Elaboração de um *Software* Para Análise da Estratificação do Solo Utilizando O Método de Duas Camadas Usando Curvas

Williams Alan Pinheiro Souza e Maryelle Lopes Moreira
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia (IESAM), Av. Gov. José Malcher, 1148

Ítalo Pereira de Souza e Ronaldo Oliveira dos Santos
Instituto de Estudos Superiores da Amazônia (IESAM), Av. Gov. José Malcher, 1148

***Resumo* — Este trabalho consiste na elaboração de um software, usando a plataforma Matlab, para estratificação do solo em duas camadas usando curvas. A partir da teoria do eletromagnetismo no solo com duas camadas horizontais é possível desenvolver uma modelagem matemática, que com o auxilio das medidas efetuadas pelo Método de Wenner, possibilitam encontrar a resistividade do solo da primeira e segunda camada, bem como as suas respectivas profundidades. Baseado neste contexto o *software* se encarregará de realizar todo processamento matemático envolvido. Serão exibidos os resultados ρ_1, ρ_2 e os valores reais de K e h, em uma única janela. Logo, a estratificação estará concluída.**

***Palavras-chaves* — Aterramento, estratificação do solo, resistência, resistividade, Matlab.**

I. INTRODUÇÃO

O raio até os dias atuais surpreende a ciência moderna pois, parte significativa do seu comportamento ainda tem explicação puramente teórica, devido à dificuldade de análise dos seus efeitos. A teoria de G.C.Simpson [1] é a mais aceita até o momento.

Antes da execução de qualquer aterramento elétrico é de suma importância consultar as normas NBR 5410 [2] e NBR 5419 [3]. O aterramento consiste em estabelecer um caminho condutor de eletricidade entre dois pontos, com o objetivo de conectar componentes elétricos e eletrônicos de um sistema entre si ou de conectá-los a um ponto de referência, que pode ser chamado de terra.

Dentre os principais objetivos do aterramento, temos: (a) a obtenção de uma resistência mais baixa possível com um potencial zero e uma impedância nula, que pode ser usada como uma referência para todos os sinais do sistema associado e no qual se possa descarregar toda corrente indesejada e, assim, eliminar seus efeitos; (b) a proteção ao usuário do equipamento das descargas atmosféricas, através da viabilização de um caminho alternativo para terra; (c) "descarregar" cargas estáticas acumuladas nas carcaças das máquinas ou equipamentos para a terra; (d) Facilitar o funcionamento dos dispositivos de proteção (fusíveis, disjuntores, etc.), através da corrente desviada para terra.

Um dado importante na elaboração do projeto do aterramento é o conhecimento das características do solo, principalmente sua resistividade elétrica. Vários fatores influenciam na resistividade do mesmo, tais como: (a) o tipo de solo; (b) mistura de diversos tipos de solo; (c) solos constituídos por camadas estratificadas com profundidades e materiais diferentes; (d) teor de umidade; (e) temperatura; (f) compactação e pressão; (g) composição química dos sais dissolvidos na água retida; (h) concentração de sais dissolvidos na água retida.

As diversas combinações acima resultam em solos com características diferentes e, consequentemente, com valores de resistividade distintos. A resistência do solo acompanha os períodos de seca e chuva de uma região. Os aterramentos melhoram a sua qualidade com o solo úmido, e pioram no período de seca.

Existem outros fatores a serem considerados na elaboração de um projeto de malhas de aterramento, como: (a) a influência da temperatura que a partir do $\rho_{mínimo}$, produz uma dispersão nas ligações iônicas entre os grânulos de terra no solo, e que resulta num maior valor da resistividade; (b) a influência da estratificação sendo que os solos, na sua grande maioria não são homogêneos, mas formado por diversas camadas de resistividades e profundidades diferentes.

Considerando as características que normalmente apresentam os solos, devido sua própria formação geológica ao longo dos anos, a modelagem em camadas estratificadas, tem produzido excelentes resultados na prática.

Este trabalho tem como base a estratificação do solo em duas camadas que é obtida a partir da curva **ρ(a) x a**, onde **ρ** é a resistividade elétrica e **a** é o espaçamento entre as hastes de medida.

II. METODOLOGIA

Utilizando a teoria do eletromagnetismo no solo com duas camadas horizontais [3] é possível desenvolver uma modelagem matemática, que com o auxilio das medidas efetuadas pelo **Método de Wenner**, possibilita encontrar a resistividade do solo da primeira e segunda camada, bem como as suas respectivas profundidades, como mostrado na figura abaixo.

