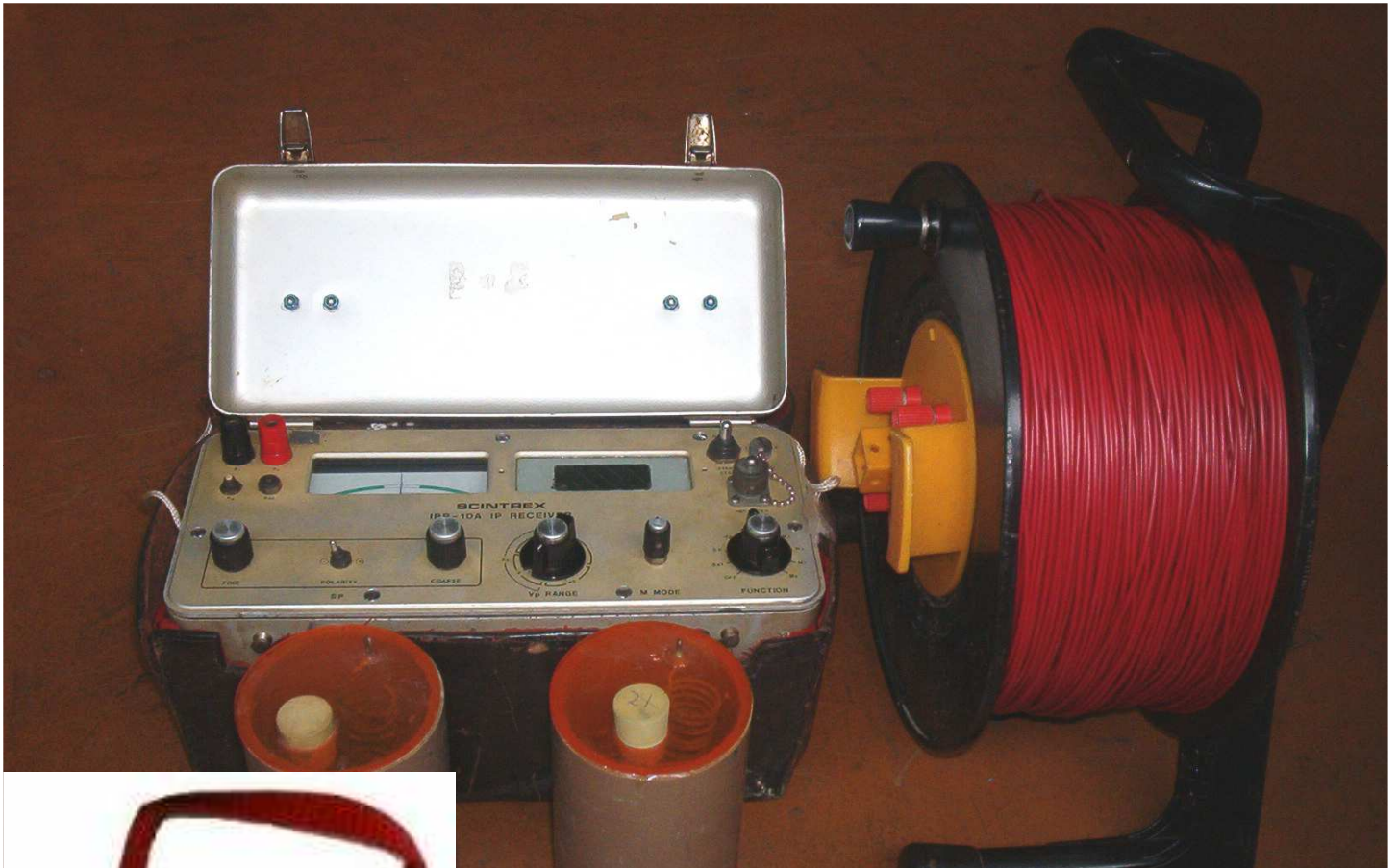
Equipamentos para SP

Como se trata de um método de campo natural, não há a necessidade de uma fonte transmissora de sinal.

São utilizados eletrodos, cabos condutores e milivoltímetro. Os eletrodos consistem de um metal mergulhado em uma solução saturada de um sal do próprio metal, como Cu em CuSO_4 ou Ag em AgCl, contidos em um recipiente poroso. A porosidade é necessária para que se processe uma passagem lenta e suave da solução contida no “pote” (eletrodo) para o solo, estabelecendo-se o contato.

O milivoltímetro deve ser capaz de informar a polaridade da medida, robustez para o trabalho de campo, precisão de pelo menos 1mV nas leituras e fornecer valores de resistências de contato.

Os cabos de conexão entre os eletrodos de medidas e o instrumento devem apresentar um bom isolamento, minimizando ruídos elétricos espúrios durante os levantamentos.



Prof. José D. F. Gallas

Levantamentos de Campo

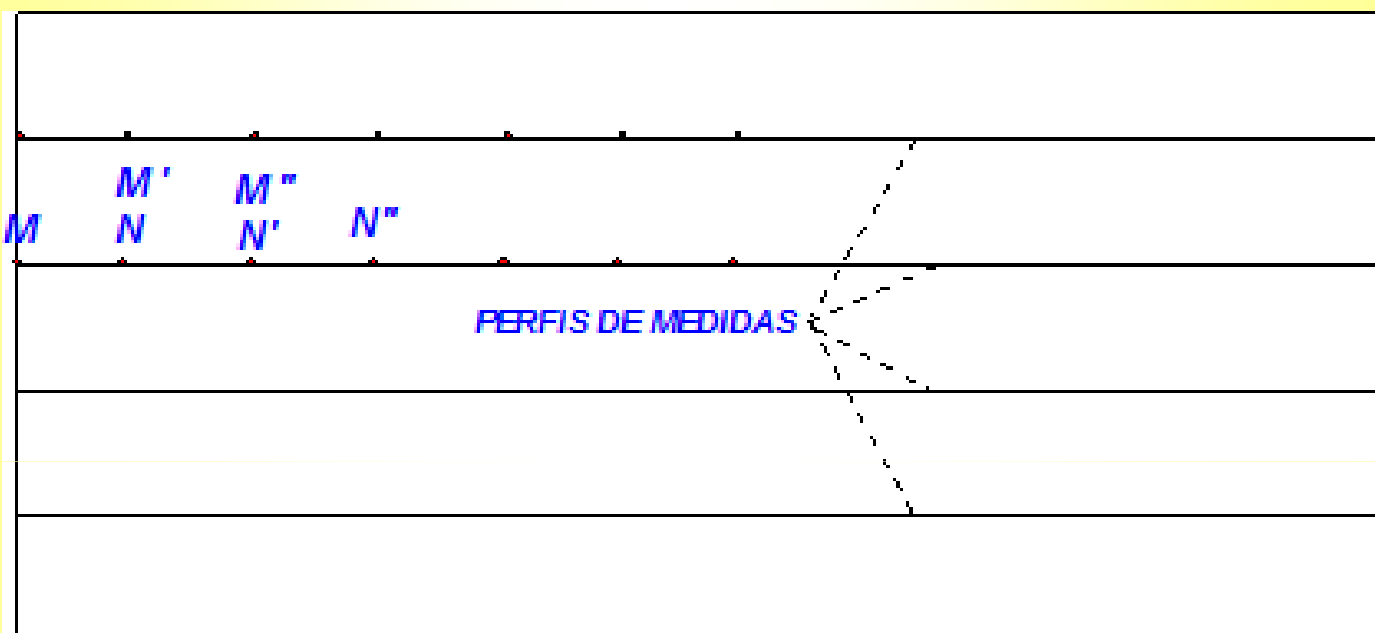
Existe uma variedade de configurações e metodologias para a tomada de dados de SP em campo, porém as normalmente utilizadas são a técnica dos potenciais e a técnica dos gradientes.

Teoricamente, as duas técnicas se equivalem, mas na prática, são bastante distintas, sendo a primeira técnica de uso muito mais difundido.

Para todas as configurações, usualmente adota-se como convenção de polaridade do SP que o pólo negativo do milivoltímetro seja conectado ou referido à estação anterior ou à estação-base e o pólo positivo do instrumento seja referido ao eletrodo posicionado na estação que estiver sendo medida.

Técnica dos Gradientes (ou eletrodos móveis)

A técnica dos gradientes consiste em medir-se sucessivamente as diferenças de potencial entre dois pontos contíguos de um perfil, através de dois eletrodos. Após as medidas, o par de eletrodos é deslocado no perfil de medidas, normalmente a intervalos iguais.

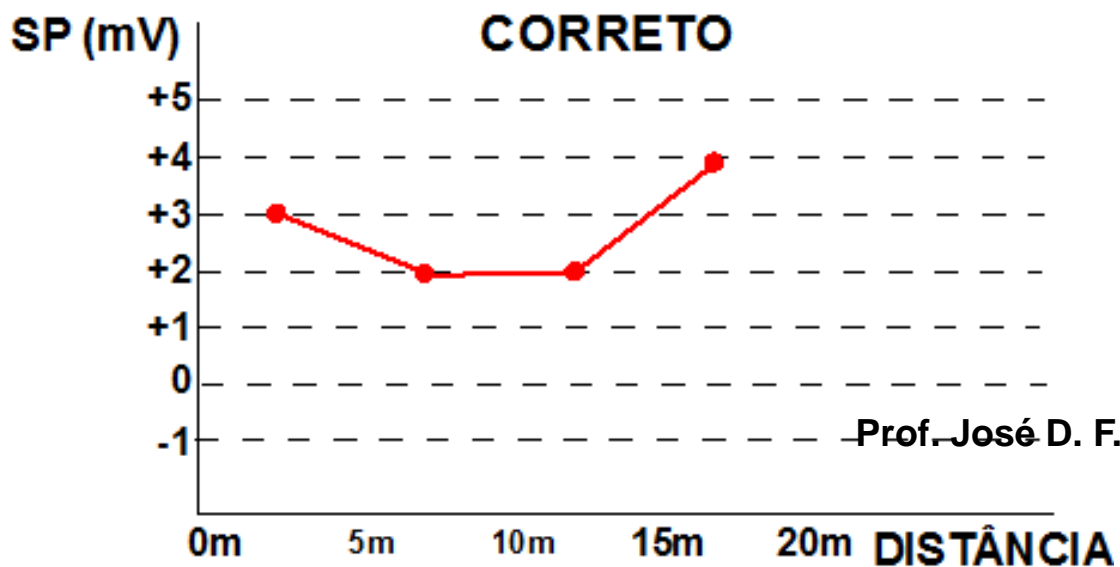
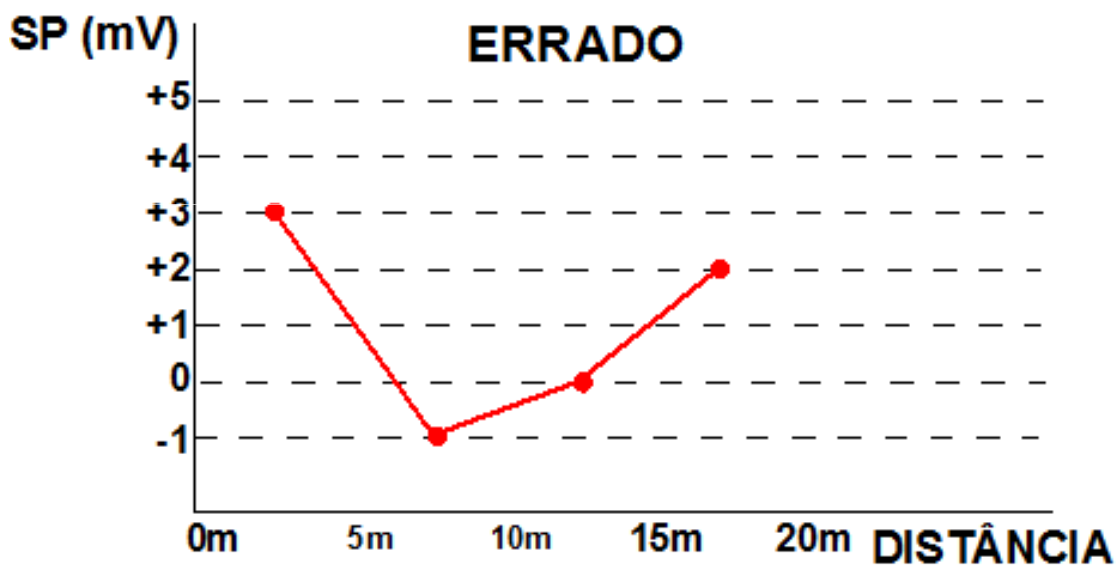
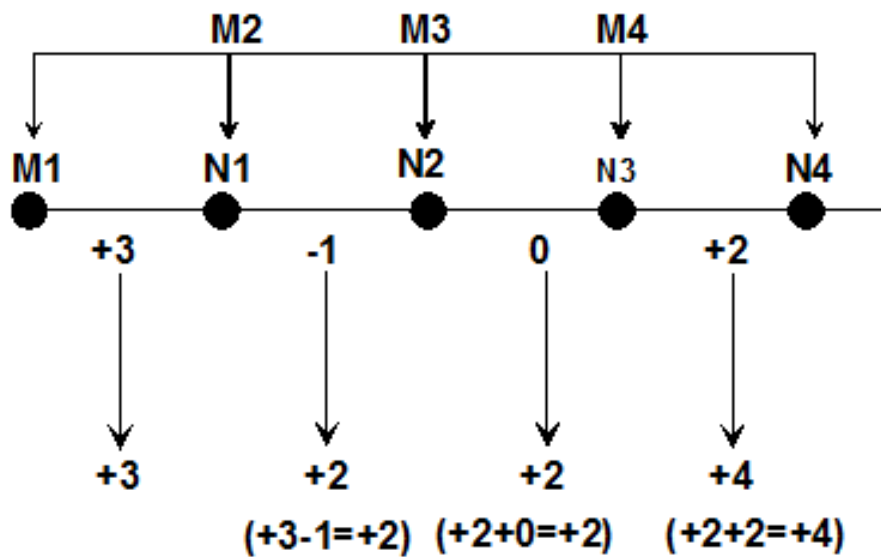


O SP de uma estação é obtido pela sucessiva adição das medidas entre os pontos de medição.

Uma vantagem desta configuração é o uso de fios curtos, de fácil e rápido deslocamento, que minimizam efeitos indutivos que podem ocorrer com o uso de cabos muito longos.

A grande desvantagem desta configuração é a alta susceptibilidade a anomalias espúrias geradas pelo erro cumulativo. As causas são, entre outras, efeitos do contato solo/eletrodos, polarização de eletrodos e derivas do potencial com o tempo.

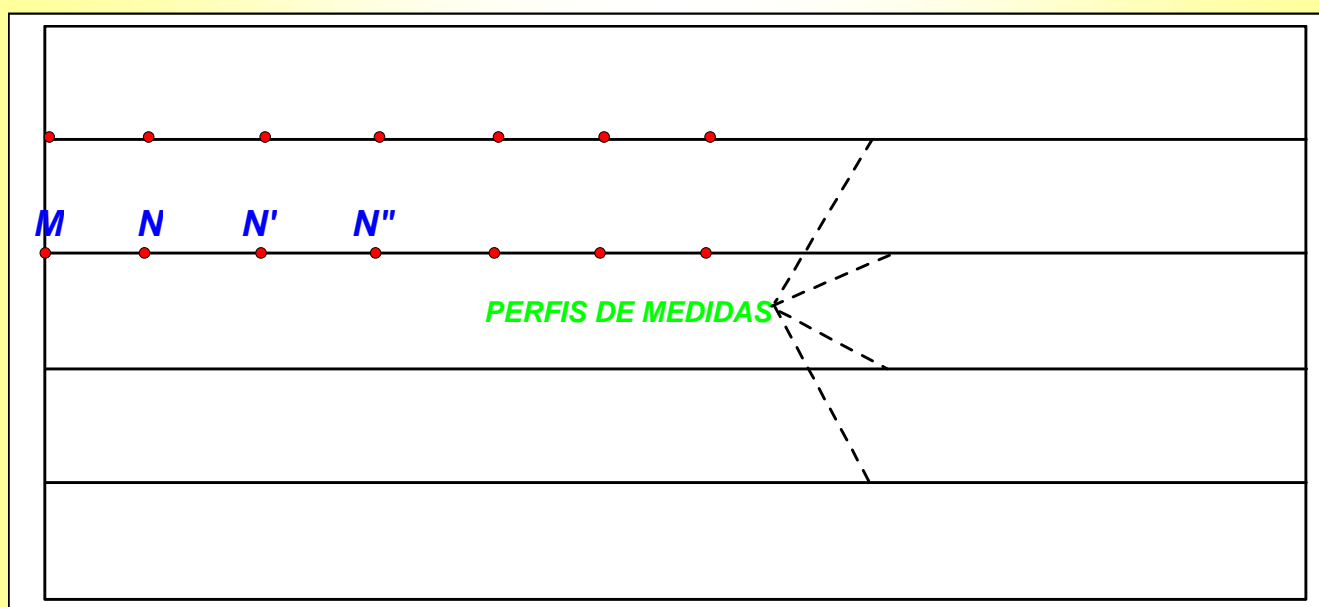
TÉCNICA DOS GRADIENTES (ELETRODOS MÓVEIS)



Técnica dos Potenciais (ou base fixa)

Esta configuração requer que um dos eletrodos seja mantido fixo em uma estação-base, enquanto o outro percorre os pontos de medidas nos perfis ou malha de levantamento.

O levantamento é efetuado conectando um dos pólos do instrumento de medidas à base fixa enquanto o outro pólo do instrumento é conectado ao eletrodo móvel que é deslocado.

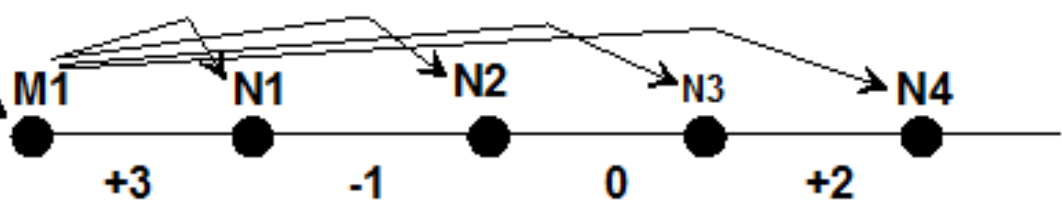


A grande vantagem desta configuração, comparada à dos gradientes, é a diminuição no erro cumulativo.

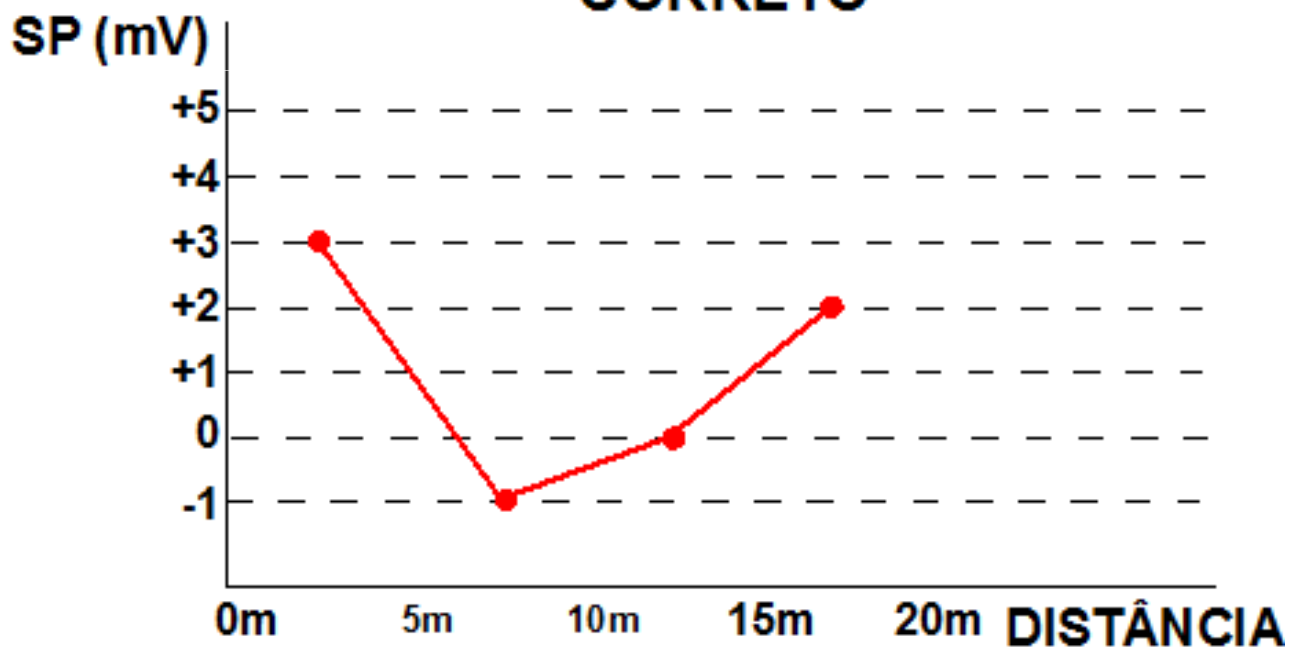
Assim, a menos que existam dificuldades para utilização do dispositivo dos potenciais, inerentes à área a ser estudada, é sempre preferível o uso desta configuração.

