



Potencialidades de métodos elétricos e eletromagnético no monitoramento de áreas de infiltração controlada de vinhaça

José Ricardo Melges Bortolin, Pós-Graduação em Geodências/IGCE/UNESP – Rio Claro; Walter Malagutti Filho, DGA/IGCE/UNESP – Rio Claro; César Augusto Moreira, DGA/IGCE/UNESP – Rio Claro.

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

A geophysical monitoring project of impacted areas by controlled infiltration of vinasse is being developed in two farms in the Rio Claro's (SP) region. The first area is located on the Fm. Corumbataí, mainly characterized by claystones and siltstones; the second area is located on the Fm. Pirambóia, which presents medium and fine sandstones, with different colorings. Both areas don't have vinasse infiltration historic. The volume of the contaminant to be infiltrated will be determined based on the chemical characteristics of the each area's soils. The monitoring will happen in two phases: pre and post infiltration. The chosen methods are: (1) self potential (SP); (2) electrical resistivity (ER); (3) induced polarization (IP); (4) electromagnetic (EM). The results here presented (pre infiltration phase, already concluded) enabled us to know the natural characteristics of each area, and the capabilities and the limitations of each method. Initial data from the monitoring of the areas should be available and will be presented during the 13th CIBSGf.

Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, de açúcar obtido a partir da cana e, também, o maior exportador mundial de açúcar (ISO, 2009). Somente o Estado de São Paulo concentra 52,07% da área cultivada nacional, tomando-se responsável por 56,15% de toda a cana colhida no país. Na safra 2012/2013, as usinas paulistas produziram 23.351.700 toneladas de açúcar e 12.198.507.700 litros de etanol (Conab, 2013).

Além desta destinação, a cana-de-açúcar também é empregada na produção da cachaça, terceira bebida destilada mais consumida no mundo e a primeira no Brasil. Cerca de 1,3 bilhões de litros são produzidos anualmente no país, sendo que 75% deste volume é proveniente de fabricação industrial e 25% de fabricação artesanal. Estimativas apontam cerca de 40.000 produtores artesanais de cachaça em todo o território nacional (Embrapa, 2007).

Por apresentarem etapas semelhantes, os processos de produção do etanol e da cachaça produzem um mesmo resíduo: a vinhaça. Esta é o resíduo líquido obtido na operação de destilação fracionada do caldo de cana fermentado, no processo de produção do álcool. É uma

substância de cor parda clara, tornando-se marrom escuro à medida que se oxida pela exposição ao ar. Apresenta pH baixo, é corrosiva, exala odor desagradável, possui elevada condutividade elétrica e altos níveis de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), tornando-se altamente poluidora. Sua temperatura, na saída da bica de destilação, pode atingir valores entre 80°C e 107°C.

Em média, para cada litro de etanol e/ou cachaça produzidos, 13 litros de vinhaça são gerados. Considerando a safra 2012/2013, foram gerados quase 158,6 bilhões de litros de vinhaça somente na produção de etanol. Incluindo a parcela devida à cachaça, são 162,8 bilhões de litros.

Admitindo-se que a DBO da vinhaça seja de 30.000mg/l, que a DBO provocada diariamente por uma pessoa seja de 60.000mg/l e que geração diária média de vinhaça durante a safra 2012/2013 foi de 446 milhões de litros, têm-se o equivalente à produção diária de dejetos de 223 milhões de pessoas ou, aproximadamente, a soma das populações do Brasil, do Chile e da Bolívia.

Devido à sua composição química (93% = água, 5,25% = matéria orgânica, 1,75% = fração mineral: K, N, P, Ca, Mg, SO₄²⁻, Zn, Fe, Mn, Cu) (Almeida, 1952 apud Ludovice, 1997), a vinhaça possui alto valor fertilizante e, economicamente, substitui com vantagem os fertilizantes químicos. Por estes motivos, é empregada massivamente na lavoura canavieira no processo de fertirrigação.

