



Revista Brasileira de Geomorfologia - Ano 9, nº 2 (2008)

## **MAPEAMENTO DA SUPERFÍCIE BASAL DO MANTO DE INTEMPERISMO PELO COMPORTAMENTO DA RESISTIDADE ELÉTRICA DO DISTRITO FEDERAL**

***Eder de Souza Martins***

*EMBRAPA Cerrados – Pedologia e Geomorfologia, BR 020, km 18, Caixa Postal: 08223, 73310-970, Planaltina, DF,  
E-mail: {eder, reatto}@cpac.embrapa.br;*

***Osmar Abílio de Carvalho Junior***

*UnB Universidade de Brasília – Departamento de Geografia Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF,  
E-mail: {osmarjr, renatofg}@unb.br;*

***Gustavo de Assunção Mello***

*Empresa HGeo Tecnologia em Geociências SCLN 211, Bloco C, Sala 202, 70754-530, Brasília, DF,  
E-mail: {gustavo, rmoraes, acbpires}@hgeo.com.br;*

***Adriana Reatto***

*EMBRAPA Cerrados – Pedologia e Geomorfologia, BR 020, km 18, Caixa Postal: 08223, 73310-970, Planaltina, DF,  
E-mail: {eder, reatto}@cpac.embrapa.br;*

***Roberto Alexandre Vitória de Moraes***

*Empresa HGeo Tecnologia em Geociências SCLN 211, Bloco C, Sala 202, 70754-530, Brasília, DF,  
E-mail: {gustavo, rmoraes, acbpires}@hgeo.com.br;*

***Augusto César Bittencourt Pires***

*Empresa HGeo Tecnologia em Geociências SCLN 211, Bloco C, Sala 202, 70754-530, Brasília, DF,  
E-mail: {gustavo, rmoraes, acbpires}@hgeo.com.br;  
UnB Universidade de Brasília – Instituto de Geociências, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF,  
E-mail: acbpires@unb.br*

***Renato Fontes Guimarães***

*UnB Universidade de Brasília – Departamento de Geografia Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF,  
E-mail: {osmarjr, renatofg}@unb.br;*

---

### **Resumo**

Este trabalho apresenta o mapeamento do manto de intemperismo pelo comportamento da resistividade elétrica do Distrito Federal. O levantamento foi realizado entre 2004 e 2005, constituído de 260 sondagens elétricas verticais, que alcançam até 48 m de profundidade aparente, e de 10 estações de monitoramento mensal da resistividade elétrica para avaliação das variações sazonais. Os resultados mostraram que o comportamento da resistividade elétrica depende das características físicas do solo, das alterações de umidade relacionadas com as variações de pluviosidade e da posição na paisagem. Solos rasos apresentam um comportamento de aumento da resistividade elétrica com a profundidade, enquanto solos profundos mostram diversos padrões que se relacionam com o lençol freático, onde a resistividade elétrica é mais baixa. O comportamento da profundidade da camada mais condutiva pode ser relacionado com a superfície basal de etchplanos da região estudada.

**Palavras-chave:** aterramento elétrico; Cerrado; geofísica; resistividade elétrica; solo tropical.

## Abstract

This work presents a weathering mantle front mapping by electric resistivity behavior of Federal District. The study was accomplished between 2004 and 2005, consisting of 260 vertical electric surveys, reaching until 48 m of apparent depth, and of 10 monthly monitoring stations of the electric resistivity for evaluation of the seasonal variations. The results showed that the behavior of the electric resistivity depends on the physical characteristics of the soil, of the humidity alterations related with the rain precipitation variations and of the position in the landscape. Shallow soils present a behavior of increase of the electric resistivity with the depth, while deep soils show several patterns that link with the phreatic level, where the electric resistivity is lower. The behavior of the higher conductivity layer depth can be related with basal surface of etchplains from study region.

**Keywords:** electric grounding; Savannah; Cerrado biome; geophysics; electric resistivity; tropical soil.

## Introdução

### Relações dos solos tropicais e evolução geomorfológica

O intemperismo químico em condições tropicais é fundamental no desenvolvimento dos regolitos (NAHON, 1991; TARDY, 1997) e das formas de relevo (TWIDALE, 2002). Estas condições permitem o desenvolvimento de duas superfícies que limitam os regolitos tropicais, a “Doppelten Einebnungsflächen”, uma superior que está em contato com a atmosfera e sujeita a processos erosivos, e outra inferior que limita a ação da água e dos processos de intemperismo químico (BÜDEL, 1957).