TÉCNICA DOS POTENCIAIS (BASE FIXA)

ESTAÇÃO
BASE



CORRETO



Ruídos Presentes nos Levantamentos SP

Níveis de ruídos muito elevados podem mascarar a detecção de anomalias SP de interesse e constituem-se, em alguns casos, num grande problema. O ruído em levantamentos SP normalmente é originado de fontes naturais ou artificiais, tais como correntes telúricas, atividades culturais, topografia etc. Também constituem-se em fontes de ruídos a polarização de eletrodos e derivas causadas por variações químicas do solo, temperatura e conteúdo de umidade.

Principais fontes de ruídos

Polarização de Eletrodos e Deriva
Contato Entre Solo e Eletrodo
Variações do SP com o Tempo
Outras Fontes de Ruídos

Polarização de Eletrodos e Deriva

As maiores fontes de erros são a polarização de eletrodos e a deriva destes. Em trabalhos onde é usada uma única estação-base, o intervalo entre a primeira e a última leitura realizadas entre a estação-base e o eletrodo móvel conterá o erro devido à polarização e deriva.

A medida deste erro pode ser obtida medindo-se o SP entre os eletrodos com os mesmos imersos em uma solução do eletrólito imediatamente antes da instalação do eletrodo-base e imediatamente após a retirada do mesmo. Este procedimento permitirá a subtração da polarização e deriva, sendo as correções para medidas intermediárias obtidas por interpolação.

A deriva e os efeitos de polarização podem ser atenuados minimizando a exposição dos eletrodos a variações de temperatura e químicas. Isto é possível de ser feito mantendo-se o eletrodo da estação base em um local à sombra e, na medida do possível, também o eletrodo itinerante.

Os efeitos de deriva e polarização de origem eletroquímica podem ser atenuados reduzindo-se o tempo de permanência (tempo de leitura) do eletrodo móvel em contato com o solo e limpando-se o máximo possível os poros do eletrodo entre as estações de medida.

Contato Entre Solo e Eletrodo

São os ruídos provenientes das oscilações nos valores medidos de SP causadas pela mudança do eletrodo de um ponto a outro. As principais causas destes ruídos são as variações locais de umidade, condutividade, compactação do solo etc.

$$\Delta V = \frac{\zeta \varepsilon P}{4\pi \eta \sigma} \quad \sigma = \frac{1}{\rho}$$

Estes erros em certos casos podem ser críticos, principalmente quando a técnica de levantamento empregada é a dos eletrodos móveis (técnica dos gradientes).

Para minimizar estas variações, no caso de solos secos, deve-se fazer com que o eletrodo de medidas seja colocado em uma cova, evitando-se a parte superior do solo mais ressecada, bem como as oscilações de temperatura.

Uma outra providência que pode ser tomada em casos de solos secos e/ou muito resistivos é a de proceder-se à escavação das covas de medições previamente e umedecê-las com água.

Situações extremas, como, por exemplo, as que ocorrem em levantamentos sobre rochas expostas ou sobre áreas pavimentadas, podem ser minimizadas colocando-se o eletrodo – pote poroso – sobre uma esponja embebida na mesma solução (CuSO_4 , por exemplo) contida no pote poroso.

Prof. José D. F. Gallas

Variações do SP com o Tempo

As oscilações do SP no decorrer do tempo de um levantamento são ocasionadas por mudanças nas condições locais da área estudada, como as características do solo ou variações das resistividades do subsolo devidas a mudanças nos níveis de umidade. Uma outra causa são os campos elétricos gerados por causas naturais (correntes telúricas) ou por fontes artificiais (causas antrópicas).

Alterações nas condições locais podem ocasionar variações no SP em períodos de alguns minutos a meses ou até mais. Algumas destas oscilações podem ser significativas se o período do levantamento for de algumas horas ou dias, enquanto que outras (períodos mais longos), somente terão significado se o levantamento da área for repetido. As causas principais destas oscilações são as mudanças nas propriedades do solo devidas a variações de temperatura, chuvas, presença de atividades de obras nas imediações, variações na profundidade do nível d'água etc.

A segunda fonte das variações são aquelas causadas por campos elétricos artificiais ou por correntes telúricas naturais geradas por oscilações no campo magnético terrestre. As variações telúricas podem atingir algumas dezenas ou até centenas de milivolts por quilômetro em áreas de elevadas resistividades ou em zonas condutivas onde haja direcionamento das correntes telúricas.

Outras Fontes de Ruídos

Podem ser enquadrados nestes casos os efeitos de topografia, aterramentos, objetos metálicos enterrados, sistemas de proteção à corrosão, depósitos minerais condutivos (se o objeto do trabalho for outro que não a pesquisa mineral), potenciais eletroquímicos, potenciais de fluxo indesejados, variações na resistividade do subsolo, entre outros.

Objetos metálicos como revestimentos de furos de sondagens podem causar intensas anomalias SP negativas, em fenômeno de causas similares àquelas para mineralizações que apresentem condutividade elétrica.

Os efeitos causados por oscilações topográficas, tendem a refletir um caráter negativo nas medidas de SP à medida do incremento na topografia e é causado pelo movimento de descenso da água em relação à superfície do terreno.

Os potenciais eletroquímicos indesejados podem acontecer nas superfícies de contato entre litologias de diferentes porosidades.

Mudanças nas vegetações também são passíveis de proporcionar ruídos indesejáveis em trabalhos de SP.

Apresentação e Tratamento dos Dados de SP

Os dados obtidos de levantamentos de potencial espontâneo podem ser apresentados sob a forma de mapas ou perfis. Quando sob a forma de perfis isolados, o único tratamento aplicado aos dados é, quando necessário, as correções devidas a alguns dos ruídos já citados.

Se o levantamento abranger vários perfis e os resultados tiverem que ser apresentados sob a forma de mapas, às vezes é necessário que os dados sejam submetidos a uma filtragem, mesmo que tenha sido utilizado o mesmo referencial das medidas para toda a área.

Este procedimento visa principalmente minimizar os efeitos das diferenças de resistências de contato solo-eletrodos que por vezes situam os diferentes perfis em níveis de base distintos, bem como realçar as feições do levantamento SP que sejam de interesse e diminuir os “ruídos” de altas frequências indesejados.

Usos do SP

Originalmente o potencial espontâneo (SP) tinha sua aplicação em prospecção mineral, onde suas anomalias correlacionam-se à presença de corpos sulfetados e condutores. No entanto, o SP possui um amplo espectro de aplicações no que se refere às questões de hidrogeologia, geologia de engenharia e ambiental.

Em casos de prospecção de água subterrânea em regiões cristalinas, os aquíferos estão associados à presença de fraturas armazenadoras de água e que estas comportam-se como zonas de maior percolação/infiltração das águas subterrâneas, que podem ser identificadas através do SP.

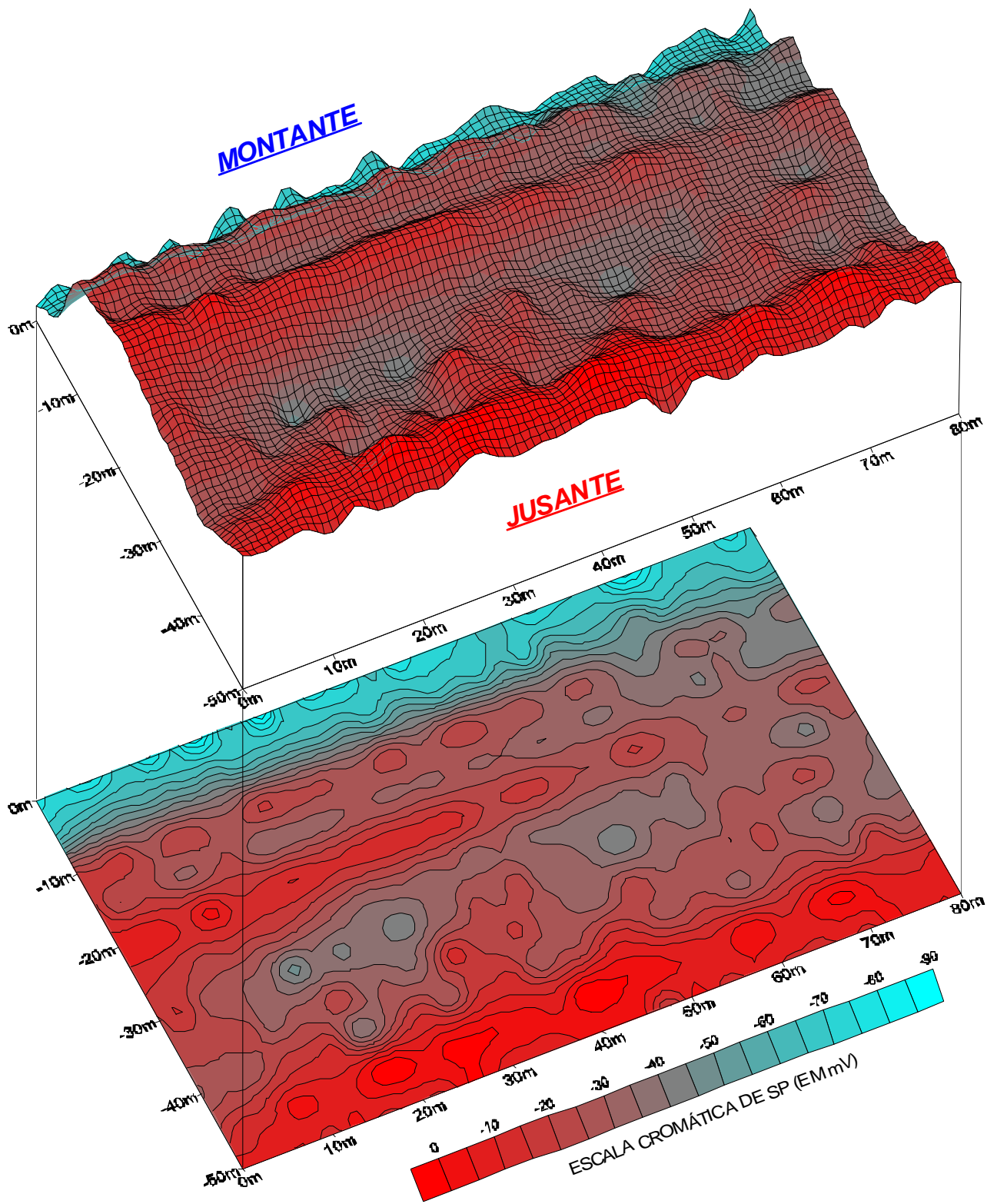
No que se refere a geologia de engenharia e ambiental, pode ser de grande utilidade como indicativo de direções preferenciais de fluxos de fluidos em subsuperfície, seja para indicar anomalias SP associadas a vazamentos em corpos de barragens ou reservatórios de água, fluxos em taludes, seja para detectar fluxos contaminados por poluentes.

O SP também tem sido empregado nos estudos geotermiais e fontes associadas, uma vez que os fluxos de fluidos a temperaturas diferenciadas também são passíveis de detecção pelo método.

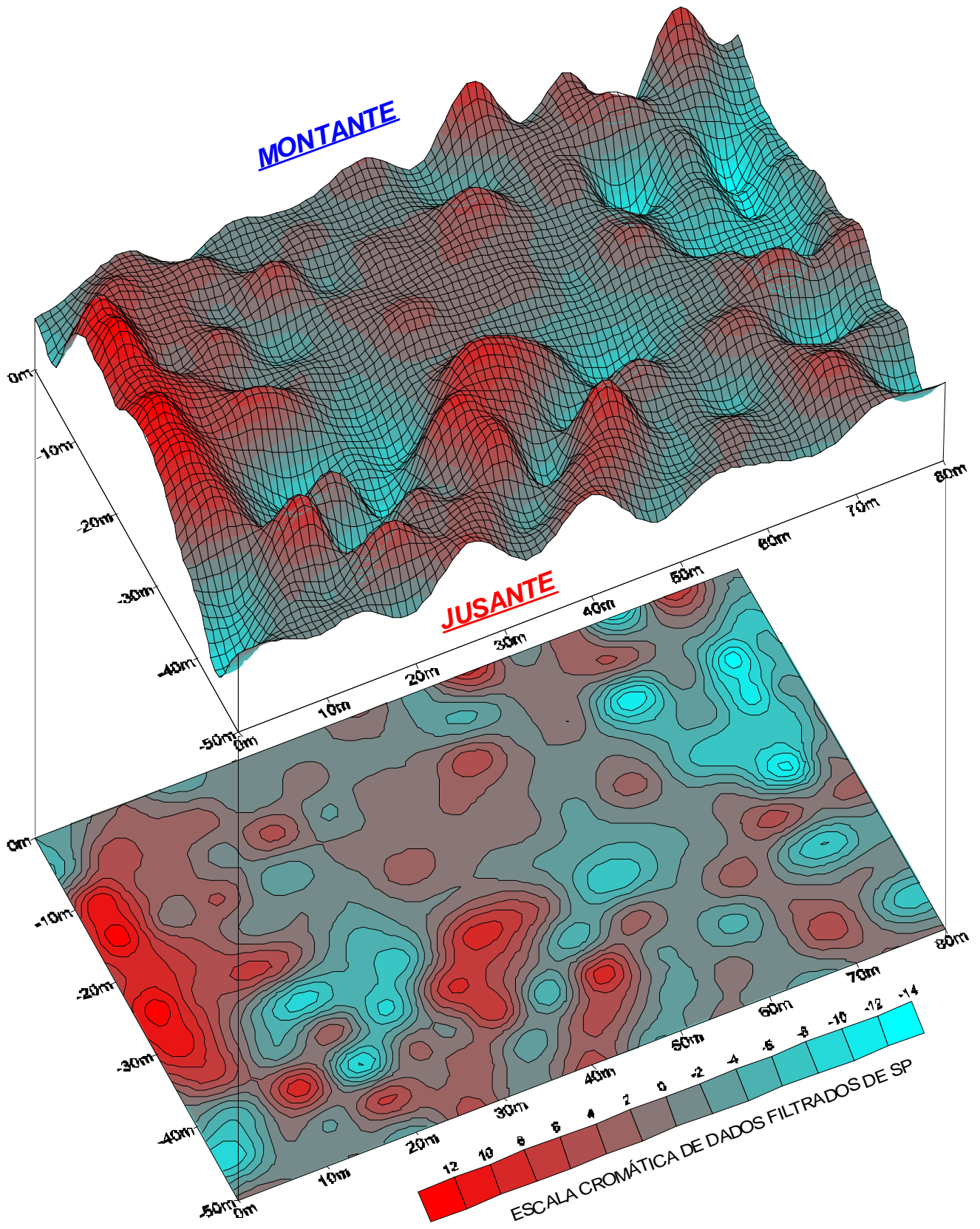
Prof. José D. F. Gallas



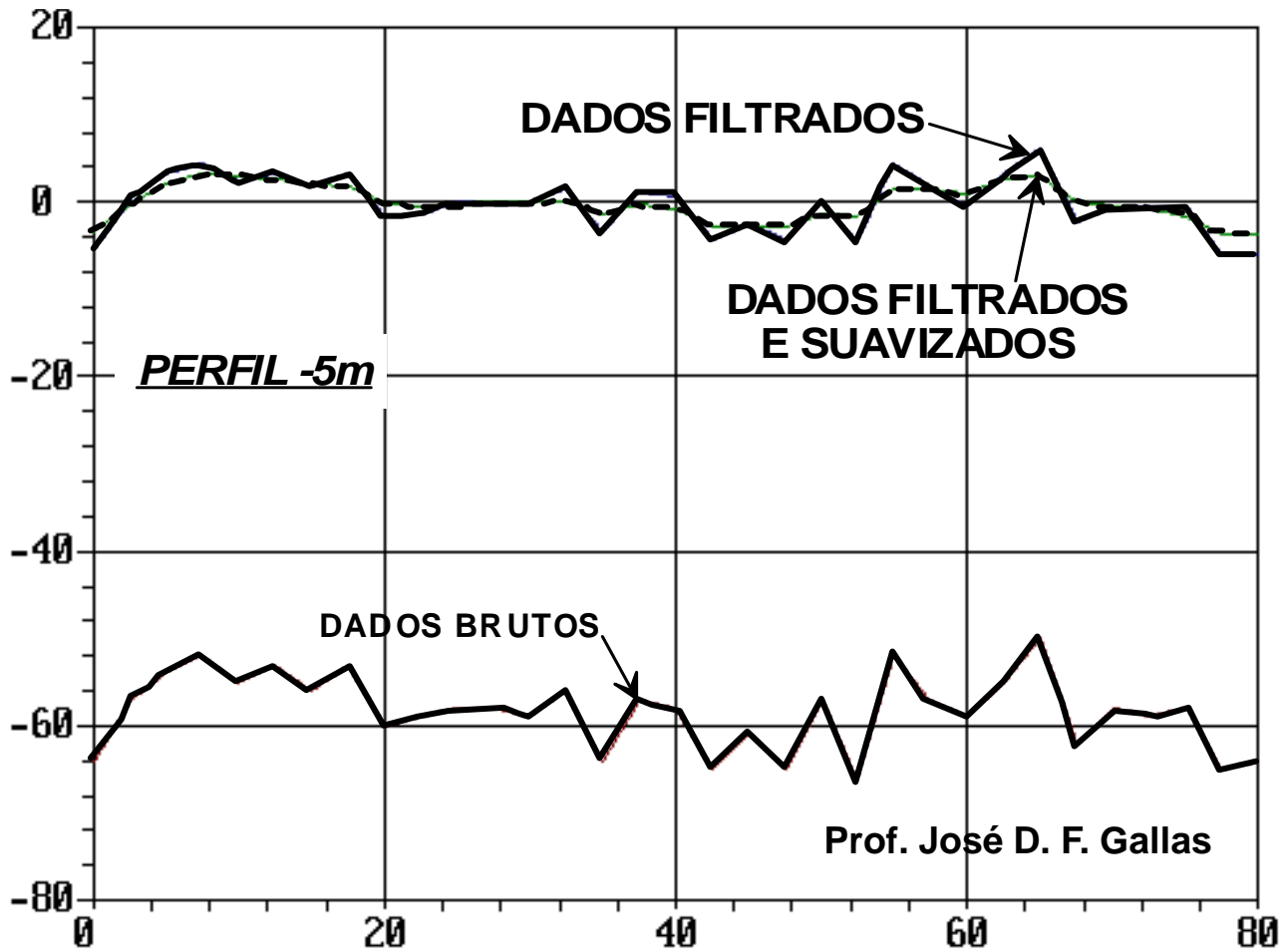
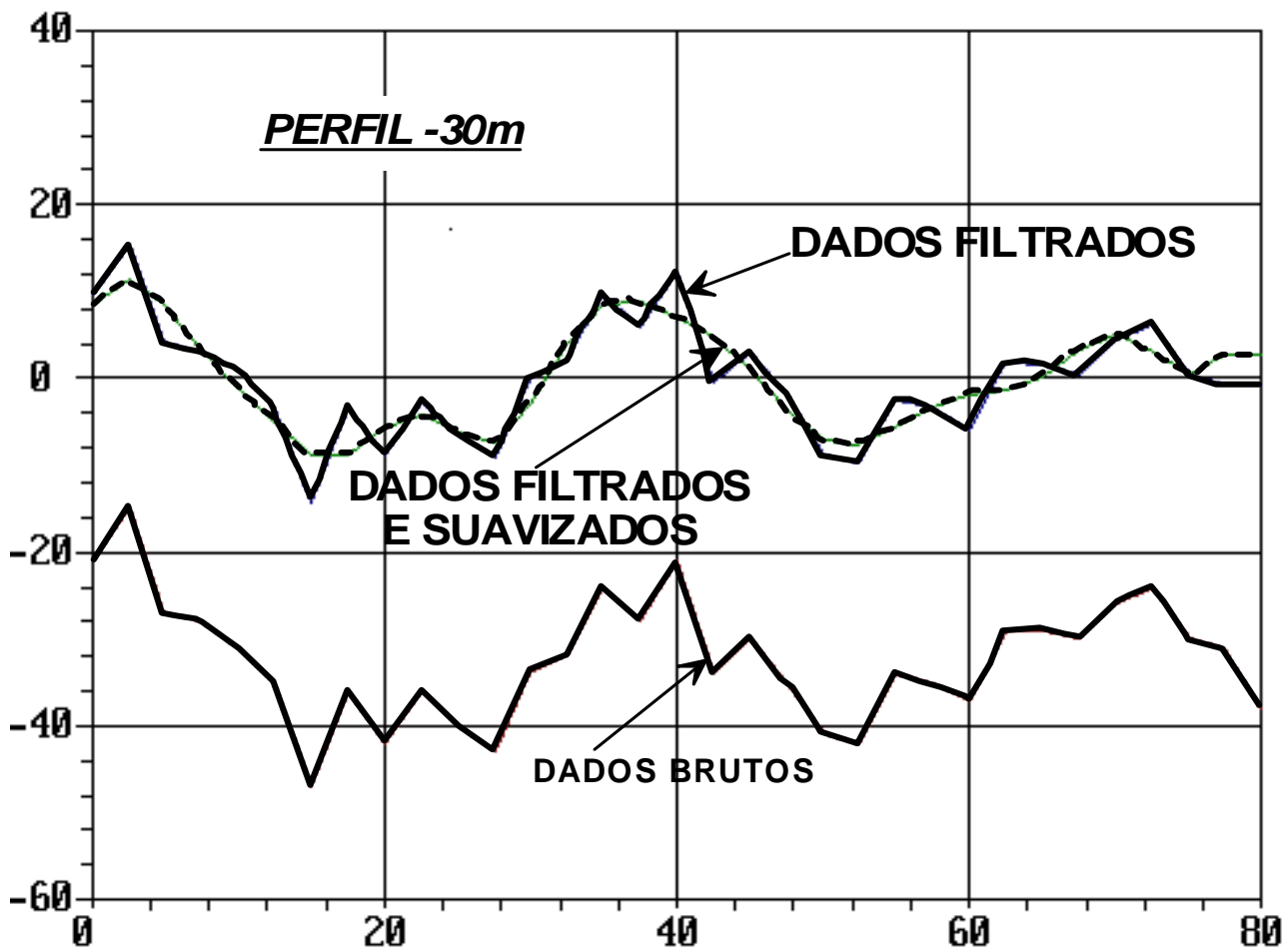
Prof. José D. F. Gallas