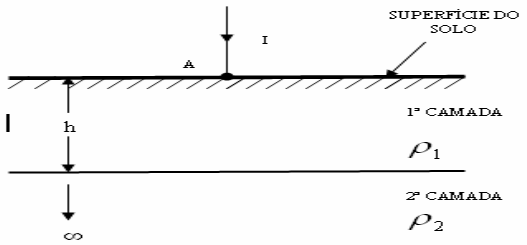

Fig. 1 - Solo em duas camadas.

Injetando uma corrente elétrica **I** no ponto **A**, gera potênciais na primeira camada que satisfaz a equação:

$$\nabla^2 V = 0 \qquad (1)$$

Desenvolvendo a Equação de Laplace (1) relativamente ao potencial V em qualquer ponto P da primeira camada do solo, distanciando de "r" da fonte de corrente **A**, chega-se a seguinte equação:

$$V_p = \frac{I\rho_1}{2\pi}\left[\frac{1}{r} + 2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{K^n}{\sqrt{r^2+(2nh)^2}}\right] \qquad (2)$$

Onde:
Vp = é o potencial de um ponto P qualquer da primeira em relação ao infinito
ρ_1= resistividade da primeira camada
h = profundidade da primeira camada
r = distância do ponto P para a fonte de corrente A
K= coeficiente de reflexão, que é definido por:

$$K = \frac{\rho 1 - \rho 2}{\rho 2 + \rho 1} = \frac{\frac{\rho 2}{\rho 1} - 1}{\frac{\rho 2}{\rho 1} + 1} \qquad (3)$$

ρ_2= resistividade da segunda camada

Como já observado, verifica-se que a variação do coeficiente de reflexão **K** é limitada entra -1 e +1. Pode-se então, traçar uma família de curvas de (**ρ**(**a**)/**ro**1) em função de **h**/**a** para uma série de valores de **K** positivos e negativos, cobrindo toda sua faixa de variação. Para **K** variando na faixa negativa, **ρ**(**a**) **x a** é descendente. Para **K** variando na faixa positiva, **ρ**(**a**) **x a** é ascendente.

Com base na família de curvas teóricas de **K** positivo e K negativo [4], é possível estabelecer um método que faz o casamento da curva ρ(**a**) **x a**, medida por Wenner, com uma determinada curva particular. Esta curva particular é caracterizada pelos respectivos valores de **ρ**1, **K** e **h**.

Com os valores de **ρ**1, **ρ**2, **K** e **h** encontrados a estratificação está estabelecida.

O Software desenvolvido, na plataforma MatLab 6.5 [5], em versões inferiores a esta o software não funciona, segue os passos para a estratificação do solo em duas camadas usando curvas. Com a inserção dos dados coletados em campo pelo método de Wenner, espaçamento e resistência [1 684; 2 305.5; 4 103.75; 6 49; 8 29.625; 16 11.81; 32 5.68], o programa é compilado e obtêm-se o gráfico com a curva **ρ**(**a**) **x a** e a resistividade da primeira camada(ρ_1), fig. 2.

Para se obter a resistividade da primeira camada é feita uma extrapolação nos valores de resistência, que foram coletados com o terromêtro.

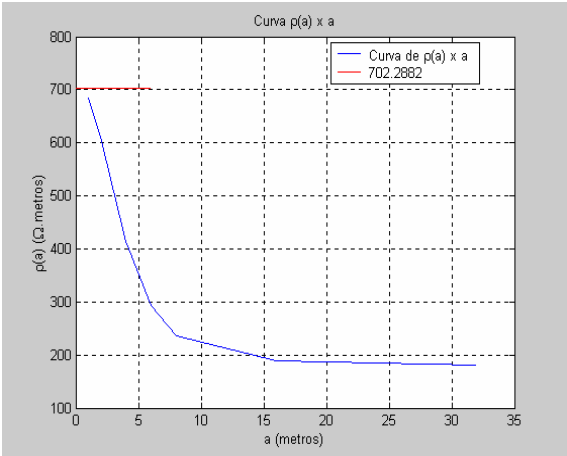

Fig.2 - Gráfico com a curva **ρ**(**a**) **x a**

Em seguida especifica - se um espaçamento ($\mathbf{a}_1$), que esteja dentro da faixa utilizada para espaçar as hastes cravadas no solo, compila-se novamente o programa e obtêm-se **ρ**(**a**1), neste ponto pelo comportamento da curva **ρ**(**a**) **x a** o programa identifica se **K** é ascendente ou descendente, e é exibido o segundo gráfico(**ρ**(**a**1)/**ρ**1 **x h/a**) com as curvas distintas de valores de **K**. O programa insere uma linha vermelha paralela ao eixo da abscissa conforme o valor obtido da relação **ρ**(**a**1)/**ρ**1, **K** negativo ou **ρ**1/ **ρ**(**a**1), **K** positivo. Esta linha corta as curvas distintas dos valores de **K** e em cada curva marcada pela linha acha-se em valor correspondente para **h**/**a**, valores estes que são multiplicados por a1 e arquivados para análise final da estratificação, fig. 3.