Por isso, regiões canavieiras assentadas em aquíferos de águas subterrâneas, principalmente em áreas de recarga, devem receber especial atenção em relação ao uso da vinhaça como fertilizante. Diante desse contexto, surge a necessidade de se buscar formas viáveis de investigação de detecção e de avaliação de contaminações do meio natural.

Métodos tradicionais de investigação

De um modo geral, investigações da influência da vinhaça em solos e águas subterrâneas são efetuadas por meio de análises físico-químicas em amostras coletadas em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, onde é praticada a fertirrigação, ou em áreas de sacrifício, onde é feita a infiltração. São exemplos os trabalhos de Hassuda (1989), Ludovice (1997), Lyra, Rolim e Silva (2003), Silva et al (2006) e Brito, Rolim e Pedrosa (2007).

Entretanto, os métodos tradicionais de investigação acabam por encarecer e aumentar demasiadamente o tempo de execução de estudos em grandes áreas, já que se torna necessário coletar e analisar um grande número de amostras, ou ainda, construir inúmeros poços de monitoramento, de modo que possam abranger toda a

extensão da área em questão. É justamente nesse ponto – em relação ao tempo de execução e aos custos de operação – que os métodos geofísicos de investigação mostram-se mais eficientes que os métodos tradicionais.

Investigação geofísica

Uma das principais vantagens da aplicação dos métodos geofísicos em relação aos métodos tradicionais de investigação de subsuperfície é a rapidez na avaliação de grandes áreas com custo relativamente menor. Além disso, são de natureza não invasiva, o que significa que, a priori, não alteram o meio físico. Assim, os métodos geofísicos mostram-se como uma opção eficiente e interessante para a investigação de áreas que tenham sido contaminadas pela infiltração da vinhaça.

Entretanto, são escassos os trabalhos técnicos e/ou acadêmicos que tratam da utilização de métodos geofísicos na investigação de contaminação causada pela disposição irregular de vinhaça.

Mendes (1987) desenvolveu um trabalho pioneiro ao utilizar os métodos da Eletroresistividade (ER) – técnicas da Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e do Imageamento Elétrico (IE) – e o Eletromagnético (EM) – técnica do Imageamento Eletromagnético (IEM) na investigação ambiental de duas áreas de infiltração de vinhaça, nos municípios paulistas de Novo Horizonte e de Ribeirão Preto.

Gloeden et al (1991) desenvolveram um projeto de pesquisa no município de Serrana (SP) e empregaram as técnicas da SEV e do IEM na caracterização geoeletrica de uma área de recarga do Aquífero Botucatu. Neste caso, os métodos geofísicos foram empregados somente na fase de caracterização natural da área, precedente à infiltração controlada de vinhaça.

Cruz (2008) pôde avaliar a eficiência do método da ER para a detecção e mapeamento de anomalias devidas à disposição inadequada de vinhaça no Assentamento Sepé Tiarajú, nos municípios de Serrana e Serra Azul (SP).

Objetivos

A proposta principal deste trabalho é caracterizar o tipo de anomalia inerente à contaminação por vinhaça de solos e, por ventura, de águas subterrâneas em diferentes contextos geológicos, mediante a aplicação dos métodos do potencial espontâneo, da eletroresistividade, da polarização induzida e o eletromagnético. Também pretende-se estabelecer uma metodologia de monitoramento de áreas contaminadas por vinhaça empregando-se os 4 métodos listados.

Metodologia

Foram selecionadas duas localidades com condicionantes geológicas distintas para o desenvolvimento do projeto:

(1) Sítio Altarugio: situado sobre os domínios da Fm. Corumbataí: sucessão de camadas de argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuros e pretos, com finas intercalações de arenitos de diversas tonalidades.

(2) Chácara Santana: localizada sobre a Fm. Pirambóia: arenitos médios e finos, com grãos polidos, subangulares e subarredondados, e coloração que varia do branco ao vermelho. Ocasionais ocorrências de finas camadas de argilitos e siltitos.