Prof. José D. F. Gallas



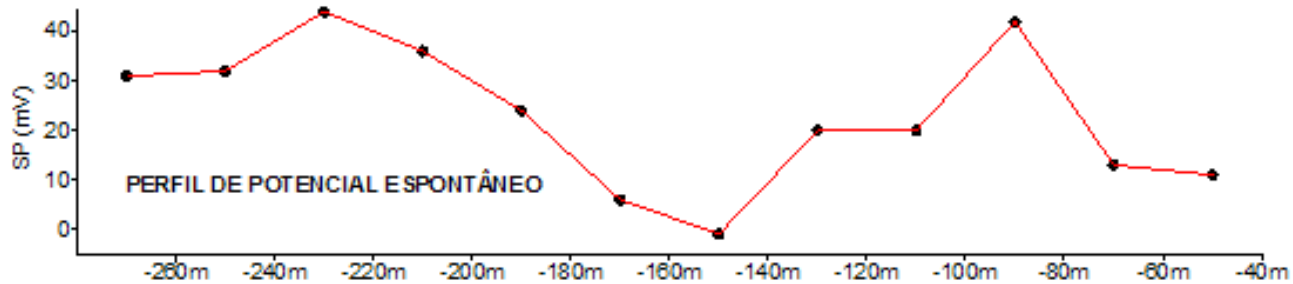
Prof. José D. F. Gallas



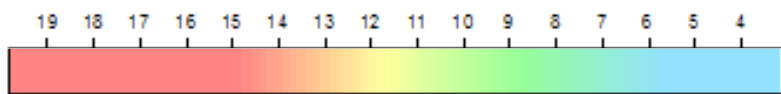
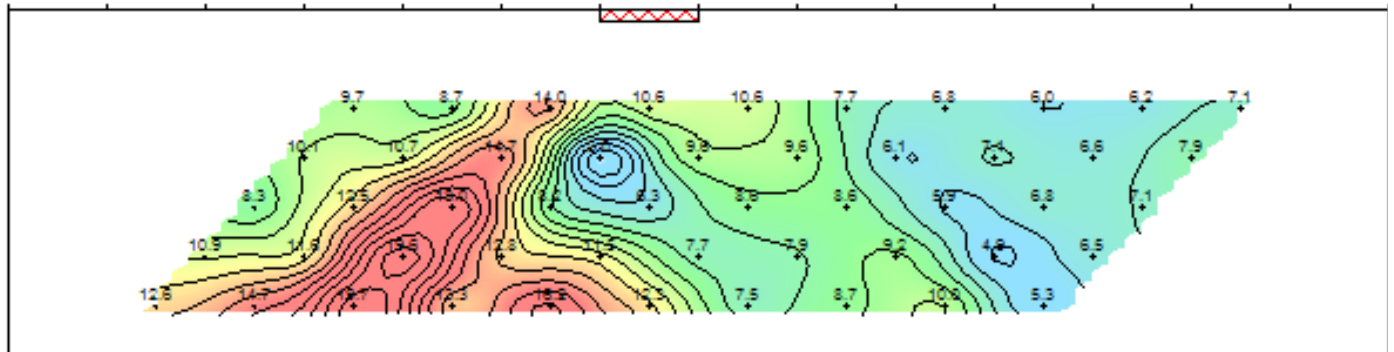
MÉTODOS GEOLÉTRICOS APLICADOS À PROSPECÇÃO MINERAL

PROJETO CAMAQUÃ - JAZIDA SANTA MARIA

LINHA DN1



PSEUDO-SEÇÃO DE CARGABILIDADE APARENTE



ESCALA CROMÁTICA DE CARGABILIDADE (EM mV/V)



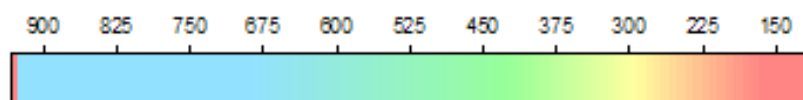
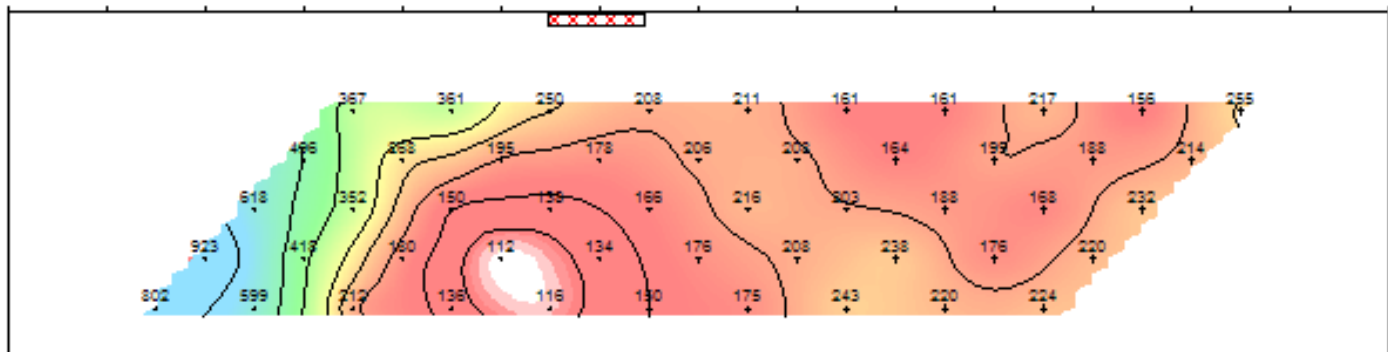
ESCALA

LEGENDA

- PROJEÇÃO NA SUPERFÍCIE DE ANOMALIA DE ALTA CARGABILIDADE OU BAIXA RESISTIVIDADE
- VALOR MEDIDO DE CARGABILIDADE APARENTE E SEU PONTO DE PLOTAGEM.
- VALOR MEDIDO DE RESISTIVIDADE APARENTE E SEU PONTO DE PLOTAGEM.

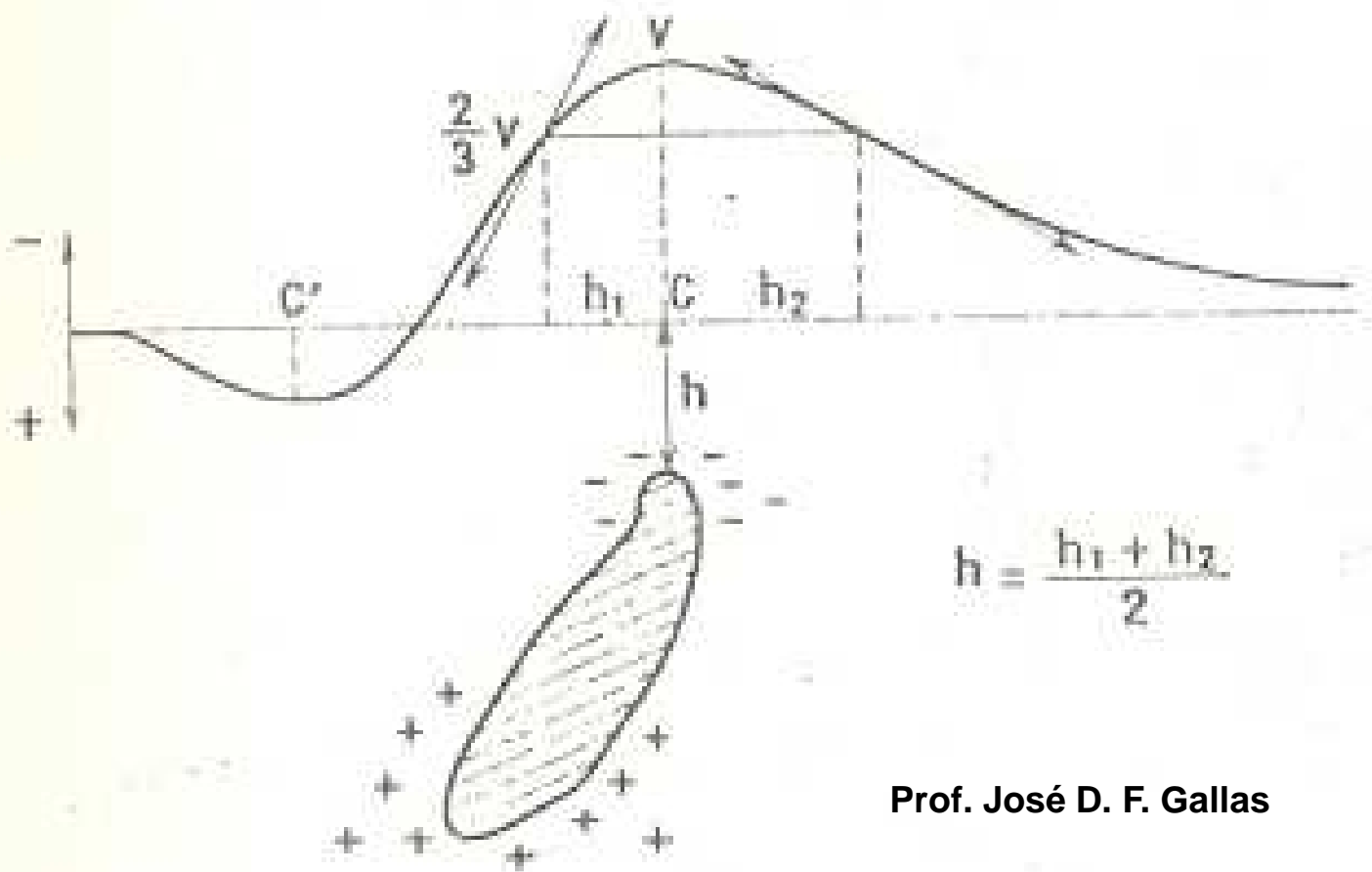
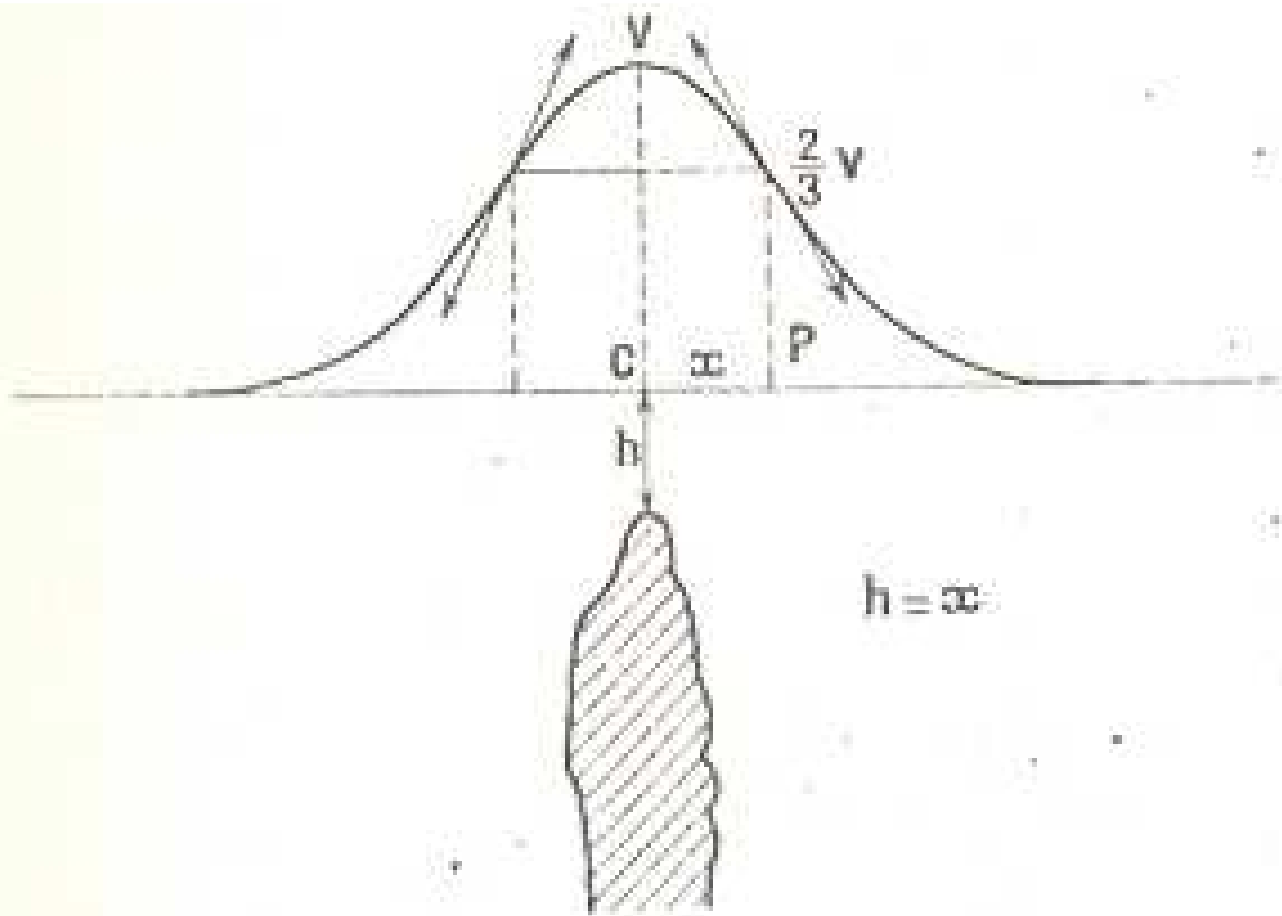
PSEUDO-SEÇÃO DE RESISTIVIDADE APARENTE

-280m -260m -240m -220m -200m -180m -160m -140m -120m -100m -80m -60m -40m -20m 0



ESCALA CROMÁTICA DE RESISTIVIDADE (EM OHM x METRO)