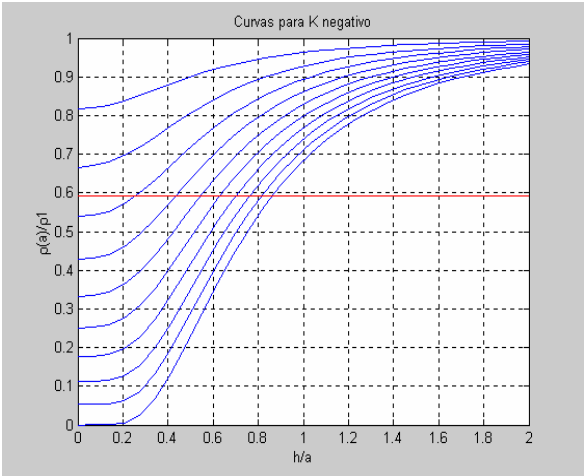

Fig.3 -Gráfico (**ρ**($\mathbf{a}_1$)/ρ_1 x **h/a**)

Um segundo valor de espaçamento (**a**2) é inserido, sendo este diferente de a1, e obtêm-se **ρ**(**a**2) e desta forma todo processo anterior é repetido gerando uma segunda linha vermelha no gráfico(**ρ**(**a**1)/**ρ**1 x **h/a**) paralela a já existente, fig. 4.

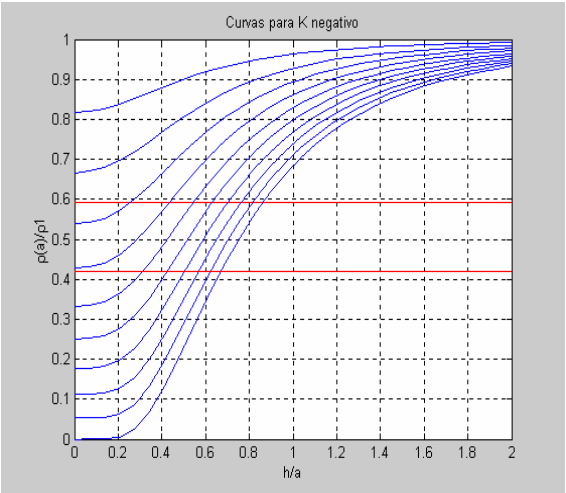

Fig.4 - Gráfico ($\rho(a_2)/\rho_1$ x **h/a**)

E para se obter a estratificação e seus outros parâmetros (**K**, **h**, ρ_2) basta acionar o botão "estratificando", assim o software conclui a sua finalidade de estratificar o solo e obter os resultados ρ_1, ρ_2 e os valores reais de **K** e **h**, fig. 5.

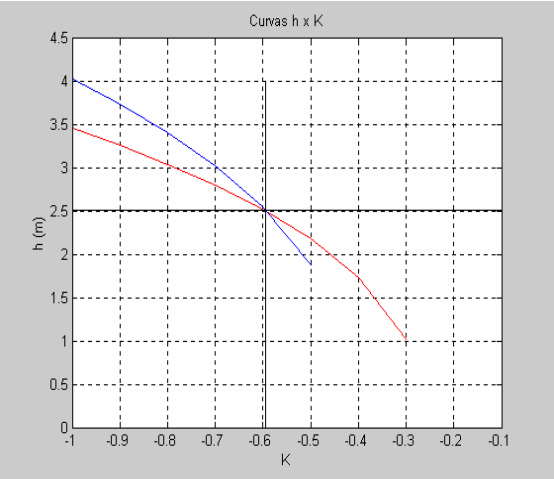

Fig.5 - Curvas **h x K**

III. RESULTADOS OBTIDOS

Ao iniciar o programa o usuário deverá preencher a coluna resistência, Fig. 6, com os valores obtidos em campo.

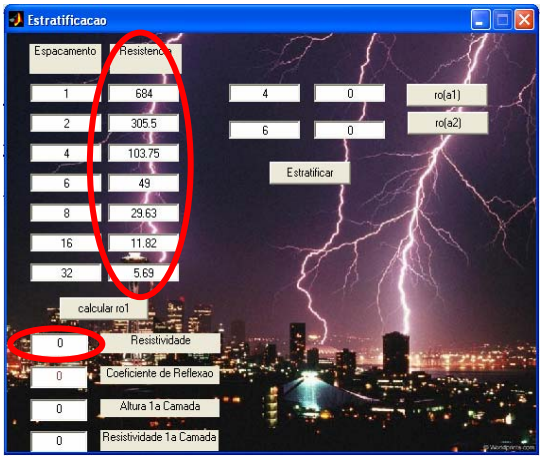

Fig.6 - Janela de Parâmetros

Após inserir os parâmetros iniciais, o usuário acionará o botão **calcular ro1,** obterá o resultado no campo resistividade de ρ_1 e o gráfico da Fig. 2.