Em ambos os locais, selecionou-se uma área de 20m x 10m (200m²), com o lado maior acompanhando o declive do terreno (área 1 = 30°, área 2 = 33,7°). Ambas as áreas não apresentam histórico de infiltração de vinhaça.

Por meio da norma P4231 (CETESB, 2006) será determinada a dose de vinhaça (D , em m³/ha) a ser infiltrada em ambas as áreas, empregando-se a Equação (1):

$$D = \frac{[(0,05 \cdot CTC - k_s) \cdot 3744 + 185]}{k_{vi}} \quad (1)$$

onde CTC = Capacidade de Troca Catiônica, expressa em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; k_s = concentração de potássio no solo, expresso em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; 3744 = constante para transformar os resultados da análise de fertilidade de $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ para kg de potássio em um volume de 1 (um) hectare por 0,80m de profundidade; 185 = massa, em kg, de K_2O extraído pela cultura por hectare, por corte; k_{vi} = concentração de potássio na vinhaça, expressa em kg de $\text{K}_2\text{O}/\text{m}^3$.

Os ensaios geofísicos foram divididos em duas etapas: pré-infiltração (finalizada) e pós-infiltração. A execução dos ensaios pós-infiltração será programada com base nos resultados dos ensaios de permeabilidade hidráulica da zona não saturada (Guelph) e na dose de vinhaça calculada pela Equação (1).

Método do Potencial Espontâneo (SP)

Dos métodos utilizados neste projeto, é o único que se vale de campos elétricos naturais para que possa ser desenvolvido.

Em condições especiais, heterogeneidades condutoras em subsuperfície podem se polarizar, originando “pilhas elétricas” e criando correntes elétricas no subsolo. Estas correntes produzem uma distribuição de potenciais, detectáveis na superfície do terreno por meio de eletrodos não polarizáveis e um milivoltímetro, e podem indicar a localização de corpos polarizados. O parâmetro medido é a diferença de potencial (d.d.p.), expressa em *milli-volts* (mV).

Dentre os diversos tipos de potenciais naturais, espera-se que o potencial eletro-cinético (ou *streaming potential*) seja o que reflita maior influência nos resultados. Assim como em uma rede de capilares, o fluxo de águas subterrâneas carrega os cátions para cotas inferiores enquanto os ânions permanecem fixos nos altos topográficos. A d.d.p. entre ambas as cotas pode ser expressa pela equação de Helmholtz (Equação (2)):

$$\Delta V = \frac{\zeta \varepsilon P}{\eta \sigma} \quad (2)$$

onde ΔV = d.d.p. entre dois pontos distintos do terreno, em mV ; ζ = d.d.p. na dupla camada elétrica nas paredes do capilar, em mV ; ε = constante dielétrica do eletrólito; σ = condutividade elétrica do eletrólito; η = viscosidade do

eletrólito; P = diferença de pressão hidrostática entre os extremos do capilar.

Para a aplicação deste método optou-se pela Técnica dos Potenciais, na qual um dos eletrodos permanece fixo, em uma estação-base, junto ao equipamento de medição e fora da área de investigação, enquanto o outro percorre os pontos de medidas no perfil ou na malha de levantamento, dispostos em intervalos iguais entre si.

Método da Eletroresistividade (ER)

O método da eletroresistividade fundamenta-se no fato de que diferentes materiais apresentam distintos valores de resistividade elétrica (ρ). Esta é um parâmetro intrínseco dos materiais, que indica a maior ou menor facilidade encontrada por uma corrente elétrica para se propagar em um meio. Este coeficiente depende, entre outras coisas, da natureza e do estado físico do corpo considerado.