Prof. José D. F. Gallas



Prof. José D. F. Gallas



Prof. José D. F. Gallas



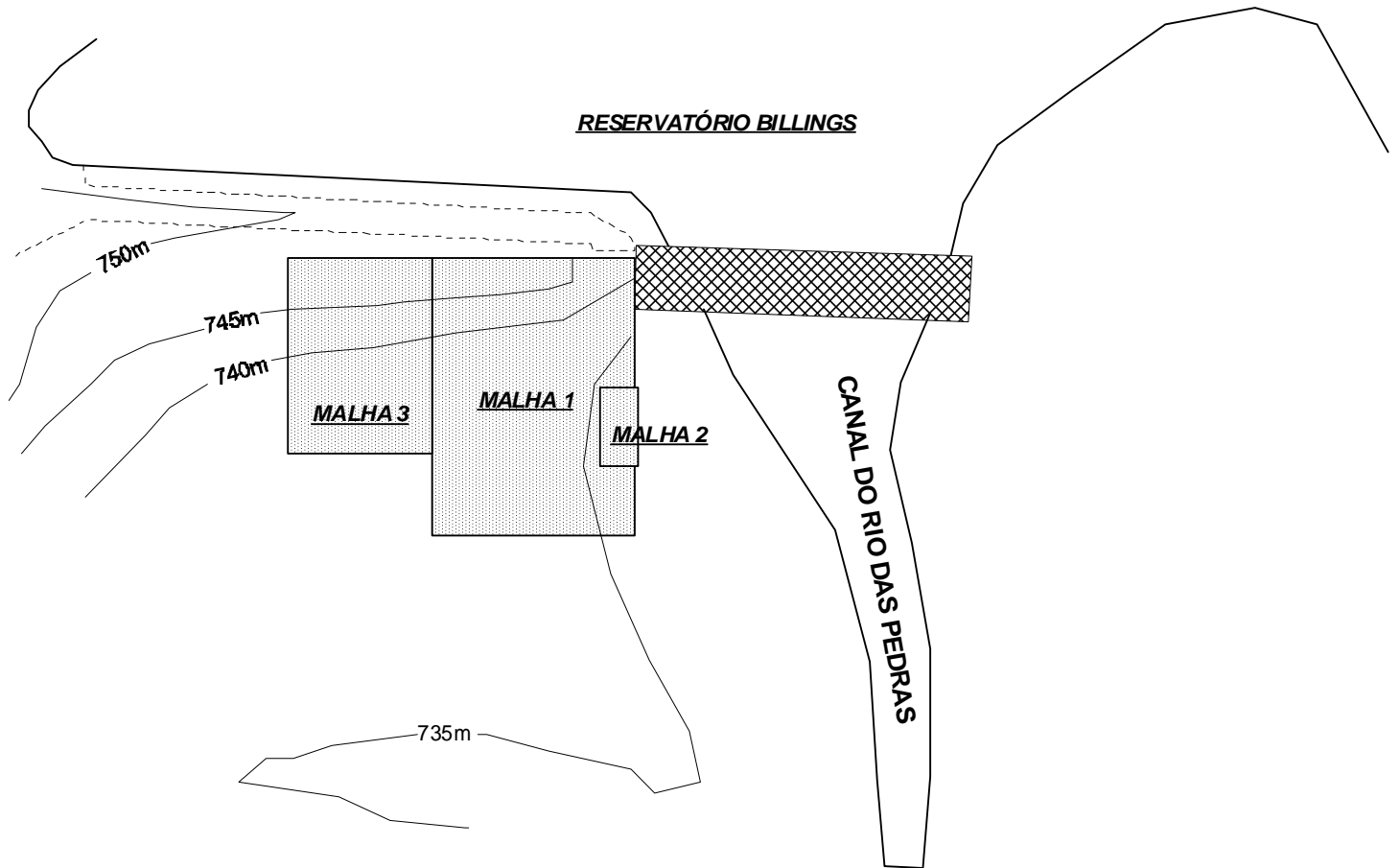
Prof. José D. F. Gallas



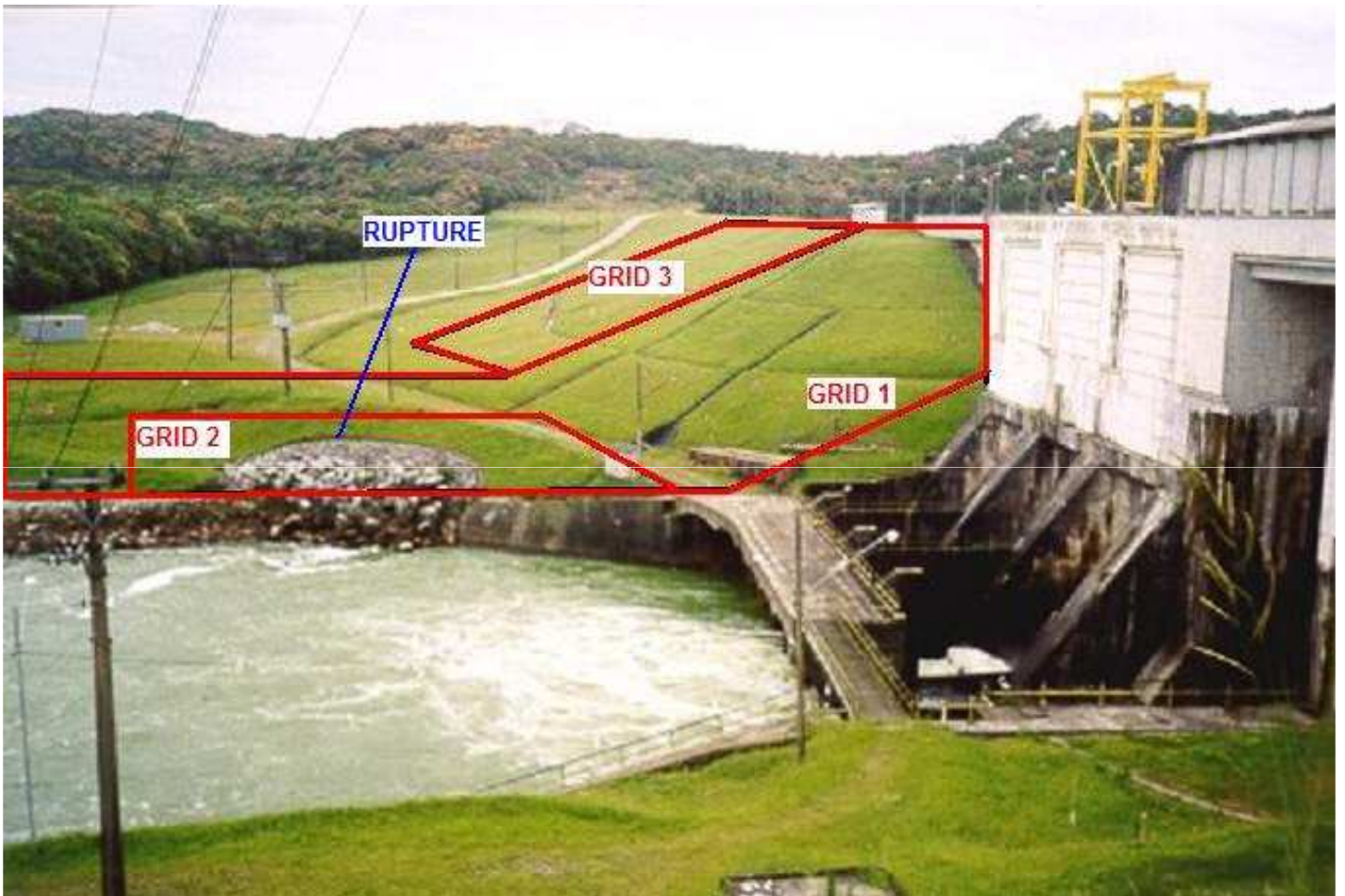
Prof. José D. F. Gallas



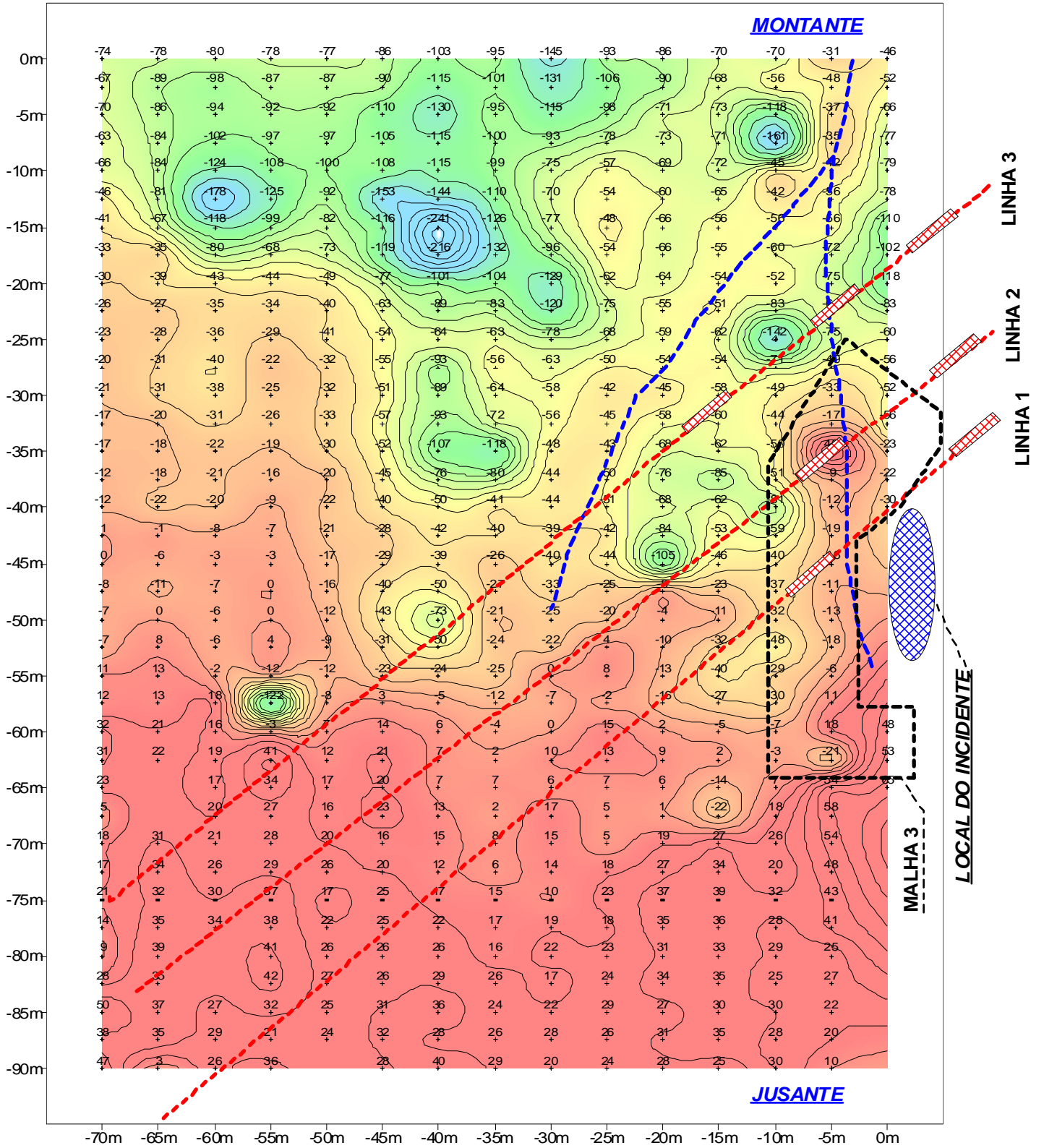
Prof. José D. F. Gallas







Prof. José D. F. Gallas

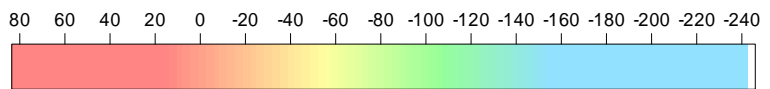


Prof. José D. F. Gallas



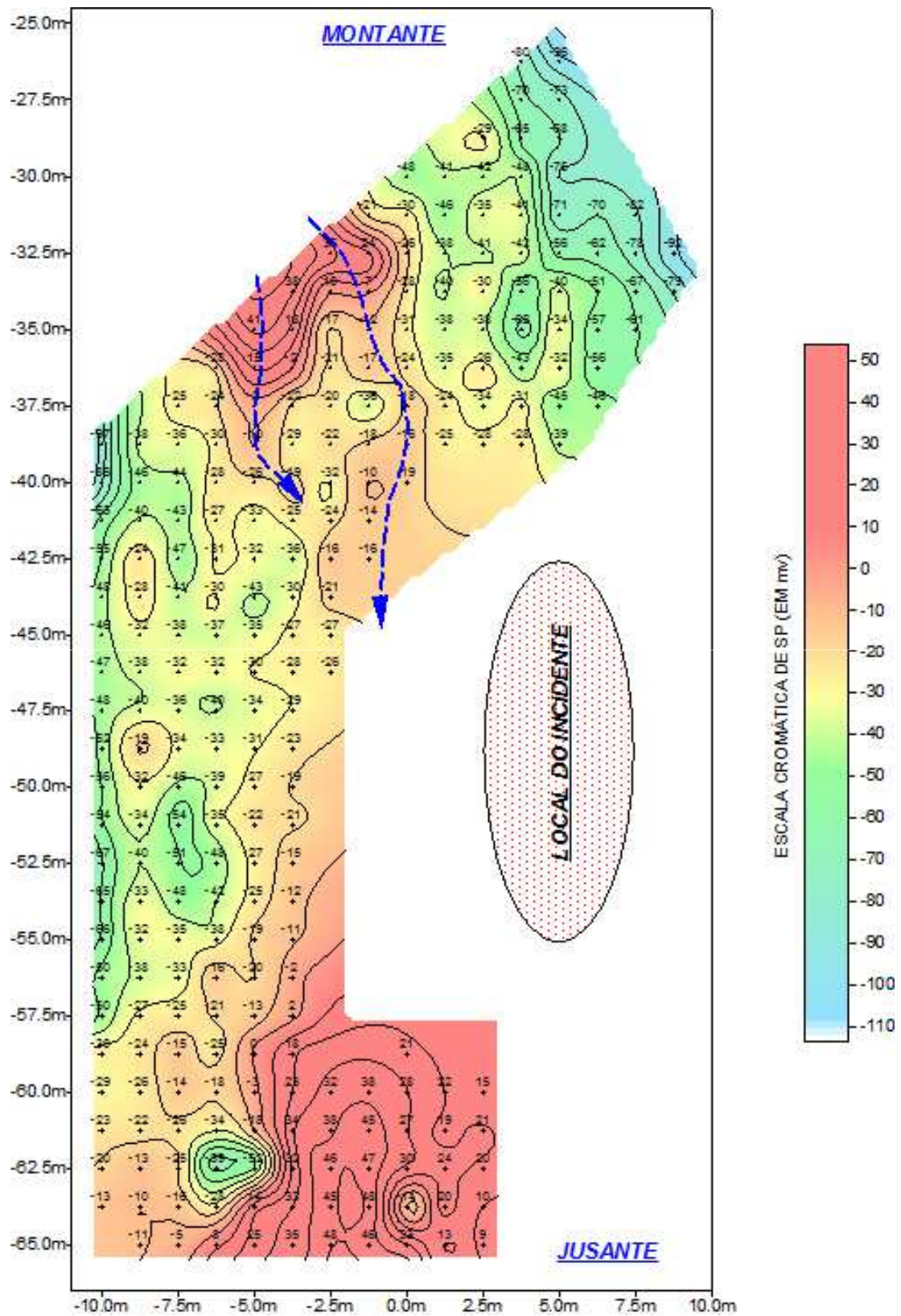
LEGENDA

-  ANOMALIA IPOU RESISTIVIDADE E SUA LOCALIZAÇÃO
-  LINEAMENTO ANÔMALO SP
-  LINHA DE LE VANTAMENTO IP-RESISTIVIDADE
-  VALOR MEDIDO DE SP E SEU PONTO DE PLOTAGEM



ESCALA DE CROMÁTICA DE DADOS DE SP (EM mV)

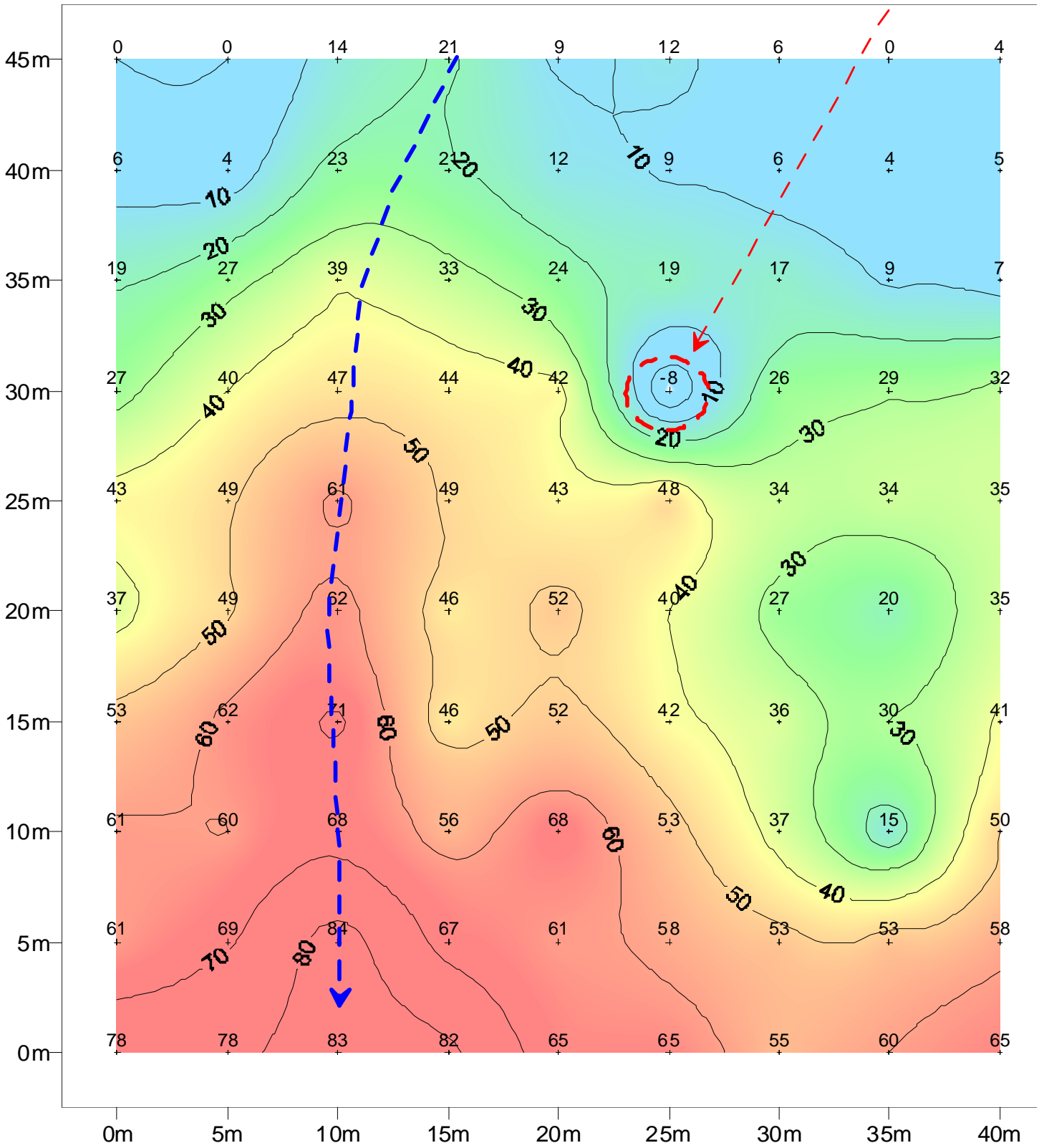
Prof. José D. F. Gallas



Prof. José D. F. Gallas

MAPA DE SP

PIEZÔMETRO





Prof. José D. F. Gallas



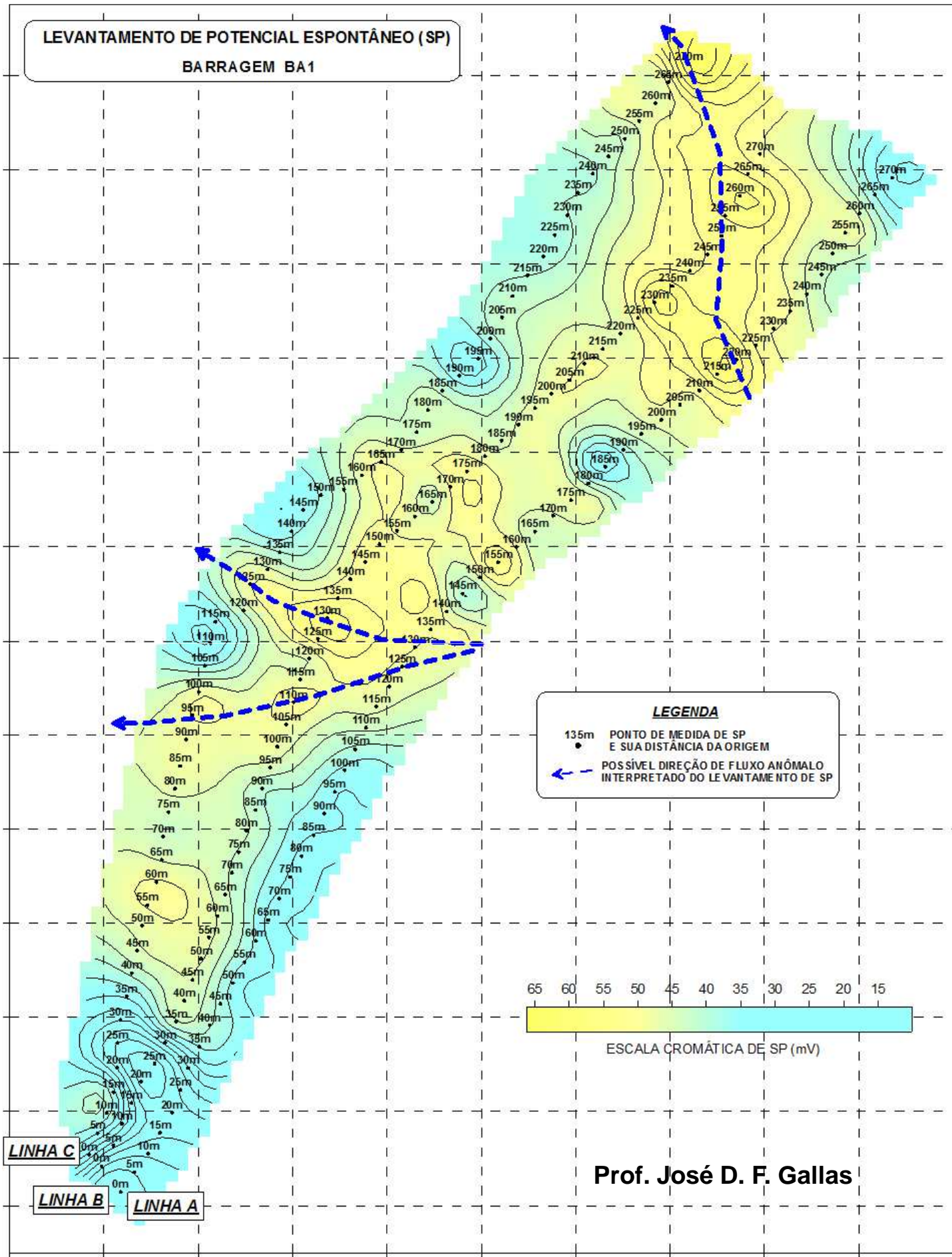


Prof. José D. F. Gallas



Prof. José D. F. Gallas

**LEVANTAMENTO DE POTENCIAL ESPONTÂNEO (SP)
BARRAGEM BA1**



LEGENDA

- PUNTO DE MEDIDA DE SP E SUA DISTANCIA DA ORIGEM
- ← POS SÍVEL DIREÇÃO DE FLUXO ANÔMALO INTERPRETADO DO LEVANTAMENTO DE SP