A superfície inferior foi designada por Wayland (1934) como “superfície basal de intemperismo”. Este autor foi o primeiro a descrever o processo de etchplanação, envolvendo o balanço de intemperismo químico e físico sob o clima tropical. Este conceito foi retomado por Büdel (1957, 1981), como base para a sua Geomorfologia Climática. Este autor constrói um modelo onde os processos conjugados de intemperismo químico e físico permitem a denudação diferencial dos regolitos e formação de superfícies de aplainamento designadas de etchplanos (VITTE, 2001).

Os estágios de etchplanação podem ser classificados, de acordo com Thomas (1994), como: *etchplano*, no caso em que os regolitos apresentam as duas superfícies, superior e inferior, bem preservadas; *etchsuperfície*, quando o regolito está totalmente denudado e aflora a superfície basal de intemperismo.

A preservação de etchplanos e o desenvolvimento de etchsuperfícies ainda são pouco compreendidos, mas sabe-se que do controle litoestrutural e o papel da história climática e tectônica são os fatores determinantes (PHILLIPS, 2002). Em regiões de clima temperado, as glaciações do Quaternário foram responsáveis pela retirada dos regolitos desenvolvidos sob clima tropicais mais antigos (BÜDEL, 1981; Thomas, 1994), total ou parcialmente (MIGON & LIDMARBERGSTRÖM, 2001). Por outro lado, em regiões tropicais, os relevos mais antigos preservados podem remontar ao

Cretáceo, uma vez que a ação das fases glaciais nestas condições é a diminuição da pluviosidade e da temperatura, mas não a ponto de formação de geleiras (BÜDEL, 1981).

A composição e a organização das rochas apresentam suscetibilidades distintas em relação ao intemperismo químico e físico e condicionam tanto a evolução da superfície basal, como os processos de erosão superficiais (THOMAS, 1994).

### Resistividade elétrica aplicada no estudo pedogeomorfológico

Os estudos pedogeomorfológicos necessitam de técnicas que possibilitem a integração de aspectos do relevo e dos solos. Os solos tropicais apresentam características próprias devido ao seu caráter policíclico e com íntima relação com a evolução geomorfológica (NAHON, 1991).

Os levantamentos de resistividade elétrica (RE) têm aplicações nos estudos hidrogeológicos (MCNEILL, 1991), estratigráficos (AMMONS et al., 1989; MCNEILL, 1980; ZALASIEWICZ et al., 1985), geotécnicos (CARVALHO et al., 2004; FONSECA et al., 2006), prospecção mineral (DOBRIN & SAVIT, 1988; LOWRY, 1997), e pedológicos (AMMONS et al., 1989; TABBAGH et al., 2000).

Nos estudos de solos a RE é dependente dos seguintes fatores: textura, umidade, composição mineralógica, porosidade, permeabilidade e composição química da água do solo (BANTON et al., 1997). Dependendo da região, alguns destes fatores podem determinar o comportamento da RE. Em regiões áridas ou semi-áridas relaciona-se com a textura e o teor de sais (RHOADES et al., 1989). A RE está associada especialmente à textura e permeabilidade dos solos sob clima temperado (HARTSOCK et al., 2005). Em climas tropicais úmidos ou semi-úmidos a RE depende principalmente da saturação em água, variando substancialmente em relação às estações do ano (AUERSWALD et al., 2001). Recentemente, a RE é utilizada na agricultura de precisão, uma vez que pode relacionar-se com variáveis de manejo do solo por meio de funções de pedotransferência (FRAISSE et al., 2001; HARTSOCK et al., 2005).

O objetivo deste trabalho é mapear o manto de intemperismo do Distrito Federal pelo comportamento da resistividade elétrica.

### Área de Estudo

O Distrito Federal localiza-se no Planalto Central do Brasil (**Figura 1**), compreendendo uma área de 5814 km<sup>2</sup>, limitando-se ao norte pelo paralelo de 15°30' latitude sul, a leste pelo rio Preto, ao sul pelo paralelo de 16°03' de latitude sul e oeste pelo rio Descoberto. A região é drenada por rios que pertencem a três das mais importantes bacias fluviais da América do Sul: a bacia do Paraná (rio Descoberto, rio São Bartolomeu), bacia do São Francisco (rio Preto) e bacia do Tocantins (rio Maranhão).