Para um corpo homogêneo, de comprimento l (em m) e área da seção transversal A (em m^2), a resistividade elétrica ρ (em $\Omega.m$), pode ser calculada pela Equação (3):

$$\rho = R \frac{A}{l} = \frac{U A}{I l} = \frac{U}{I} K \quad (3)$$

onde R = resistência elétrica, em *ohms* (Ω); U = tensão aplicada entre as extremidades do corpo, em *vols* (V); I = intensidade da corrente elétrica que flui através do corpo, em *ampères* (A); K = coeficiente geométrico, que depende das dimensões do corpo, em metros (m).

As técnicas escolhidas para a aplicação deste método são a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) (somente na etapa pré-infiltração) e o Imageamento Elétrico (IE).

A técnica da SEV (investigação da variação da resistividade elétrica, em profundidade, a partir de medidas efetuadas na superfície do terreno) foi desenvolvida empregando-se o arranjo Schlumberger. Neste arranjo, a distância entre os eletrodos de corrente (**AB**) e os eletrodos de potencial (**MN**) deve obedecer à relação geométrica (Equação (4)):

$$MN \leq \frac{AB}{5} \quad (4)$$

O fator geométrico (K_S) para esse arranjo é dado pela Equação (5):

$$K_S = \pi \frac{(AM.AN)}{MN} \quad (5)$$

A técnica do IE, neste caso, envolve a medição de valores de resistividade elétrica e de cargabilidade a partir da superfície terrestre e ao longo de uma seção a uma ou mais profundidades determinadas.

Para a aquisição dos dados, optou-se pelo arranjo Dipolo-Dipolo, com 8 níveis de investigação (n). Neste arranjo, os eletrodos de corrente (**A** e **B**) e os eletrodos de potencial (**M** e **N**) são dispostos sobre uma mesma linha reta imaginária e o espaçamento entre os eletrodos obedece à relação $x=AB=MN$. Os pontos de investigação correspondem ao cruzamento de segmentos de reta que partem do centro

geométrico de **AB** e de **MN**, com inclinação de 45° em relação à superfície.

O fator geométrico (K_{DD}) para o arranjo Dipolo-Dipolo é dado pela Equação (6):

$$K_{DD} = 2\pi x \frac{1}{\left(\frac{1}{n} - \frac{2}{n+1} + \frac{1}{n+2}\right)} \quad (6)$$

onde o coeficiente n representa o nível de investigação e pode assumir somente valores inteiros ($n=1,2,3,\dots$).

Método da Polarização Induzida (IP)

O estabelecimento e a interrupção de uma corrente elétrica, quando injetada no solo, não ocorre instantaneamente. Ao cessar a injeção de corrente, o potencial elétrico diminui gradativamente, segundo uma curva de decaimento que varia em função do tempo (domínio do tempo) ou da frequência da corrente aplicada (domínio da frequência). A medição dessa variação da voltagem constitui o método da polarização induzida. O parâmetro medido neste método é a cargabilidade (M) (expresso em mV/V ou em ms), que pode ser obtido pela integração total ou parcial da curva de descarga (Equação 7):

$$M = \sum_{i=1}^n M_i = \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{\Delta V_p} \int_{t_1}^{t_2} \Delta V_{ip}(t) dt \right] \quad (7)$$

onde n = número de janelas consideradas; M_i = cargabilidade parcial, medida numa determinada janela, em mV/V ; ΔV_p = voltagem primária transmitida, em V ; t_1 e t_2 = instantes inicial e final da i -ésima janela considerada, em s ; $\Delta V_{ip}(t)$ = voltagem secundária, ou curva de descarga IP, em função do tempo, em mV .

O efeito IP pode ser atribuído (1) ao tempo de dissipação da "nuvem catiônica" originada pela presença de argila (eletricamente negativa), que permite a passagem dos cátions e barra os ânions, atuando como uma membrana (polarização de membrana ou eletrolítica); ou (2) ao tempo decorrido para a mudança entre condução iônica (no interior) e eletrônica (no entorno) de um corpo condutor, quando cessado o fluxo de corrente elétrica (polarização metálica ou eletrônica).