LINHA C

LINHA B **LINHA A**

Prof. José D. F. Gallas

**IMAGEM GOOGLE EARTH E
CURVAS DE ISOVALORES DE SP
BARRAGEM BA1**

LEGENDA

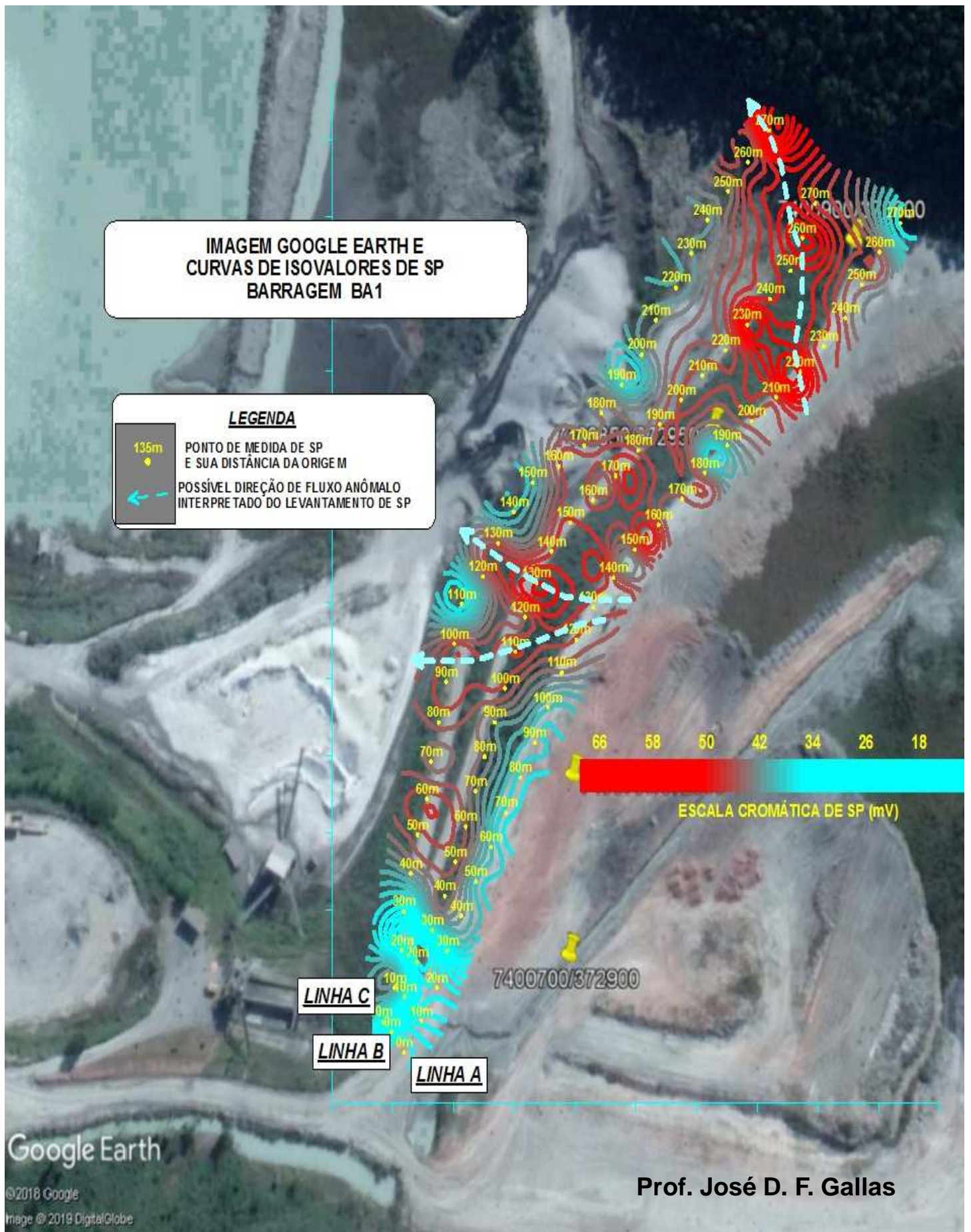
135m



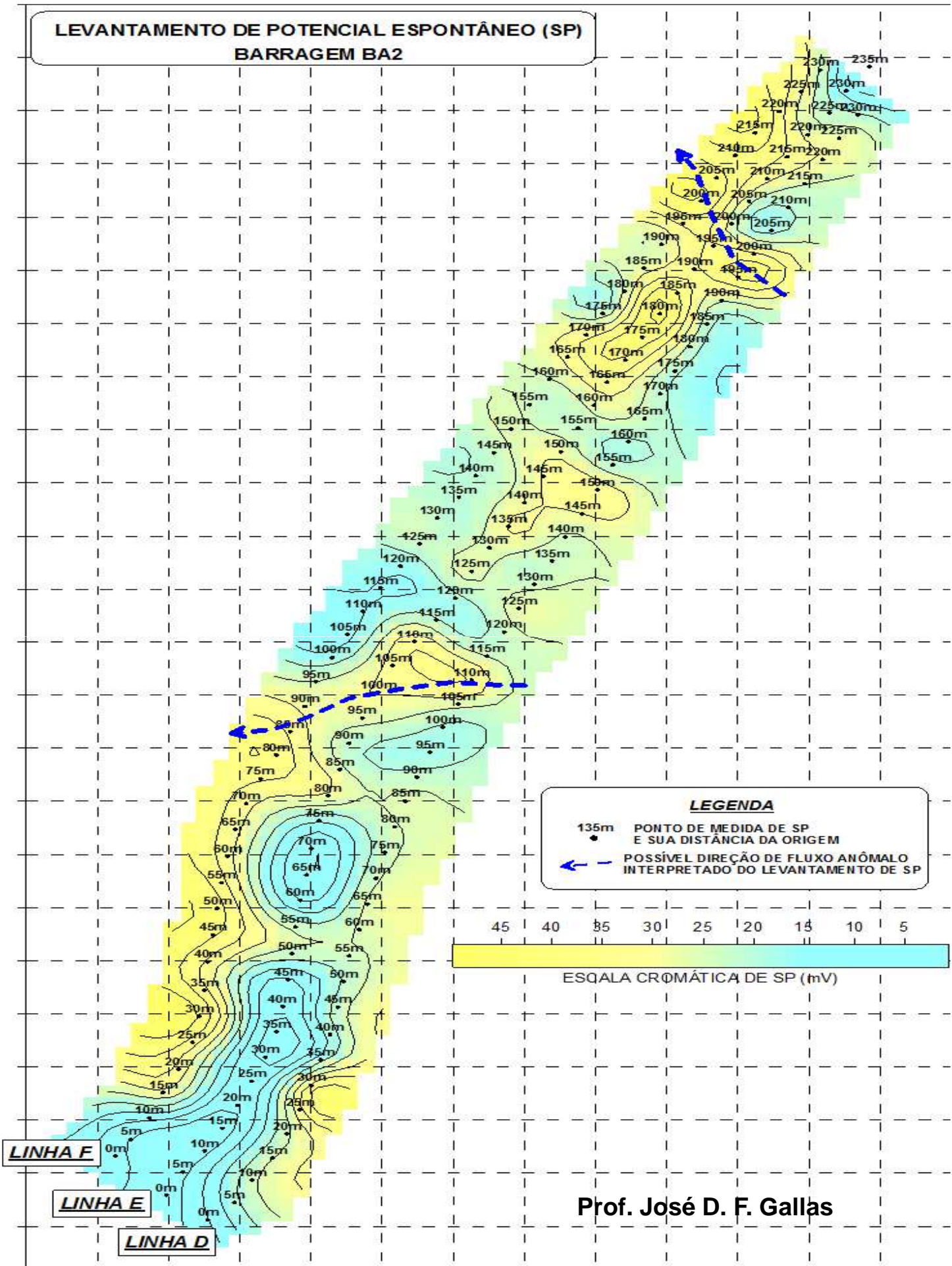
PONTO DE MEDIDA DE SP
E SUA DISTÂNCIA DA ORIGEM



POSSÍVEL DIREÇÃO DE FLUXO ANÔMALO
INTERPRETADO DO LEVANTAMENTO DE SP



**LEVANTAMENTO DE POTENCIAL ESPONTÂNEO (SP)
BARRAGEM BA2**



LEGENDA

- 135m ● PONTO DE MEDIDA DE SP E SUA DISTÂNCIA DA ORIGEM
- ← POSSÍVEL DIREÇÃO DE FLUXO ANÔMALO INTERPRETADO DO LEVANTAMENTO DE SP

45 40 35 30 25 20 15 10 5

ESCALA CRÔMATICA DE SP (mV)

LINHA F

LINHA E

LINHA D

Prof. José D. F. Gallás

**IMAGEM GOOGLE EARTH E
CURVAS DE ISOVALORES DE SP
BARRAGEM BA2**

LEGENDA

135m

PONTO DE MEDIDA DE RESISTIVIDADE
E SUA DISTÂNCIA DA ORIGEM



POSSÍVEL DIREÇÃO DE FLUXO ANÔMALO
INTERPRETADO DO LEVANTAMENTO DE SP

LINHA F

LINHA E

LINHA D

45 39 33 27 21 15 9 3

ESCALA CROMÁTICA DE SP (mV)

Google Earth

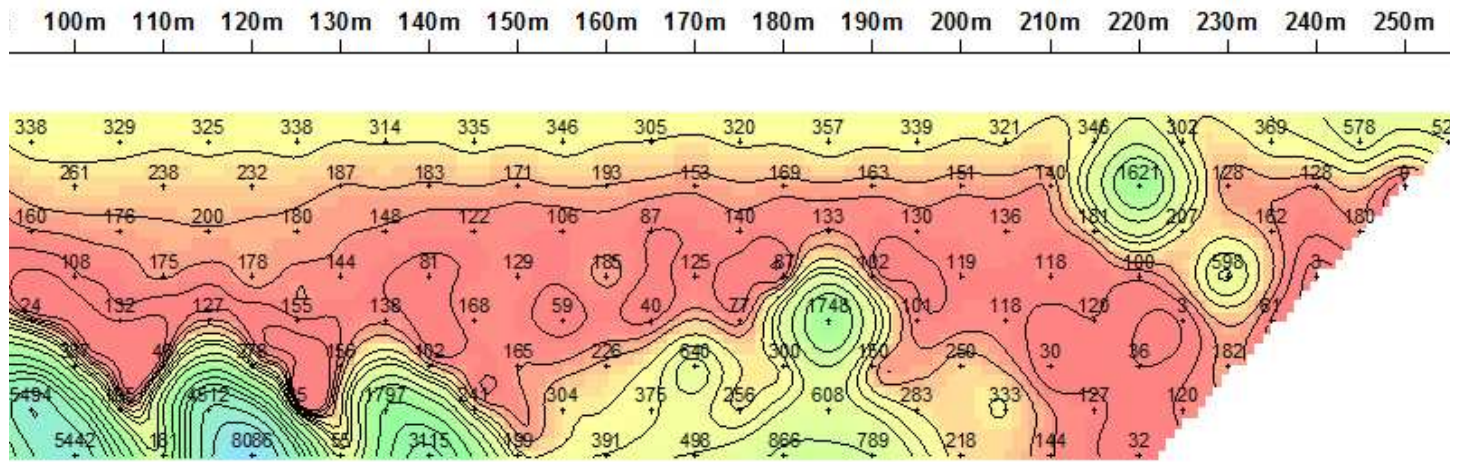
© 2016 Google
Imagem © 2019 DigitalGlobe

Prof. José D. F. Gallas

DE ELETRORRESISTIVIDADE - DIPOLO-DIPOLO - AB = MN = 10m

BARRAGEM BA1 - LINHA A

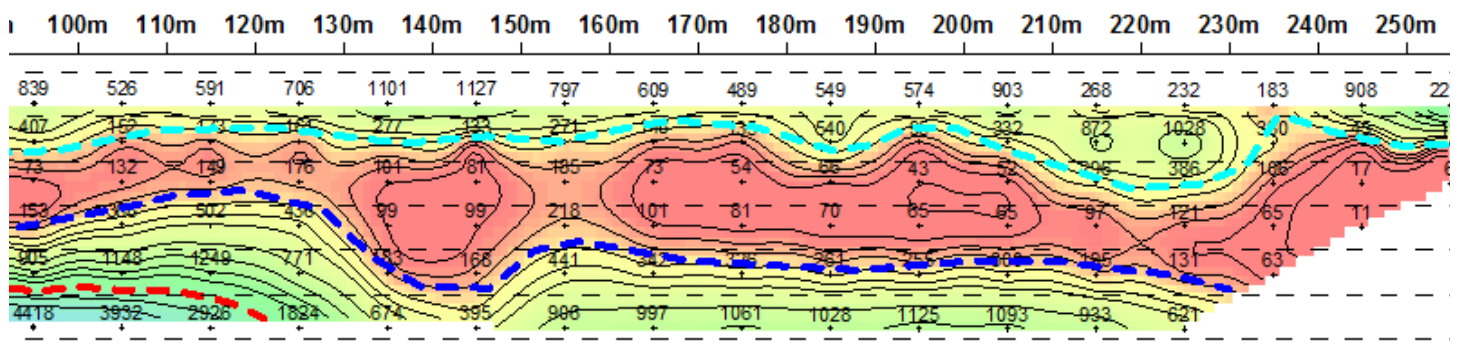
PSEUDO-SEÇÃO DE RESISTIVIDADE APARENTE



LEGENDA

- 135 VALOR MEDIDO / MODELADO DE RESISTIVIDADE E SEU PONTO DE PLOTAGEM
- + LIMITE ENTRE MATERIAL MAIS FINO E NÍVEL DE BLOCOS/MATAÇÕES (ENROCAMENTO)
- - - PROVÁVEL LIMITE ENTRE MATERIAL SECO/POUCO SATURADO E SATURADO
- - - LIMITE ENTRE TERRENO NATURAL E MACIÇO DA BARRAGEM (INTERPRETADO)

SEÇÃO MODELADA DE RESISTIVIDADE



Prof. José D. F. Gallas



Prof. José D. F. Gallas



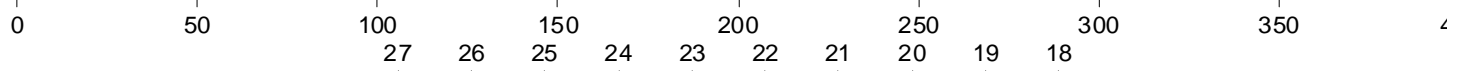
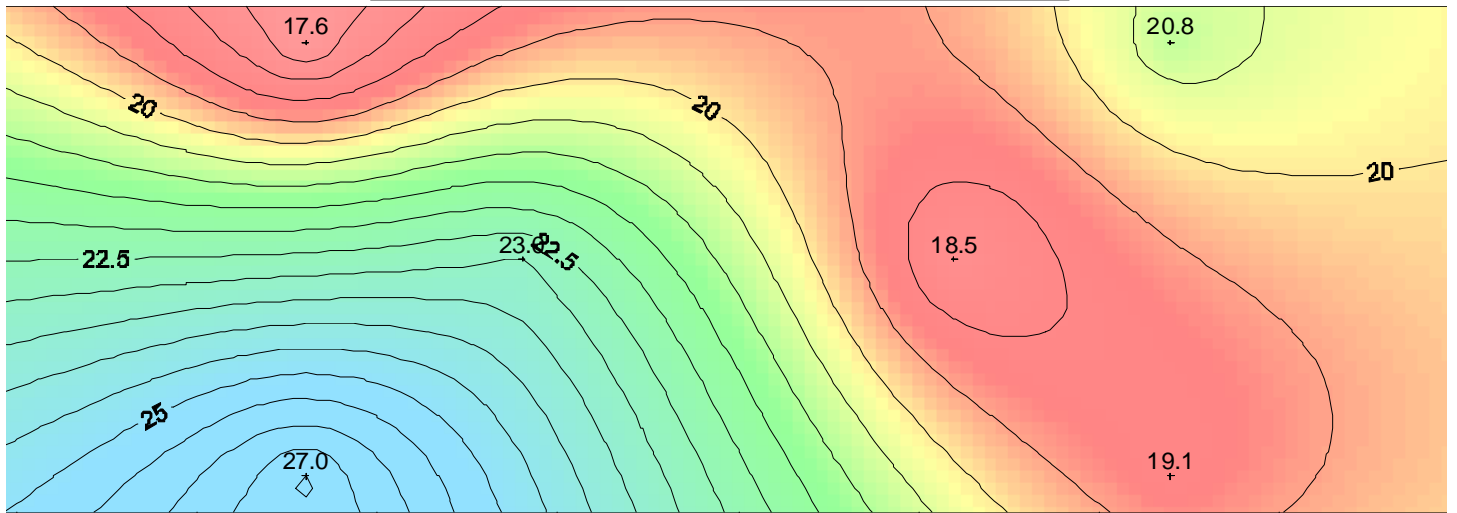
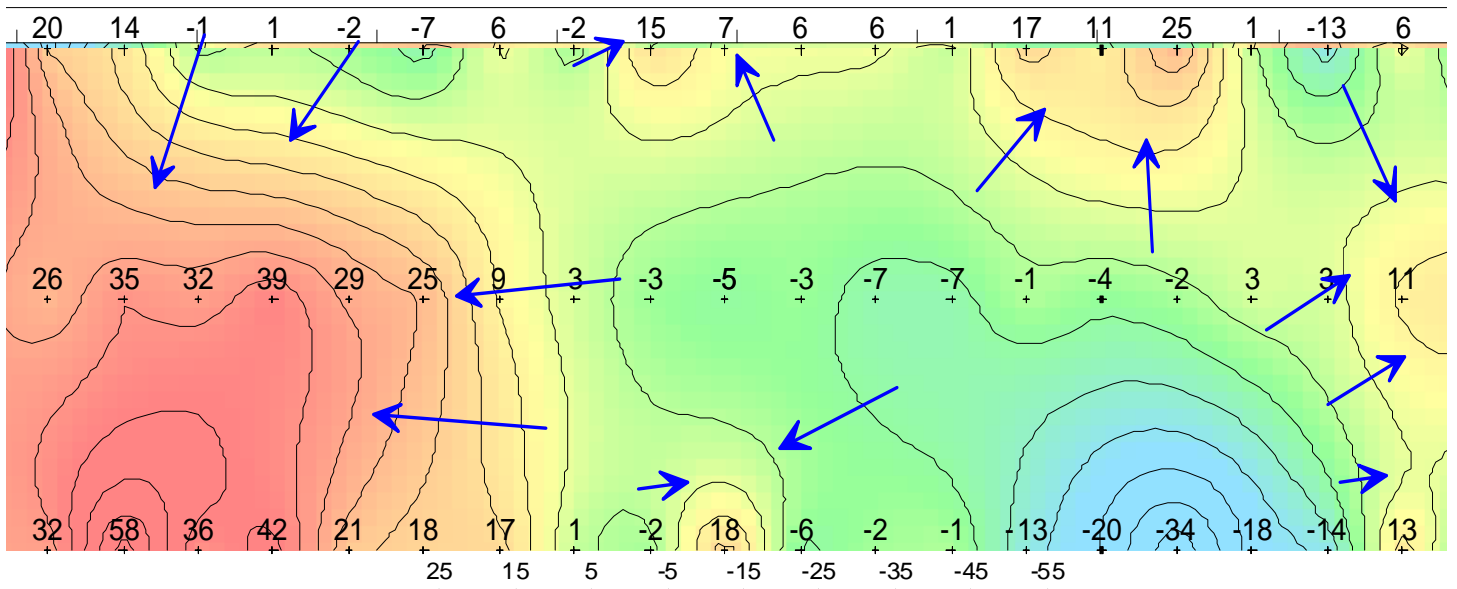
Prof. José D. F. Gallas