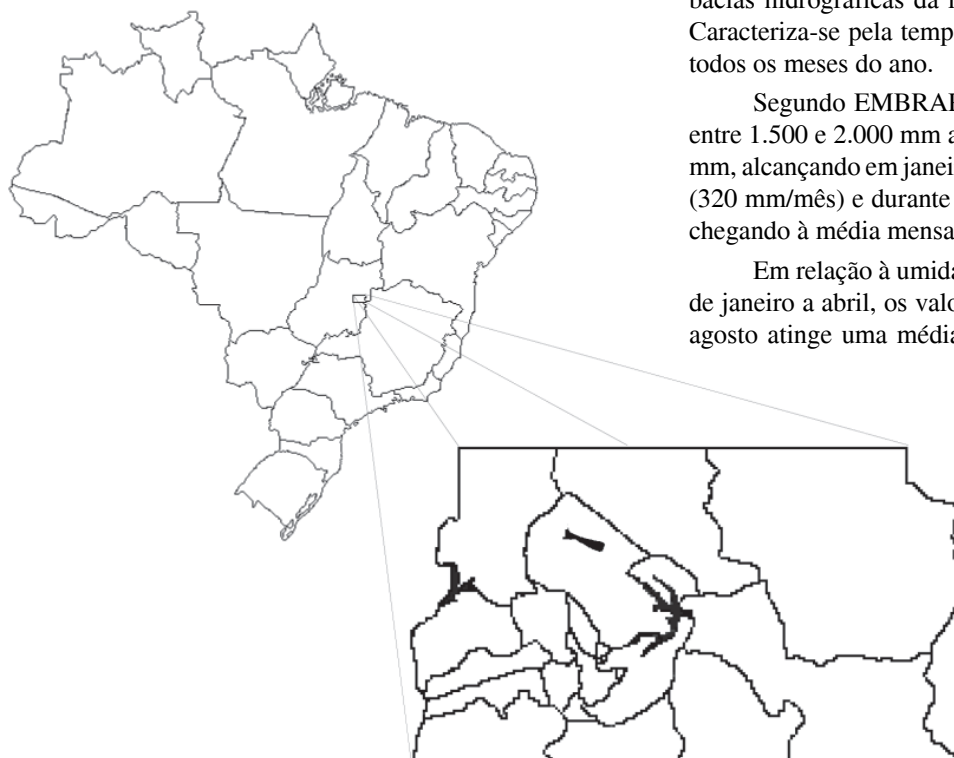


Figura 1 – Localização do Distrito Federal

A vegetação predominante no Distrito Federal é o cerrado, cobrindo cerca de 90% de sua área. Encontram-se todos os tipos de vegetação comumente englobados sob o termo cerrado, que vão desde árvores de porte elevado até ervas esparsas, formando um mosaico com a vegetação de matas galerias e ciliares em torno das drenagens e rios (EITEN, 1994).

Segundo a classificação de Köppen, o clima atual na região do DF enquadra-se entre os tipos “tropical de savana” e “temperado chuvoso de inverno seco”, caracterizado pela existência bem nítida de duas estações: uma chuvosa e quente, entre os períodos de outubro a abril, e outra fria e seca, de maio a setembro (MARTINS *et al.*, 2004).

Como as variações locais de precipitação não são relevantes, a classificação climática baseia-se principalmente nas variações de temperatura (CODEPLAN, 1984). Conforme esse estudo, o clima tropical de altitude (Cwb) é típico das chapadas mais elevadas, acima de 1200 m. Caracteriza-se pela temperatura inferior a 18° C, no mês mais frio, e média inferior a 22° C, no mês mais quente. O clima tropical de altitude (Cwa) ocorre no Pediplano de Brasília, em cotas entre 1000 e 1200 m. Caracteriza-se pela temperatura inferior a 18° C, no mês mais frio, e média superior a 22° C, no mês mais quente. O clima tropical (Aw) situa-se nas principais bacias hidrográficas da região, abaixo da cota de 1000 m. Caracteriza-se pela temperatura média superior a 18° C em todos os meses do ano.