A medição da cargabilidade deve ser feita com eletrodos não polarizáveis e, geralmente, é realizada concomitantemente à medição da resistividade elétrica.

Método Eletromagnético (EM)

Baseia-se no princípio de indução eletromagnética para medir, a partir da superfície, a condutividade elétrica do subsolo. A condutividade elétrica (σ) é um parâmetro físico que indica a facilidade que um determinado material possui para transmitir uma corrente elétrica e, por definição, é o inverso da resistividade elétrica (ρ).

A circulação de uma corrente elétrica alternada por uma bobina transmissora (Tx) resulta em um campo eletromagnético primário (H_p). A propagação deste campo

no subsolo induz correntes elétricas secundárias, que produzem um campo eletromagnético secundário (H_s) proporcional à corrente induzida. Parte desse campo secundário induz correntes elétricas em uma bobina receptora (Rx), posicionada dentro da área de influência dos campos primário e secundário. A diferença de potencial (d.d.p.) ocasionada pela passagem de correntes elétricas na bobina receptora é diretamente proporcional à condutividade elétrica do terreno. Admitindo que a razão entre H_s e H_p seja linear, é possível efetuar leituras diretas da condutividade elétrica dos materiais em subsuperfície, a partir da medição dos valores de ambos os campos, pela Equação (8):

$$\sigma = \frac{4}{(2\pi f)\mu_0 s^2} \left(\frac{H_s}{H_p} \right) = \frac{4}{\omega\mu_0 s^2} \left(\frac{H_s}{H_p} \right) \quad (8)$$

onde σ = condutividade elétrica, em S/m; f = frequência da corrente elétrica que circula na bobina (Tx), em hertz (Hz); ω = frequência angular, em rad/s; μ_0 = permeabilidade magnética do vácuo, em H/m; s = espaçamento entre as bobinas Tx e Rx, em m.

A técnica empregada é a do Imageamento Eletromagnético (IEM), com 2 níveis de investigação, referentes às possíveis orientações dos campos magnéticos: Dipolo Magnético Horizontal (DMH) e Dipolo Magnético Vertical (DMV)

Resultados

Na primeira etapa do projeto (pré-infiltração) foram realizados os ensaios geofísicos resumidos na Tabela 1.

Tabela 1: Ensaios geofísicos realizados nas Áreas 1 e 2 (etapa pré-infiltração).

	Ensaio	Quantidade	Equipamento utilizado
Área 1	SP	66 estações de medida	BISON 2390
	SEV (ER)	6 com AB/2 máximo de 60m	ABEM
	IE (ER e IP)	5 linhas com $x = 3m$ 1 linha com $x = 5m$	TERRAMETER SAS 4000
	IEM	5 linhas (DMH e DMV)	GEONICS EM31-MK2
Área 2	SP	66 estações de medida	BISON 2390
	SEV (ER)	3 com AB/2 máximo de 100m	ABEM
	IE (ER e IP)	5 linhas com $x = 3m$ 1 linha com $x = 5m$	TERRAMETER SAS 4000
	IEM	5 linhas (DMH e DMV)	GEONICS EM31-MK2

Área 1

Os dados de SP foram empregados na confecção de um mapa de potencial espontâneo (Figura 1), que exibe reduzida variação de valores ($-4mV \leq d.d.p. \leq 2mV$). A anomalia verificada nas porções E e NE da área (d.d.p. >

$2mV$) sugere a concentração de cátions neste local ocasionada pelo fluxo d'água subterrânea.

As SEV permitiram inferir a profundidade do nível freático ($\approx 8,6m$) e distinguir 5 camadas geoeletricas (Figura 2).

As seções de IE mostraram um cenário semelhante ao identificado com as SEV, onde os valores de ρ tendem a decrescer com o aumento da profundidade, até atingir o nível freático ($150\Omega.m \leq \rho \leq 20\Omega.m$, relacionados à Fm. Corumbataí), voltando a elevar-se na porção basal das seções ($\rho > 200\Omega.m$, relacionados à Fm. Serra Geral). Os valores de M apresentam-se maiores à medida que a profundidade aumenta (Figura 3).