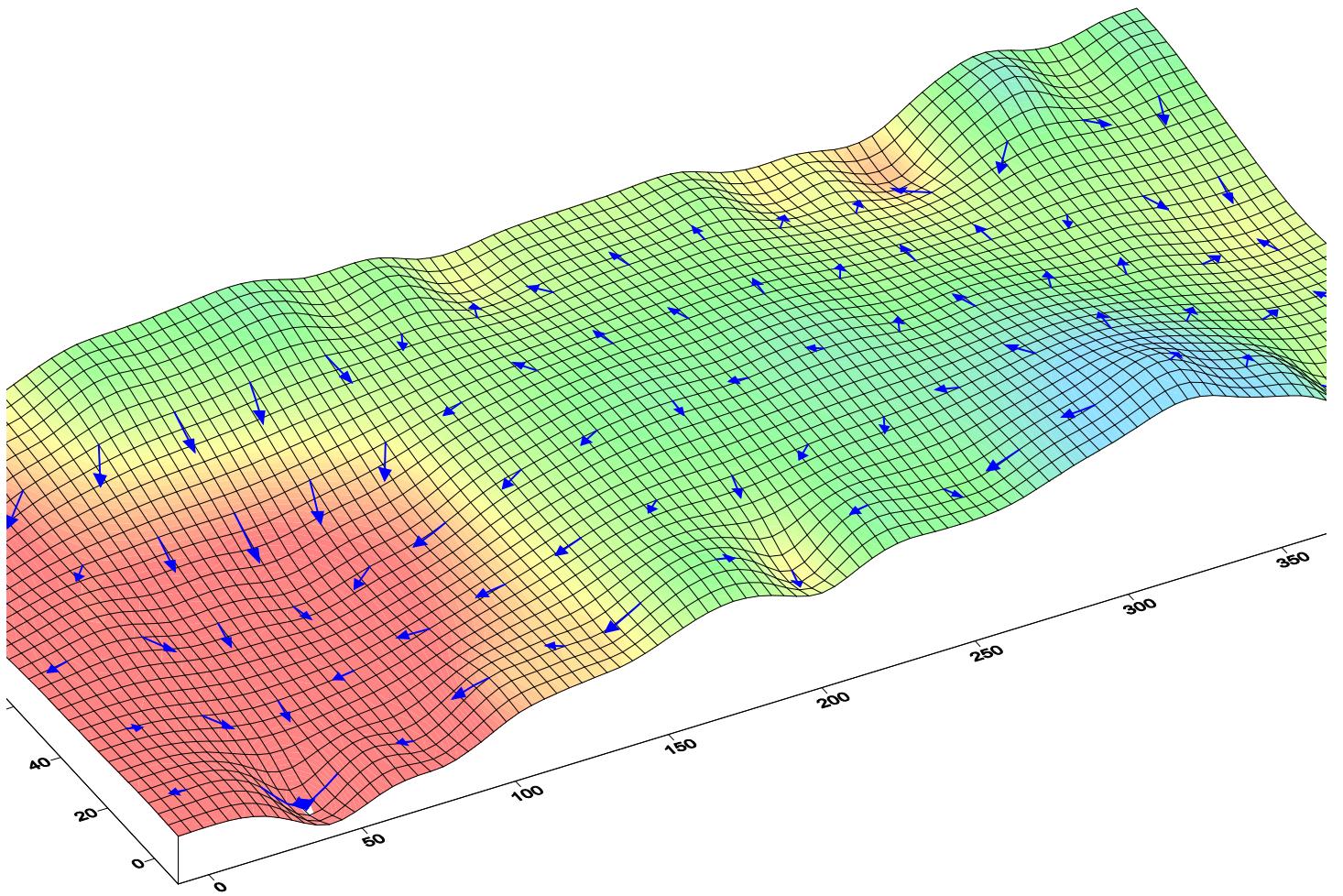
Prof. José D. F. Gallas



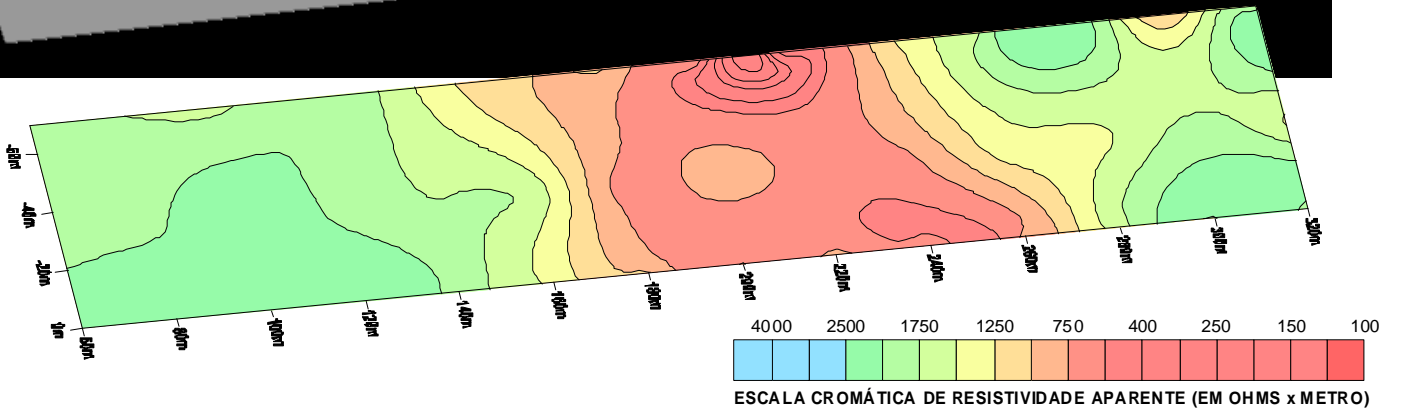
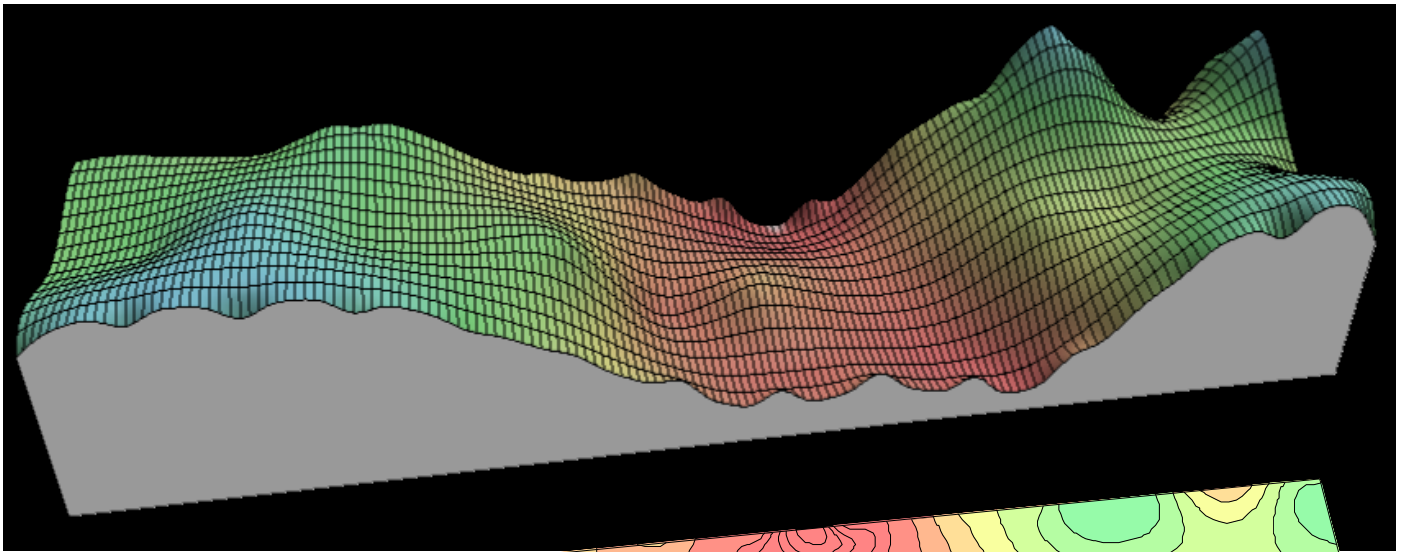
POTENCIAL ESPONTÂNEO (SP)

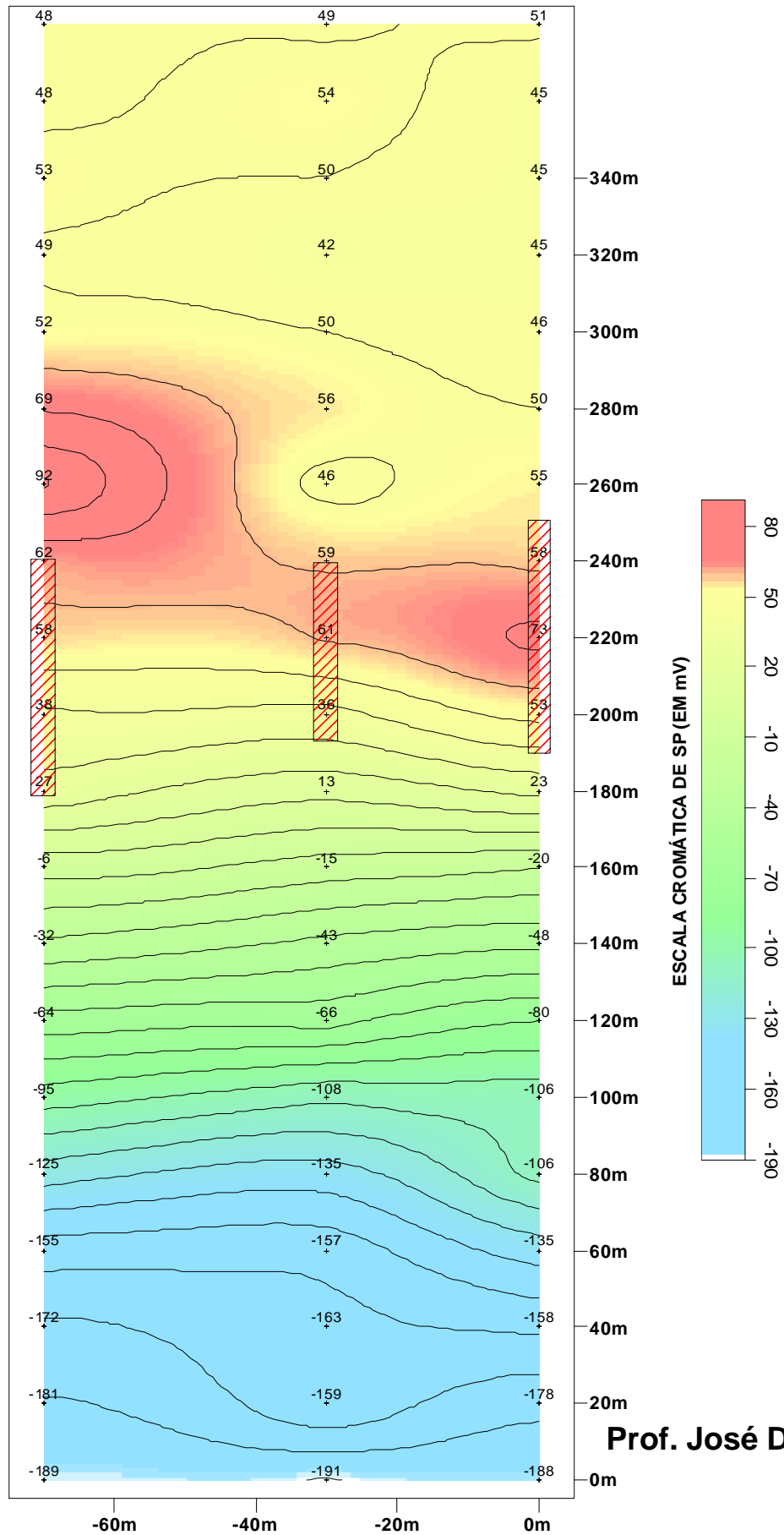


Prof. José D. F. Gallas

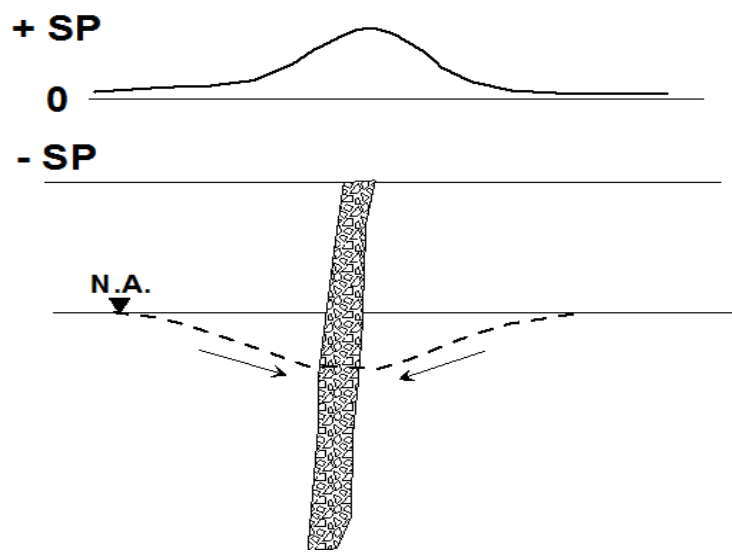
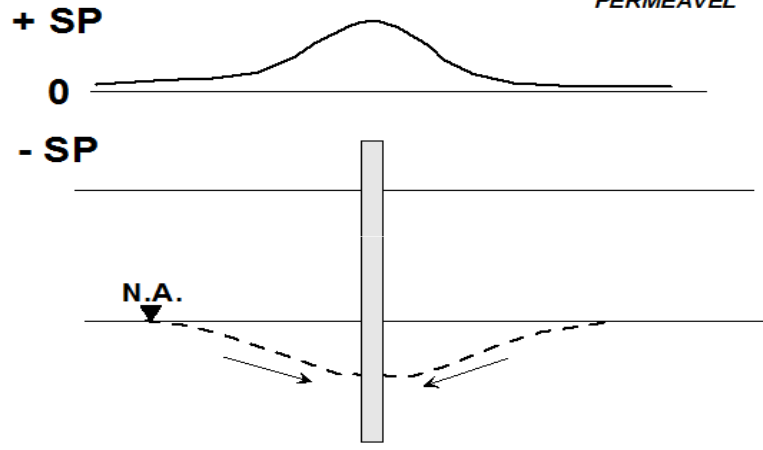
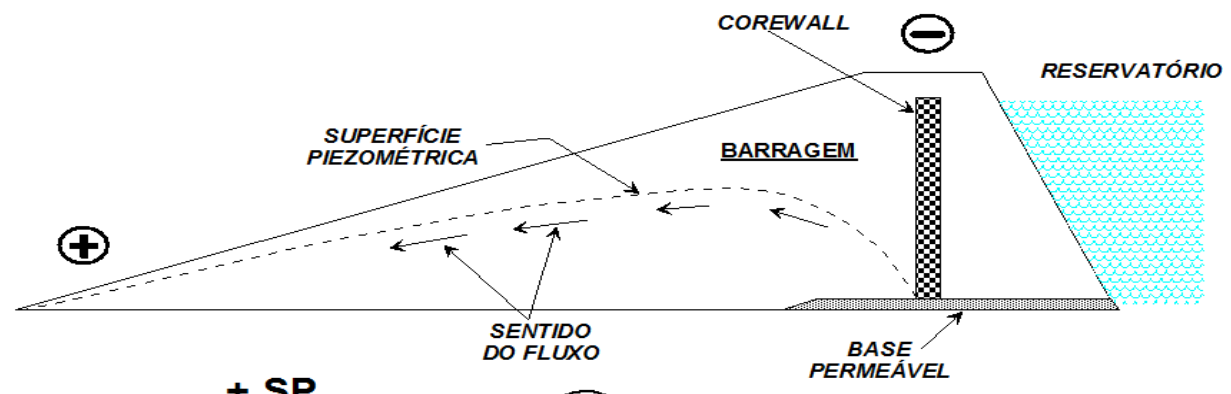
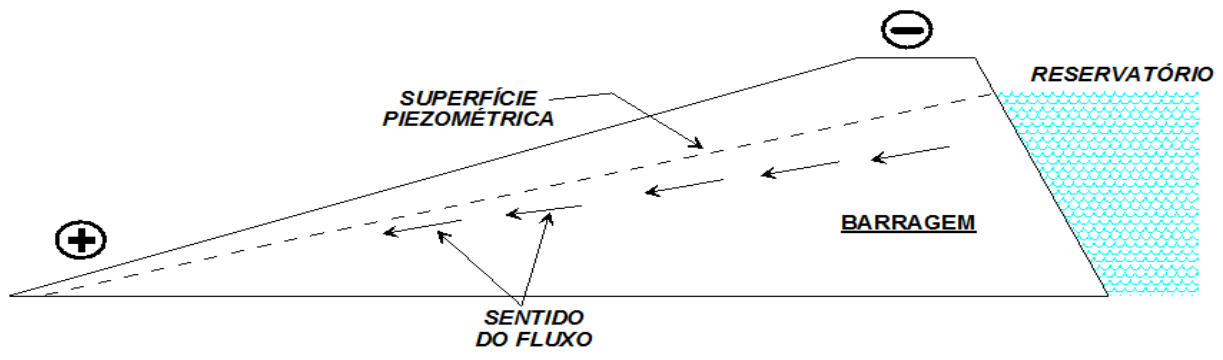


Prof. José D. F. Gallas



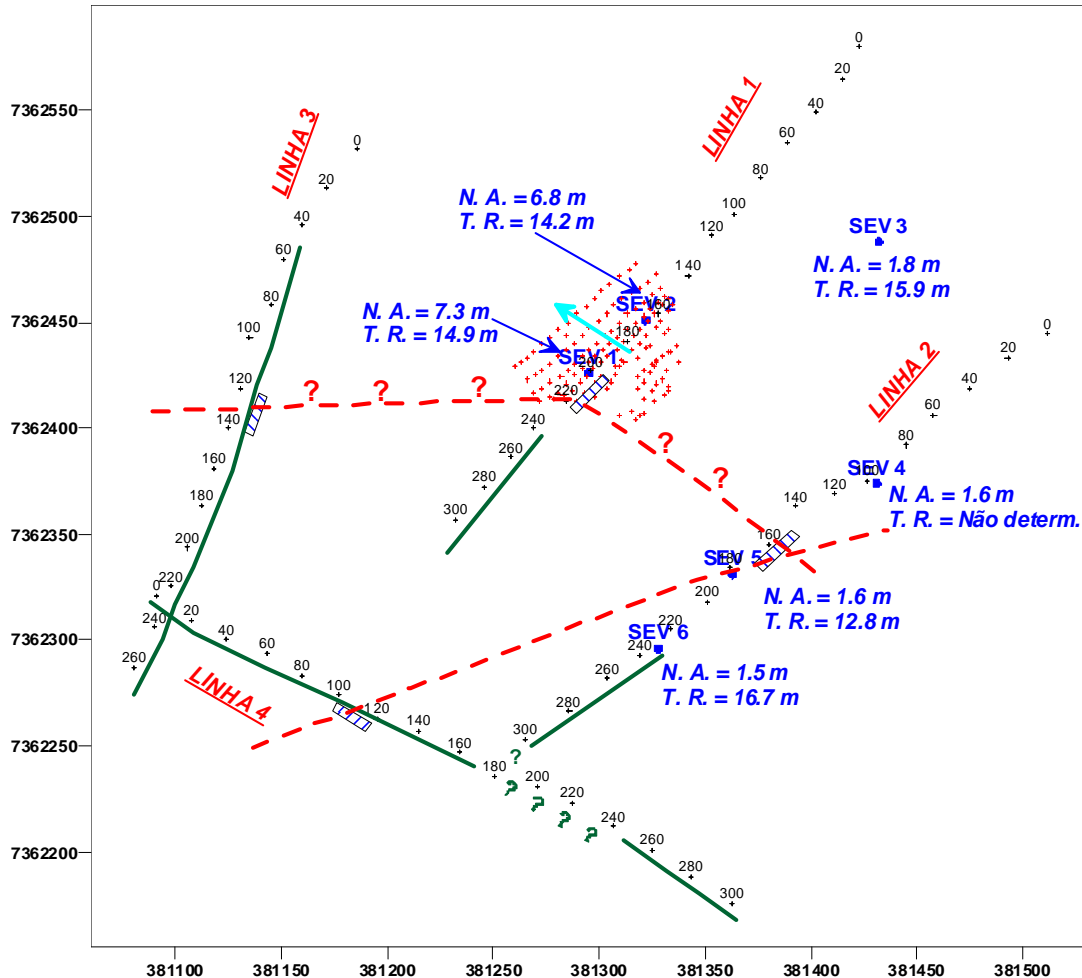


Prof. José D. F. Gallas



Prof. José D. F. Gallas

OBRA: ATERRO SANTÁRIO DE BERTIOGA
MAPA SÍNTESE E INTERPRETAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS



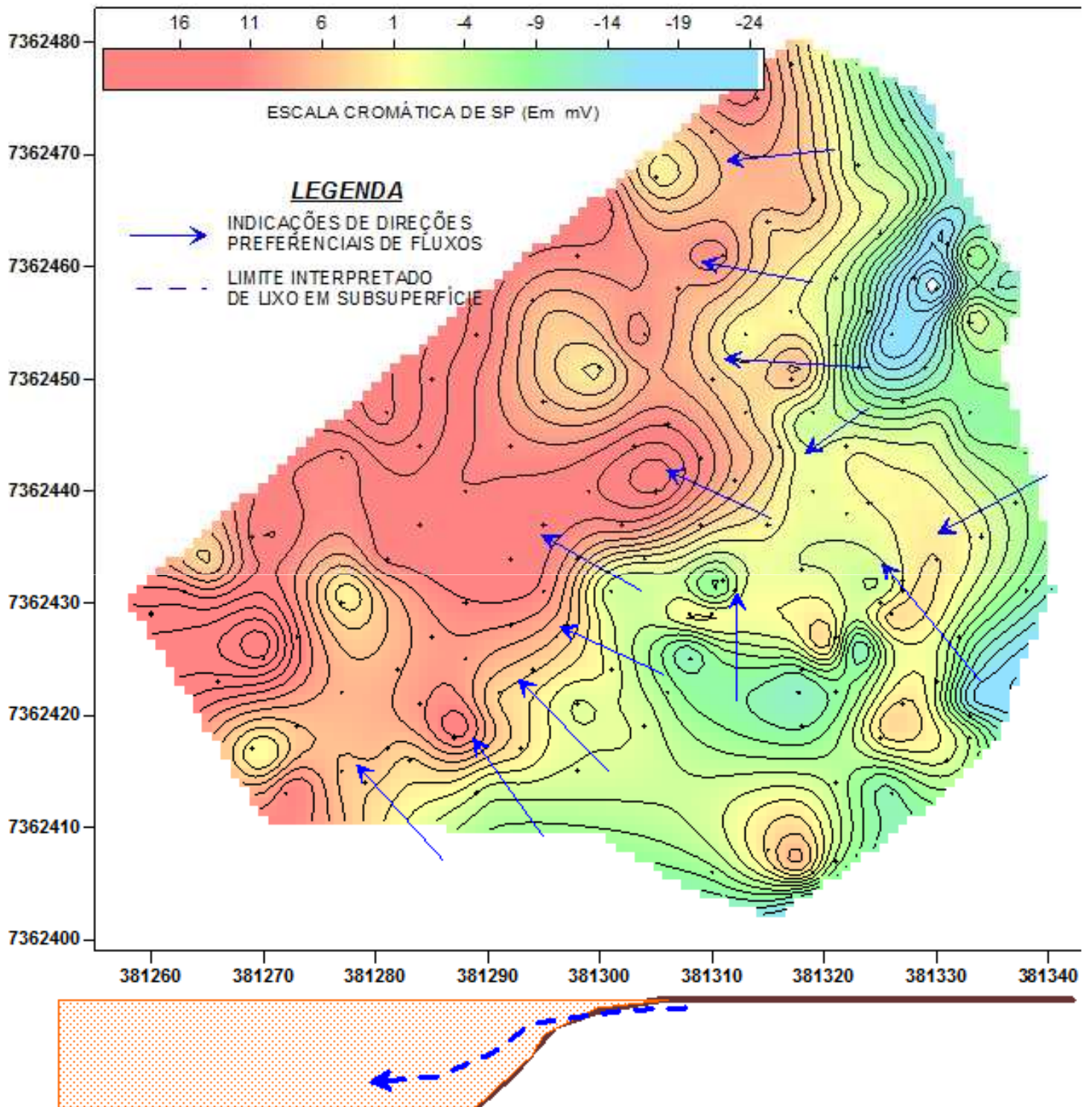
LEGENDA

- SEV 2 LOCAL SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL
- 80+ PONTO DE MEDIDA DE CAMINHAMENTO ELÉTRICO
- + MALHA DE SP / PONTO DE MEDIDA
- DIREÇÃO GENÉRICA DOS FLUXOS (NA ÁREA DO LEVANTAMENTO SP)
- ANOMALIA DE RESISTIVIDADE RELACIONADA A FRATURAMENTO(S)
- ALINHAMENTO FRATURADO INTERPRETADO
- ANOMALIA DE RESISTIVIDADE ASSOCIADA À CONTAMINAÇÃO POR CHORUME
- N. A. PROFUNDIDADE DO NÍVEL D' ÁGUA
- T. R. PROFUNDIDADE DO TOPO ROCHOSO

FIGURA 5 - MAPA SÍNTESE E INTERPRETAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS.