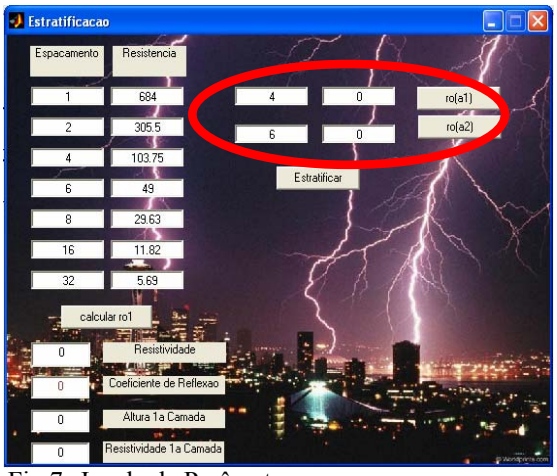

Fig.7- Janela de Parâmetros

Em seguida o usuário entrará com espaçamento $\mathbf{a}_1$ (4), Fig.7, que deverá estar dentro da faixa de valores de espaçamentos entre hastes utilizados no método de Wenner, com a entrada do mesmo, obteremos o resultado de $\rho_{1\,(a1)}$ e o gráfico Curvas para **K** negativo da Fig. 3, logo, será habilitada a entrada para um novo valor $\mathbf{a}_2$ (6)**,** Fig.7, que processado resultará em $\rho_{1\,(a2)}$, e o segundo gráfico referente a Curvas para **K** negativo em função de **a**2 Fig. 4.

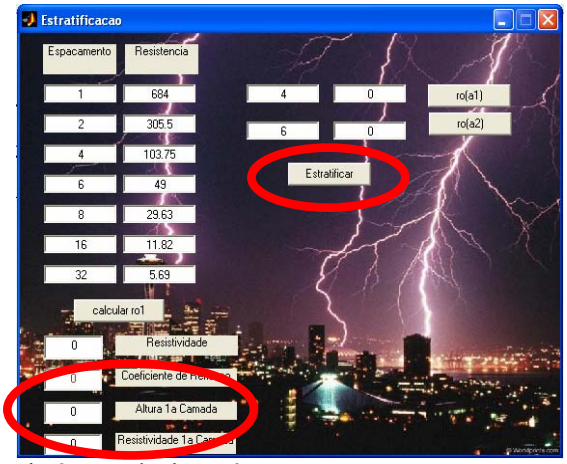

Fig.8 - Janela de Parâmetros.

Neste ponto a primeira parte do programa estará concluída. Acionando o botão estratificar, Fig.8, dar se á inicio a finalização da estratificação com o surgimento do quarto gráfico, Fig.5, e obtendo os valores finais e reais e finais de $\boldsymbol{\rho}_1$, $\boldsymbol{\rho}_2$, **K**, **h**, Fig.8.

E importante observar que os parâmetros de espaçamento estão inseridos no programa como *default*, caso o usuário queira utilizar outros basta alterar os mesmos e o programa respondera normalmente.

IV. CONCLUSÃO

Neste trabalho realizamos o estudo da estratificação do solo utilizando o método de duas camadas usando curvas. Foram coletados em campo dados da obtenção da resistividade do solo através do Método de Wenner. Estes dados Foram inseridos no programa, que é um software elaborado para realizar todas as operações matemáticas envolvidas no método de duas camadas.

O software não só apresenta os valores da resistividade, coeficiente de reflexão e espessura das camadas, como também os gráficos envolvidos no processo.

O programa base deste software, é a plataforma Matlab, que tem uma linguagem de programação simples e eficaz para o estudo proposto, porém pode ser aperfeiçoado no futuro para um formato comercial, utilizando uma outra linguagem de programação mais robusta.

REFERÊNCIAS

[1] G.C. Simpson, Phil. Trans. , 205, 1905.

[2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. Instalações Elétricas de Baixa Tensão: NBR 5410, Rio de Janeiro, 2005, p 212.

[3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. Proteção de Edificações Contra Descargas Elétricas Atmosféricas: NBR 5419, Rio de Janeiro, 2005, p.

[4] G. Kindermann, J.M. Campagnolo, Aterramento Elétrico, 5° Ed, LabPlan, Santa Catarina, 2002.

[5] E. Y. Matsumoto, MatLab: Fundamentos de Programação, 2° Ed, Érica, São Paulo, 2004.