Quanto aos IEM, os valores de σ para o DMH ($z \approx 3m$) são relativamente menores aos do DMV ($z \approx 6m$), sugerindo relação direta com o teor de umidade no solo em cada profundidade de investigação. Novamente, os dados coletados foram utilizados na confecção de mapas de isovalores de condutividade elétrica (Figura 4).

Área 2

O mapa de SP (Figura 5) gerado com os dados coletados exibe elevada variação do potencial elétrico, com amplitude de $360mV$. Entretanto, a porção majoritária da Área 2 apresenta potenciais entre 0 e $20mV$. As 2 anomalias ocorrentes na borda esquerda da área sugerem, a princípio, um dipolo elétrico gerado por mineralizações.

As SEV, em menor número que na Área 1, mas distribuídas por toda a propriedade, permitiram a locação da Área 2 de modo que a profundidade do nível freático fosse semelhante à inferida no Sítio Altarugio. A profundidade do nível freático (em toda a Chácara Santana) situa-se entre 6 e $11m$ e foram identificadas 7 camadas geoeletricas (Figura 6).

Os resultados dos IE sugerem um cenário idêntico ao identificado com as SEV. Foi possível identificar 3 zonas: (a) evapotranspiração: associada aos valores da ordem de $500\Omega.m$ que ocorrem superficialmente; (b) retenção: porção onde $500\Omega.m \leq \rho \leq 10.000\Omega.m$; (c) saturada: faixa onde $\rho \leq 100\Omega.m$ na porção basal da seção. A cargabilidade exibe predominância de valores acima de 30ms (associados à ocorrência de argilas/argilitos), com intercalação de zonas de menor cargabilidade relativa ($M < 10ms$) (interpretados como arenitos da Fm. Pimabóia), principalmente na porção central das seções (Figura 7).

Por fim, os resultados dos IEM para o DMH ($z \approx 3m$) são relativamente menores aos do DMV ($z \approx 6m$). A maior proximidade da profundidade de investigação do DMV ao nível freático resulta em maiores valores de σ devido à maior quantidade de eletrólitos no meio (Figura 8).

Conclusões

O projeto mostra-se promissor no sentido de se estabelecer uma metodologia de monitoramento de áreas degradadas por vinhaça. Sua importância fica evidente, pois a lavoura canavieira é a 3ª maior (em área) cultivada no Brasil.

A fase pré-infiltração do projeto possibilitou o entendimento das condicionantes naturais de cada área, além das

potencialidades e as limitações de cada método. Também permitiu desenvolver projeções de futuros resultados após a infiltração controlada de vinhaça.

Atualmente, amostras de solos de ambas as áreas estão em processo de análises químicas em laboratório do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ para que seja possível determinar a dose de vinhaça a ser infiltrada em cada área. Dados iniciais do monitoramento das áreas deverão estar disponíveis e serão apresentados durante o acontecimento do 13º CISBGf.

Agradecimentos

Os autores prestam seus agradecimentos ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo incentivo em forma de bolsa de estudo e à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pelo financiamento deste projeto, através do processo 2011/21659-5.