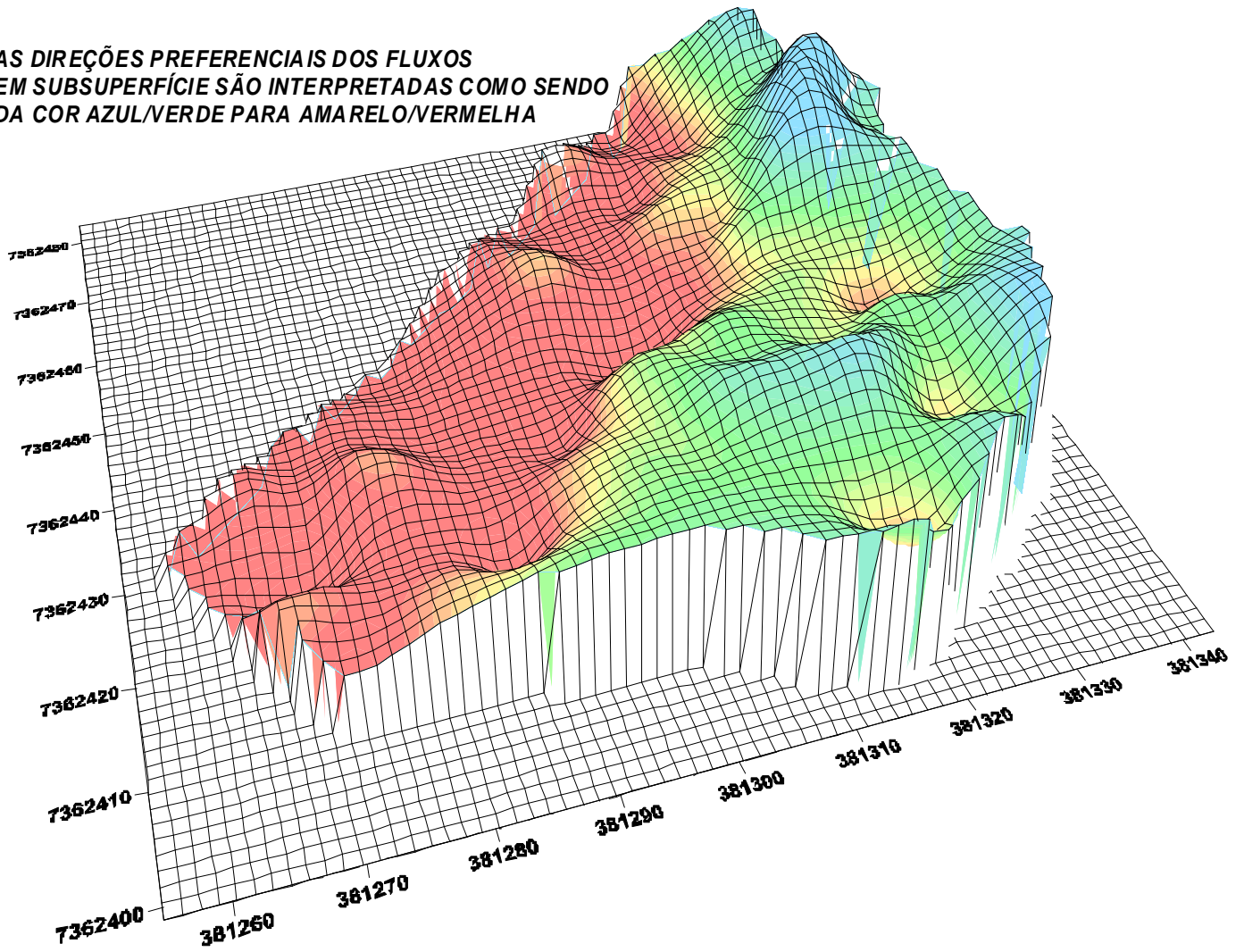
ATERRO SANITÁRIO DE BERTIOGA

MAPA DE POTENCIAL ESPONTÂNEO (SP)



SIMULAÇÃO TRIDIMENSIONAL DO POTENCIAL ESPONTÂNEO

**AS DIREÇÕES PREFERENCIAIS DOS FLUXOS
EM SUBSUPERFÍCIE SÃO INTERPRETADAS COMO SENDO
DA COR AZUL/VERDE PARA AMARELO/VERMELHA**



Prof. José D. F. Gallas



Prof. José D. F. Gallas

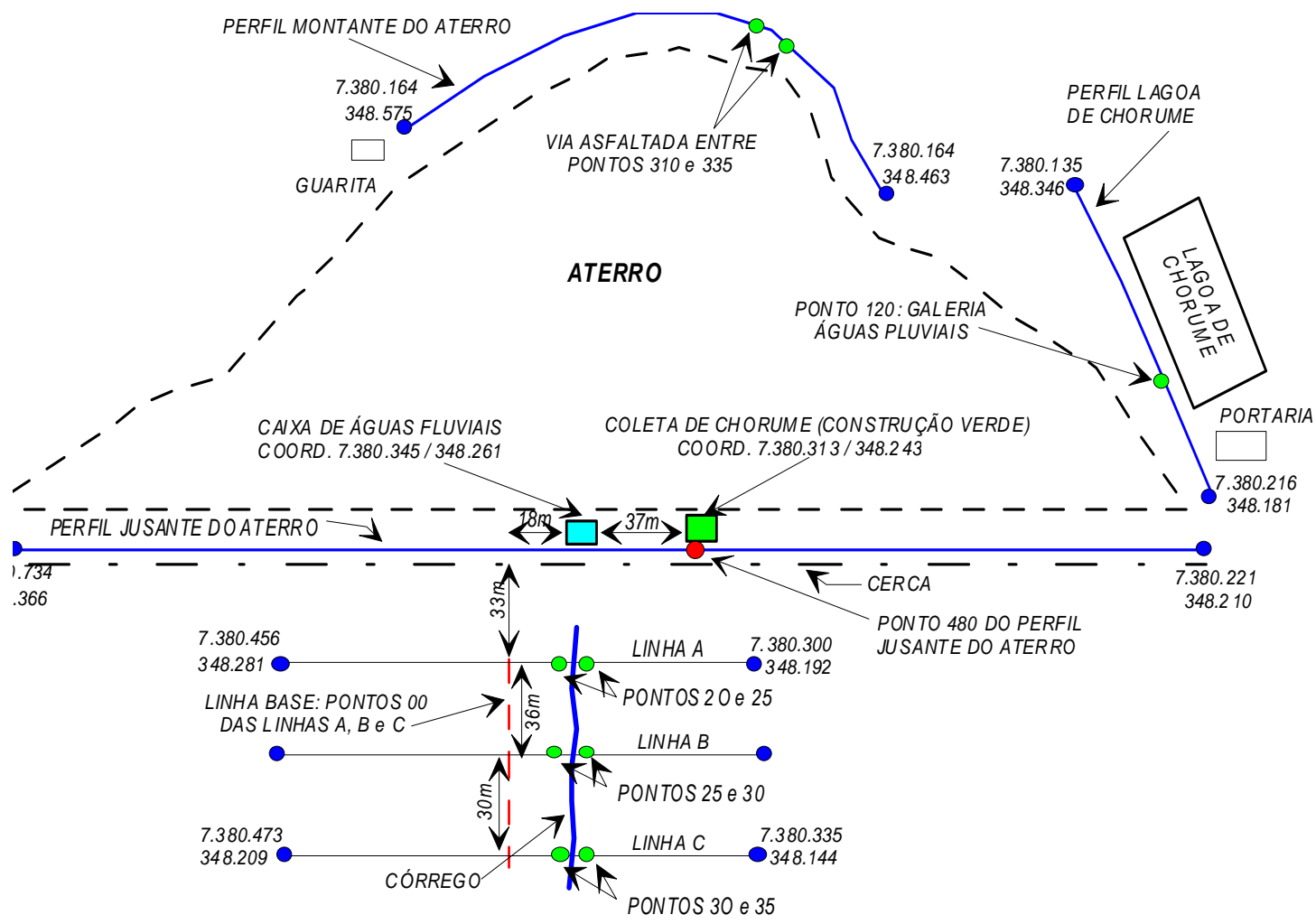
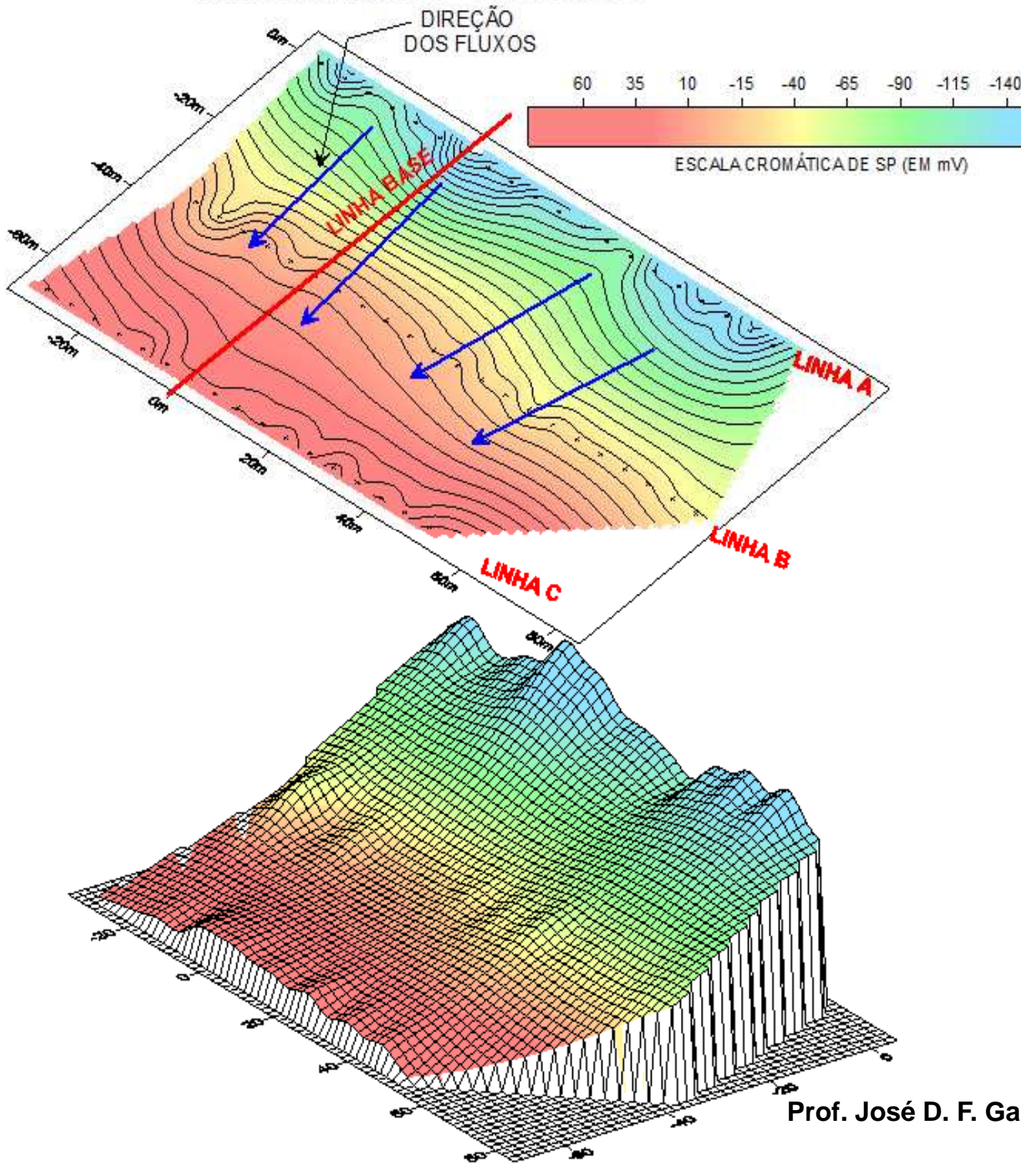


FIGURA 4 - CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS.

Prof. José D. F. Gallas

ATERRO SANITÁRIO DE SANTO ANDRÉ
ÁREA A JU SANTE DO ATERRO
LEVANTAMENTO DE POTENCIAL ESPONTÂNEO (SP)
MAPA E SIMULAÇÃO 3-D - DADOS BRUTOS



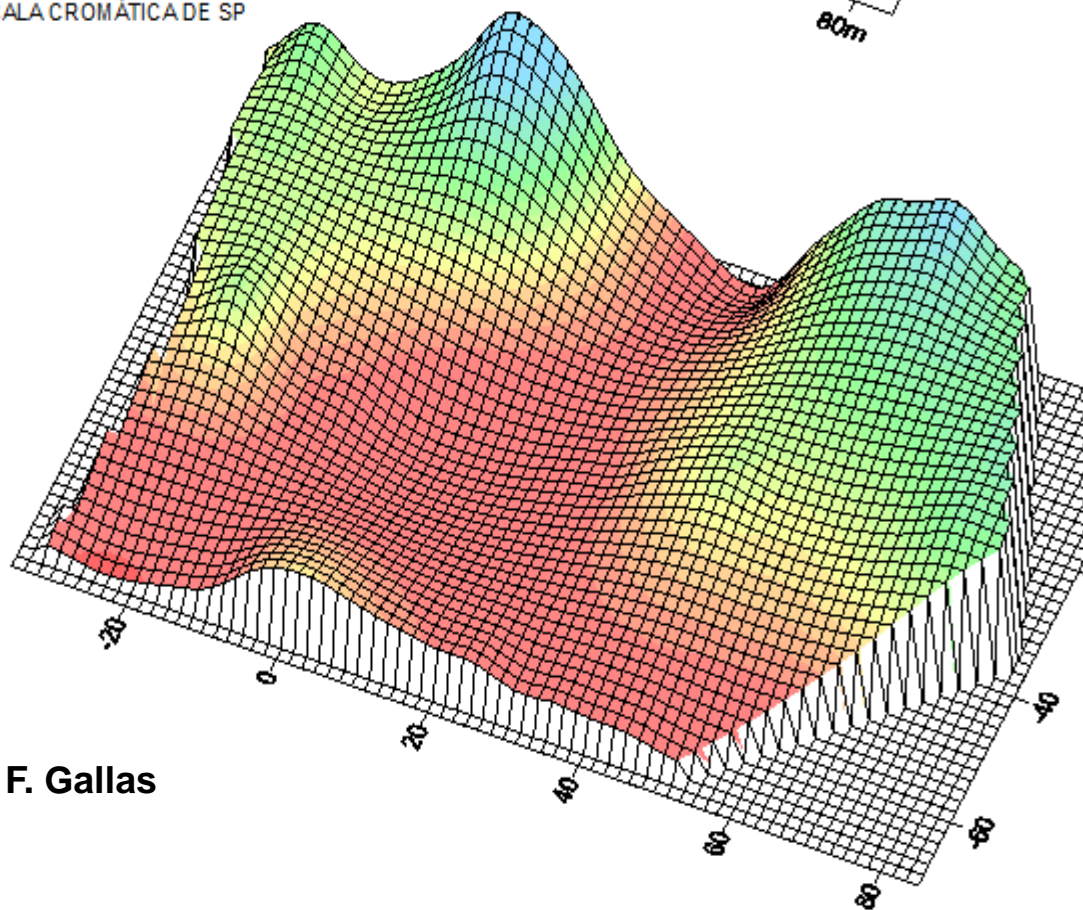
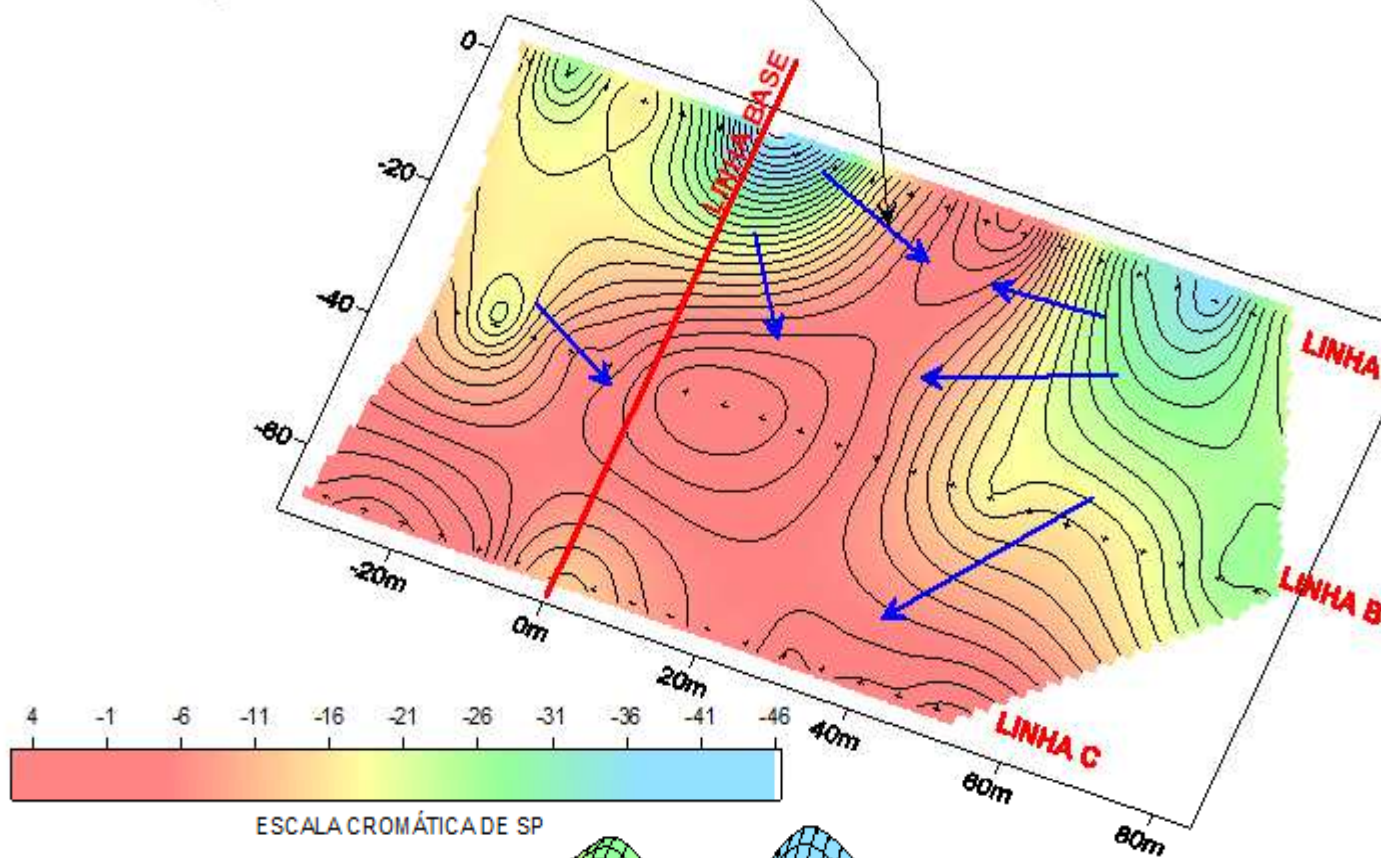
Prof. José D. F. Ga