Segundo EMBRAPA (1978), as precipitações variam entre 1.500 e 2.000 mm anuais, e a média em torno de 1600 mm, alcançando em janeiro o seu maior índice pluviométrico (320 mm/mês) e durante os meses de junho, julho e agosto, chegando à média mensal total da ordem de 50 mm.

Em relação à umidade relativa do ar, durante os meses de janeiro a abril, os valores flutuam em torno de 75%. Em agosto atinge uma média mínima de 30%, porém, durante alguns dias, pode alcançar valores de até 11%.

### Geologia

O DF está localizado no setor oriental da Província Estrutural do Tocantins, mais especificamente, na porção centro sul da Faixa de Dobramentos Brasília (ALMEIDA e HASUI, 1984; MARINI *et al.*, 1981, 1984). De acordo com esses autores, a estruturação Brasileira é representada principalmente por dobras isoclinais a recumbentes, lineares, com foliação de transposição, falhamentos inversos, cavalgamentos, transcorrências e, no final do ciclo, uma tectônica distensiva. Todas essas estruturas mostram marcada vergência para leste, em direção ao Cráton do São Francisco. A geologia da região (**Figura 2**) é composta por rochas metassedimentares dos grupos Canastra, Paranoá, Araxá e Bambuí (FREITAS-SILVA e CAMPOS, 1999).

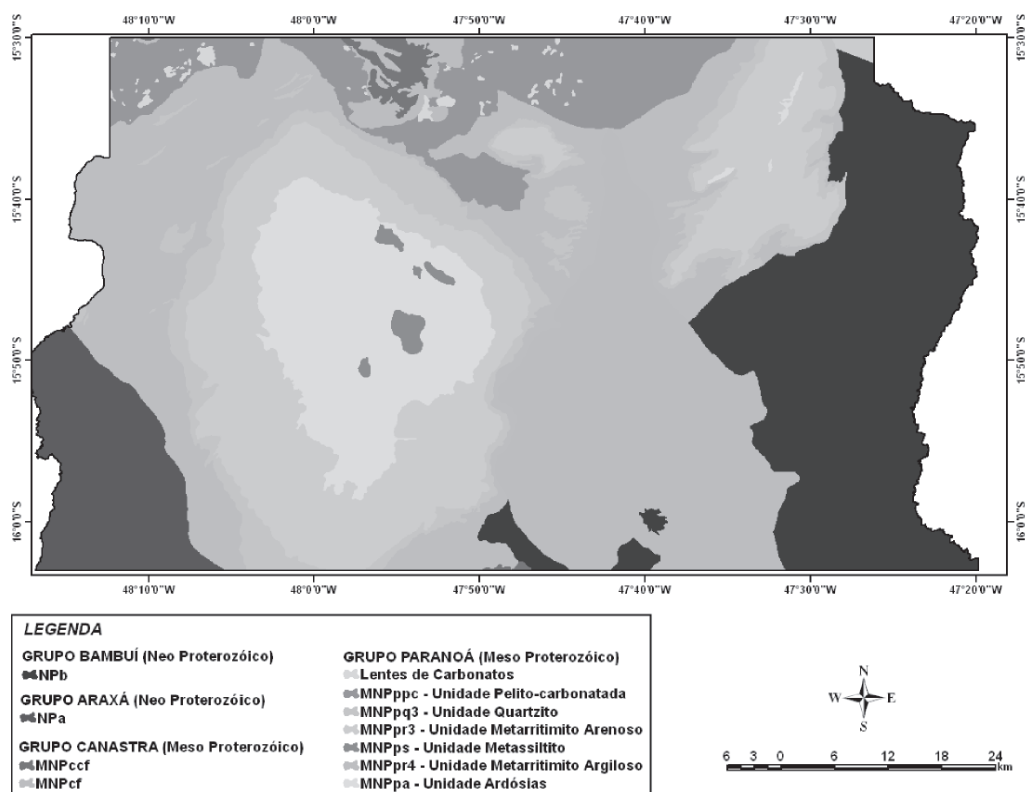


Figura 2 – Mapa geológico do Distrito Federal (Fonte: Freitas-Silva e Campos, 1999).

O Grupo Paranoá é considerado de idade Meso/Neoproterozóica, sendo composto por rochas metapsamopélticas e carbonatadas, estudadas por Faria (1995) na região de São João da Aliança/Alto Paraíso de Goiás. No DF são separadas em seis unidades, correlacionáveis da base para o topo com as unidades S, A, R<sub>3</sub>, Q<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> e PC das áreas-tipo.