Referências

- BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Concentração de cátions presentes no lixiviado de solos tratados com vinhaça. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 773-781, 2007.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **P4.321**. Vinhaça – critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. 2006. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/P4_231.pdf>. Acesso em: 22 set. 2010.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar: safra 2012/2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_30_34_boletim_cana_portugues_abril_2013_4o_ev.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2013.
- CRUZ, J. I. **Deteção da influência da vinhaça na resistividade do solo através da análise de dados geofísicos**: um estudo de caso no assentamento Sepé – Tiarajú – SP. 165f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2008.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. SAKAI, R. H. **Cachaça**. 2007 Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONT000fiog1ob502wyiv80z4s473agi63ul.html>>. Acesso em: 16 abr. 2013.
- GLOEDEN, E.; CUNHA, R. C. A.; FRACCAROLI, M. J. B.; CLEARY, R. W. The behaviour of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatu aquifer recharge area. **Water Science Technology**, v. 24, n. 11, p. 147-157. 1991.
- HASSUDA, S. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no Aquífero Bauru**. 92f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1989.
- ISO – INTERNATIONAL SUGAR ORGANIZATION. **Sugar Year Book 2008**. 2008. Disponível em: <<http://www.isosugar.org/PDF%20files/SUGAR%20YEAR%20BOOK%20-%20sample.pdf>>. Acesso em 16 abr. 2013.
- LUDOVICE, M. T. F. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre lençol freático**. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1997.
- LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Toposequência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 525-532, 2003.
- MENDES, J. M. B. **Técnicas geofísicas aplicadas no mapeamento e monitoramento de poluição e contaminação de águas subterrâneas**. 196f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
- SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G.; LIMA, J. F. W. F.. Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 76-83, 2006.

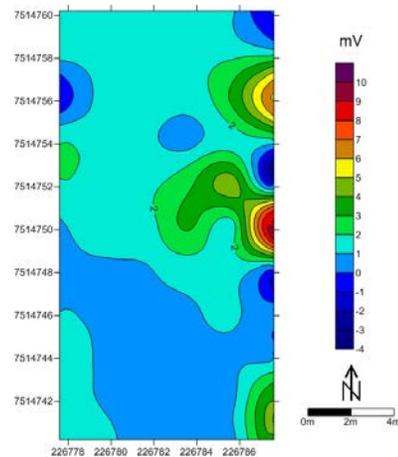


Figura 1: Mapa de potencial espontâneo da Área 1.

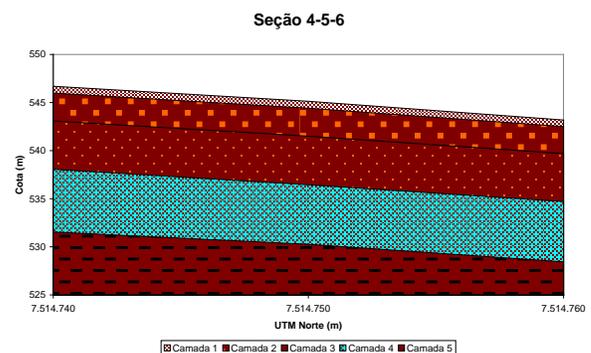


Figura 2: Seção geoeletrica da Área 1.

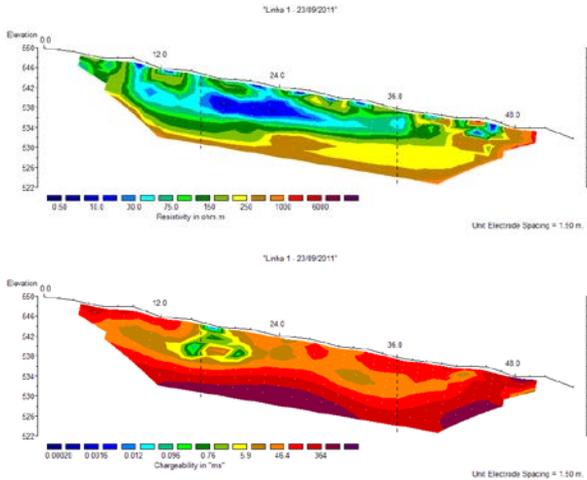


Figura 3: Seções típicas de IE da Área 1 (Acima: ER; Abaixo: IP).