ATERRO SANITÁRIO DE SANTO ANDRÉ

ÁREA A JUSANTE DO ATERRO

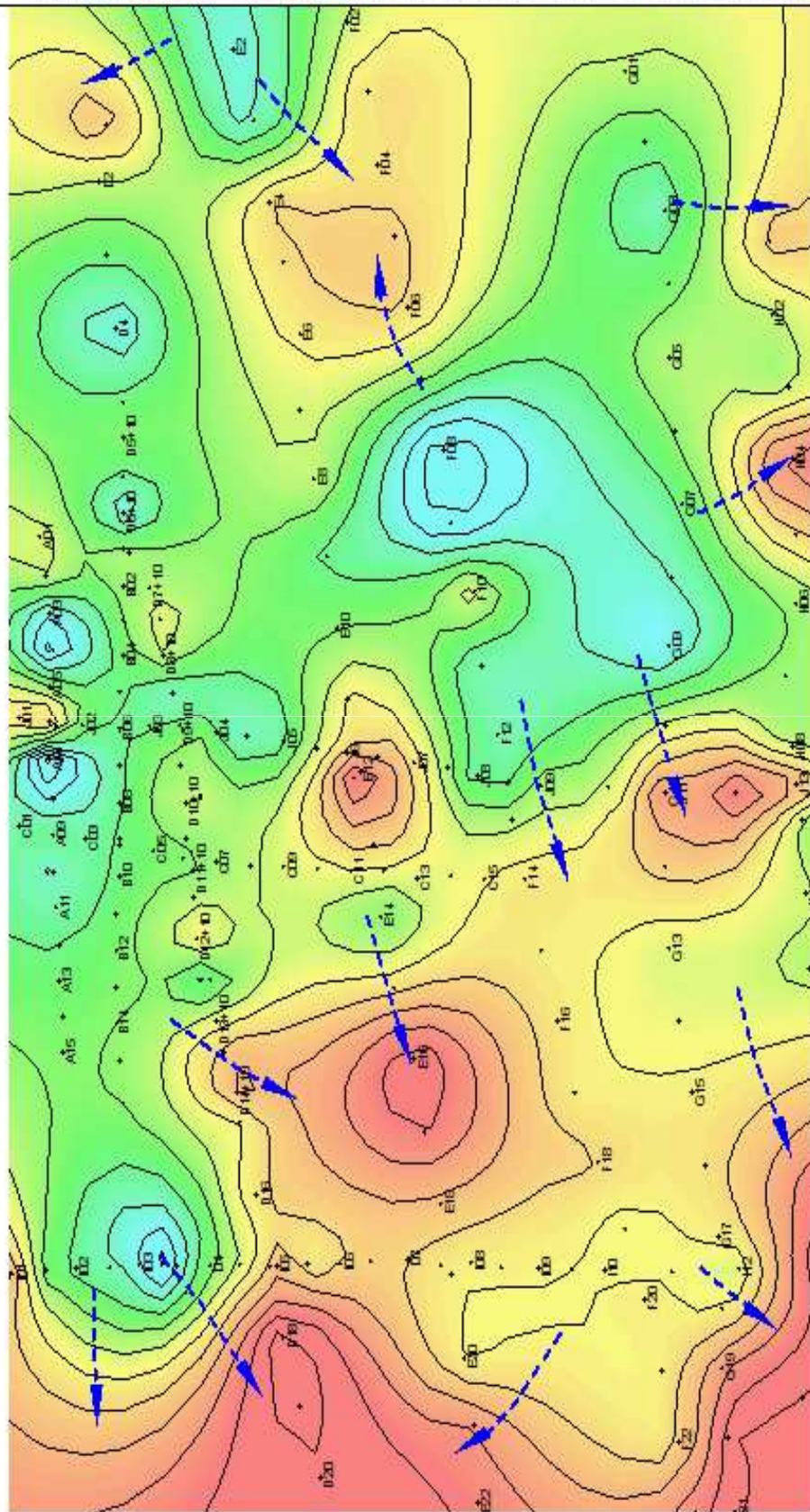
LEVANTAMENTO DE POTENCIAL E SPONTÂNEO (SP)
MAPA E SIMULAÇÃO 3-D - DADOS FILTRADOS

DIREÇÃO
DOS FLUXOS



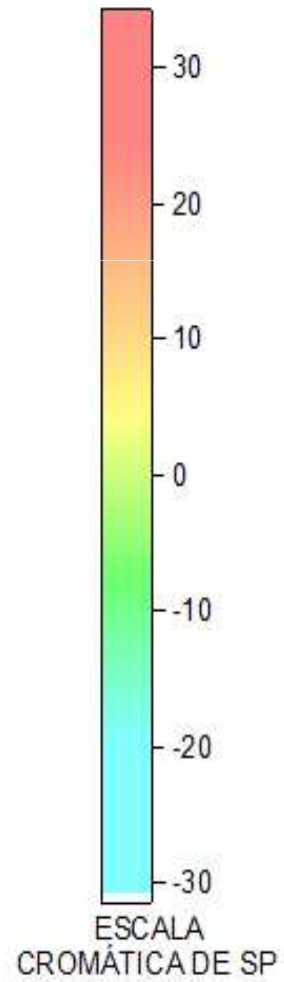
Prof. José D. F. Gallas

**LEVANTAMENTO DE POTENCIAL ESPONTÂNEO (SP)
ÁREA PARA ATERRO DE REJEITOS DE FUNDIÇÃO - LAVRINHAS
MAPA DE POTENCIAL ESPONTÂNEO - DADOS FILTRADOS**



LEGENDA

- ➡ INDICAÇÃO DE FLUXO PREFERENCIAL
- PONTO DE MEDIDA DE SP D14 E SUA DESIGNAÇÃO



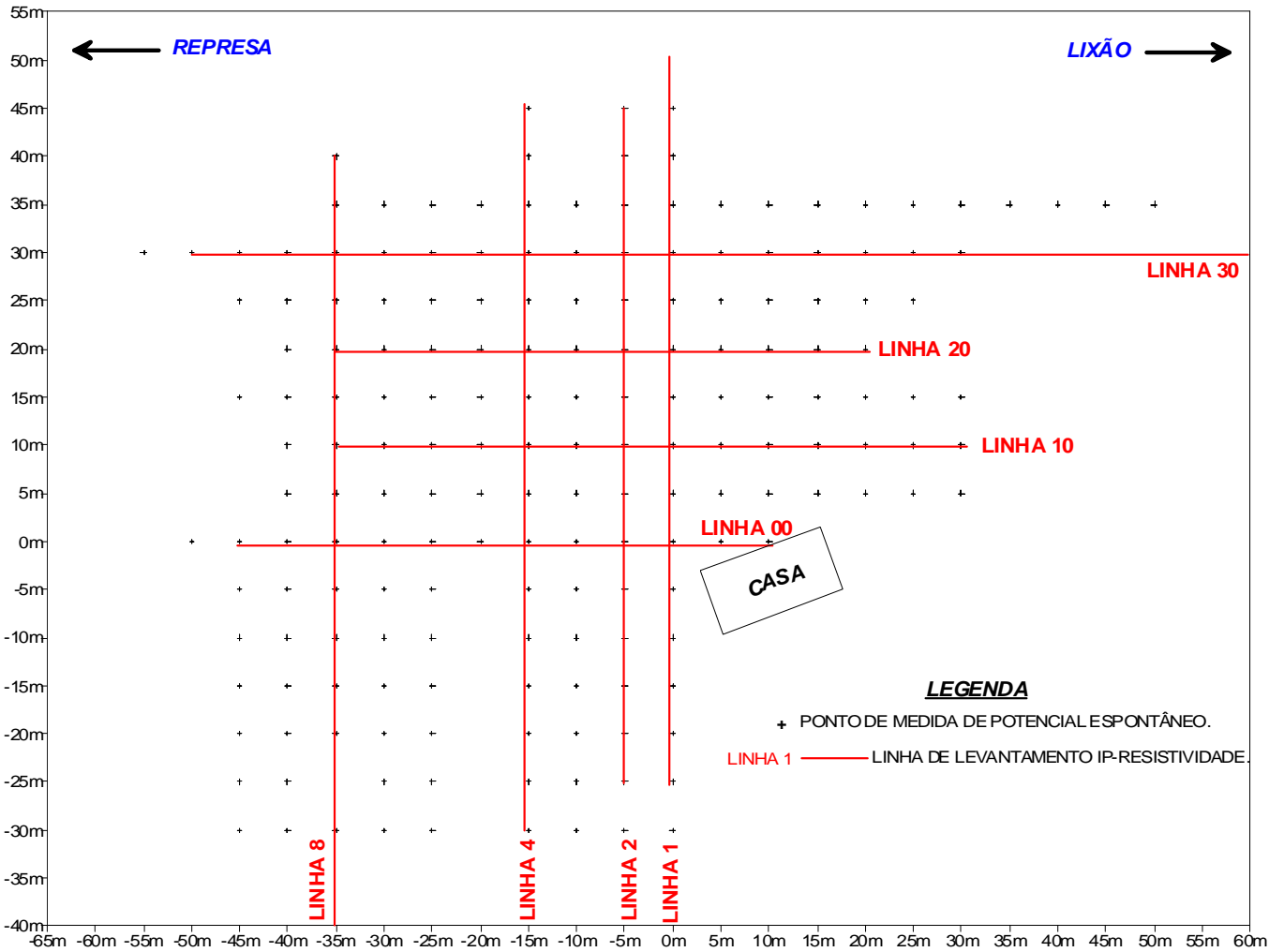
Prof. José D. F. Gallas



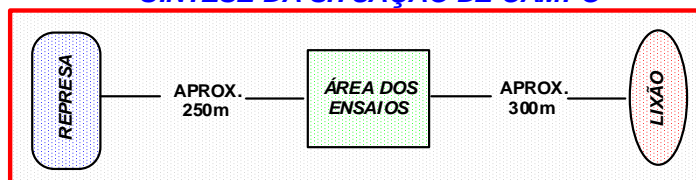
Gallas, José Domingos Faraco; Taioli, Fabio; Malagutti Filho, Walter 2011. Induced polarization, resistivity, and self-potential: a case history of contamination evaluation due to landfill leakage. *Environmental Earth Sciences (Print)* , v. 63, p. 251-261.

Prof. José D. F. Gallas

MÉTODOS GEOELÉTRICOS APLICADOS À GEOLOGIA AMBIENTAL
LIXÃO DO ALVARENGA - SÃO BERNARDO
CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS

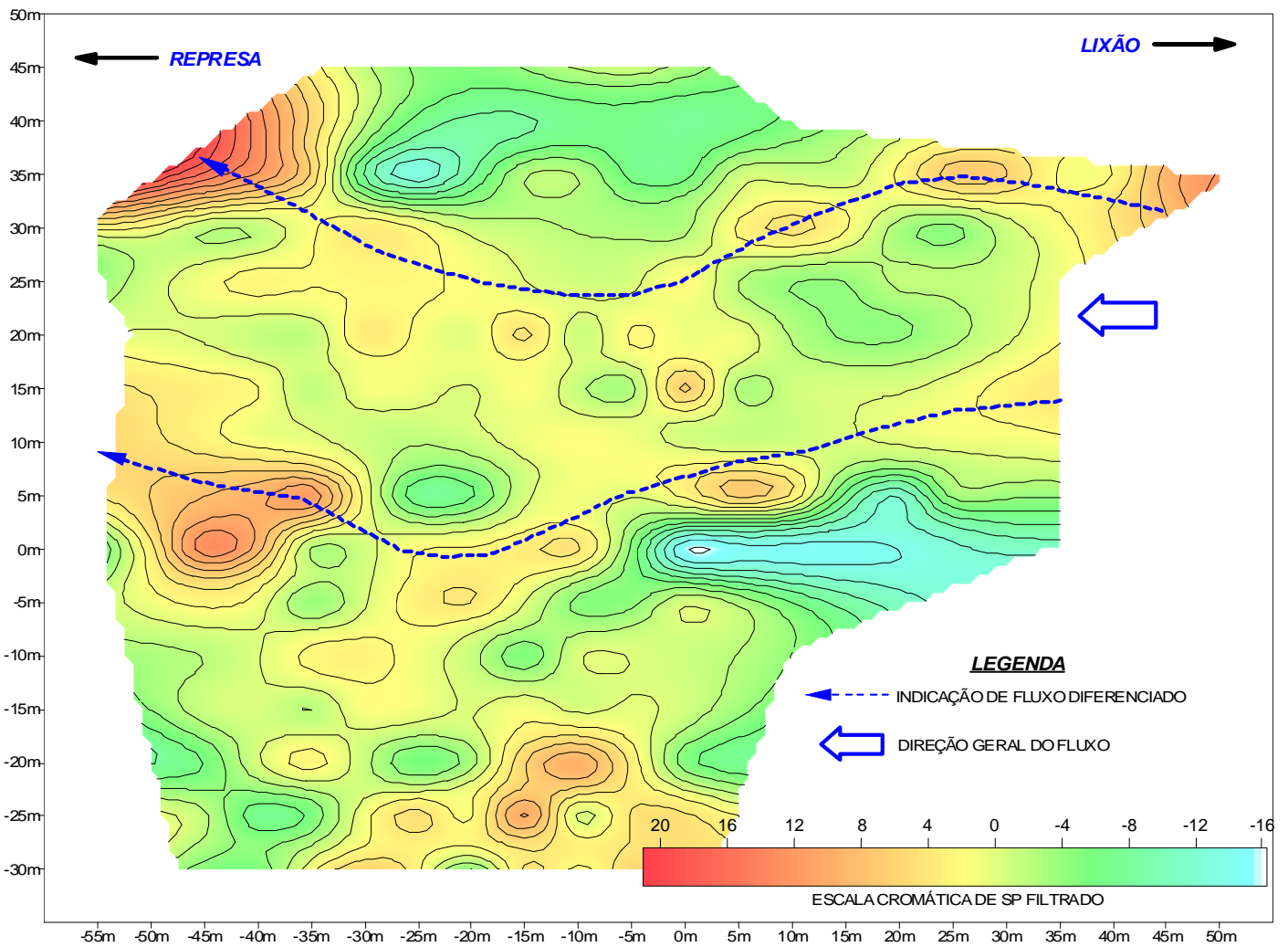


SÍNTESE DA SITUAÇÃO DE CAMPO



Prof. José D. F. Gallas

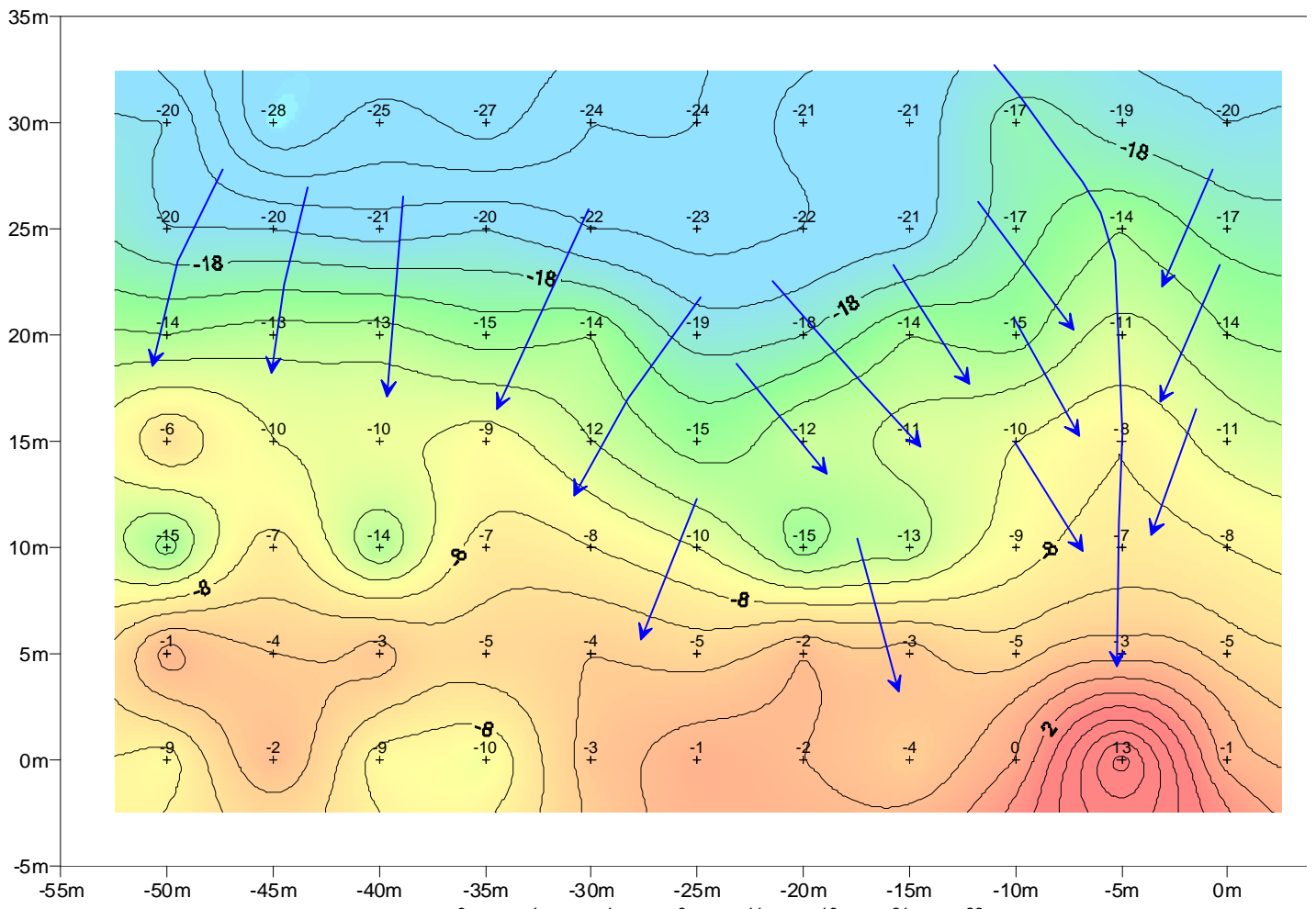
MÉTODOS GEOELÉTRICOS APLICADOS À GEOLOGIA AMBIENTAL
LIXÃO DO ALVARENGA - SÃO BERNARDO
LEVANTAMENTO DE POTENCIAL ESPONTÂNEO (SP)



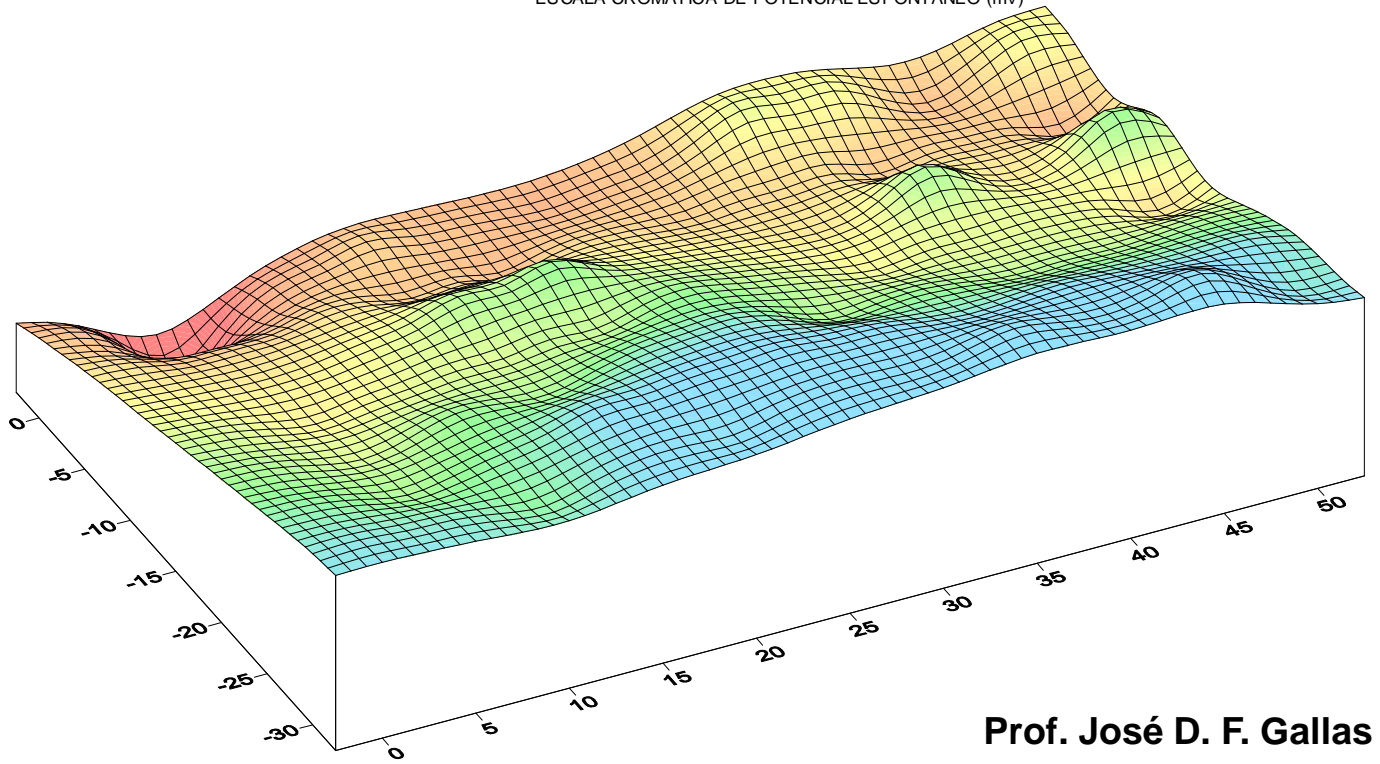
Prof. José D. F. Gallas



Prof. José D. F. Gallas



ESCALA CROMÁTICA DE POTENCIAL ESPONTÁNEO (mV)



Prof. José D. F. Gallas