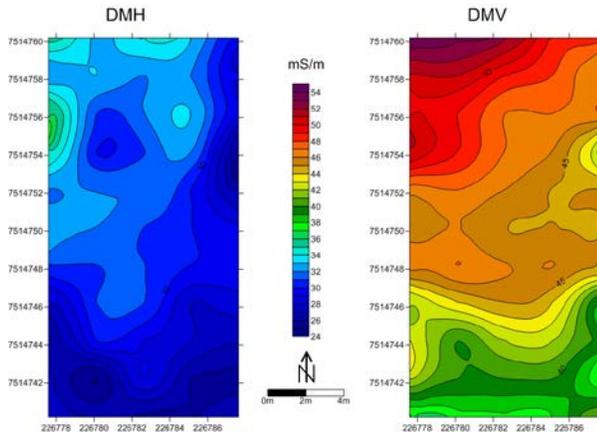


Figura 4: Mapas de condutividade elétrica para a Área 1.

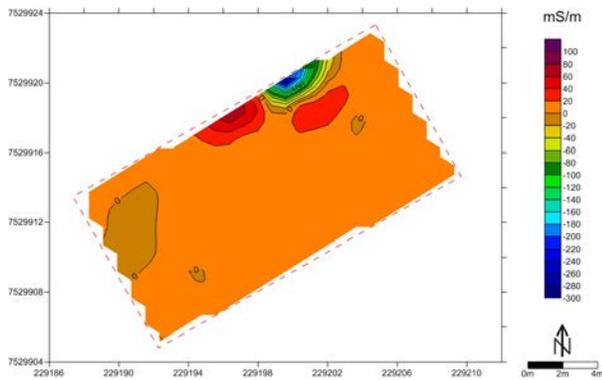


Figura 5: Mapa de potencial espontâneo da Área 2.

Seção 3-1-2

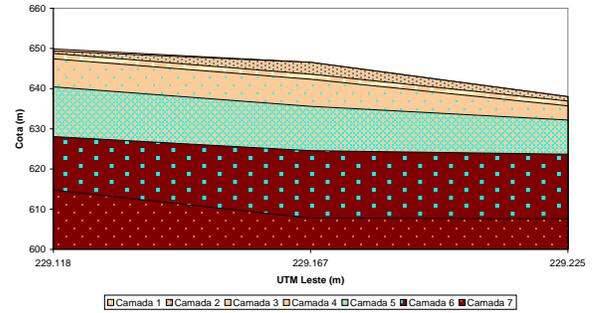


Figura 6: Seção geoeétrica da Área 2.

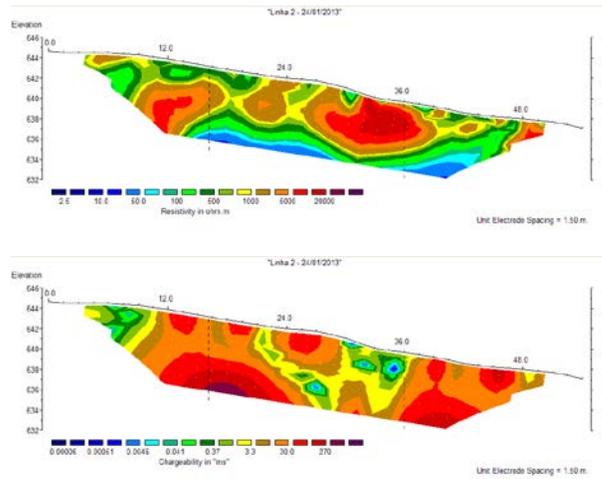


Figura 7: Seções típicas de IE da Área 2 (Acima: ER; Abaixo: IP).

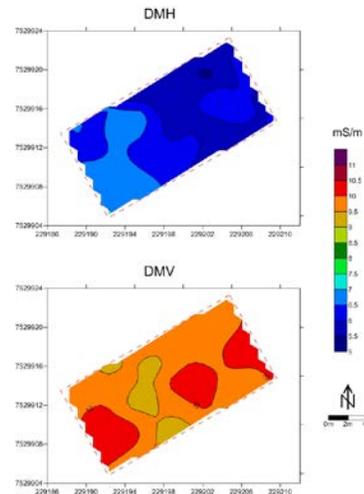


Figura 8: Mapas de condutividade elétrica para a Área 2.