O Grupo Canastra é datado como de idade Meso/Neoproterozóica, sendo subdividido nas formações Serra do Landin, Paracatu e Serra dos Pilões (FREITAS-SILVA & DARDENNE, 1993). No DF são constituídos principalmente por clorita e sericita filitos e subordinadamente calcifilitos, filitos carbonosos, quartzitos e mármores finos, correlacionáveis com as formações Serra do Landin e Paracatu.

O Grupo Araxá foi datado como Neoproterozóico (PIMENTEL *et al.*, 1993), sendo no DF, representado por muscovita xistos, clorita-quartzito xistos, muscovita-granada xistos e raras lentes de quartzitos micáceos.

O Grupo Bambuí foi extensivamente estudado por Dardenne (1978), sendo considerado de idade

Neoproterozóica e constituído por uma seqüência pelito-carbonatada-arcoseana, dividida da base para o topo nas formações Jequitaiá, Sete Lagoas, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias. No DF é representado por metassiltitos, metassiltitos argilosos, metargilitos e raras intercalações de arcóseos, correlacionáveis ao topo da Formação Serra da Saudade e à base da Formação Três Marias.

Os contatos entre as várias unidades são tectônicos e representados por sistemas de cavalgamentos regionais com vergência para o Cráton, desenvolvidos durante a evolução do Ciclo Brasileiro. Os sistemas de empurrão invertem a estratigrafia regional e foram denominados de Sistema do Paraná (sobrepõe o Grupo Paranoá sobre o Grupo Bambuí), Sistema Bartolomeu/Maranhão (coloca o Grupo Canastra sobre os Grupos Paranoá e Bambuí) e Sistema Descoberto (desloca o Grupo Araxá sobre o Grupo Paranoá) (FREITAS-SILVA e CAMPOS, 1999).

As megaestruturas observadas no DF denunciam dobramentos no estilo domos e bacias (caixa de ovo), onde se observa um alongamento maior do eixo NS em relação ao

EW, evidenciando um padrão de interferência de esforços nessas direções, sendo a mais importante a EW, com vergência para o Cráton do São Francisco. Essas megaestruturas são associadas à última fase do Ciclo Brasileiro (FARIA, 1995).

Os lineamentos marcados pelas linhas de drenagem e cristas evidenciam um padrão de cisalhamento conjugado N45W e N45E associados à compressão de oeste para leste. Os lineamentos próximos de NS e EW podem ser interpretados como fraturas de extensão e dilatacionais, respectivamente. Esta organização dos lineamentos é típica de toda a Faixa Brasília (MARINI *et al.*, 1981, 1984).

A principal direção de falhas/fraturas observadas por Freitas-Silva & Campos (1993) na região do Parque Nacional de Brasília é N15E/90, mas evidencia nos estereogramas uma grande dispersão, apresentadas no campo de forma radial em relação à Barragem de Santa Maria. A segunda direção importante de falhas/fraturas é ortogonal ao sistema anterior. Esses dados indicam que essas feições rúpteis, que ultimaram o processo, são resultantes do padrão de domeamento existente.

## Geomorfologia

O Distrito Federal situa-se em uma das porções mais elevadas do Planalto Central, que segundo King (1956) e Braun (1971), corresponde às remanescentes dos aplainamentos resultantes dos ciclos de erosão Sul-americano e Velhas, que se desenvolveram entre o Terciário Inferior e Médio, e entre o Terciário Médio e Superior, respectivamente.

Segundo Ab'Saber (1977), as características geomorfológicas da paisagem no domínio morfoclimático do Cerrado resultam de uma prolongada interação de regime climático tropical semi-úmido com fatores litológicos, edáficos e bióticos. Estudos específicos da região foram realizados por Belcher (1954), EMBRAPA (1978), CODEPLAN (1984) e Novaes Pinto (1987, 1994).

Segundo Novaes Pinto (1987), a paisagem natural do DF apresenta-se integrada por 13 unidades geomorfológicas, que constituem geossistemas inter-relacionados e hierarquizados. Por suas similaridades morfológicas e genéticas, as unidades geomorfológicas agrupam-se em três tipos de paisagem (macrounidades) característicos da região de cerrados (**Figura 3**).

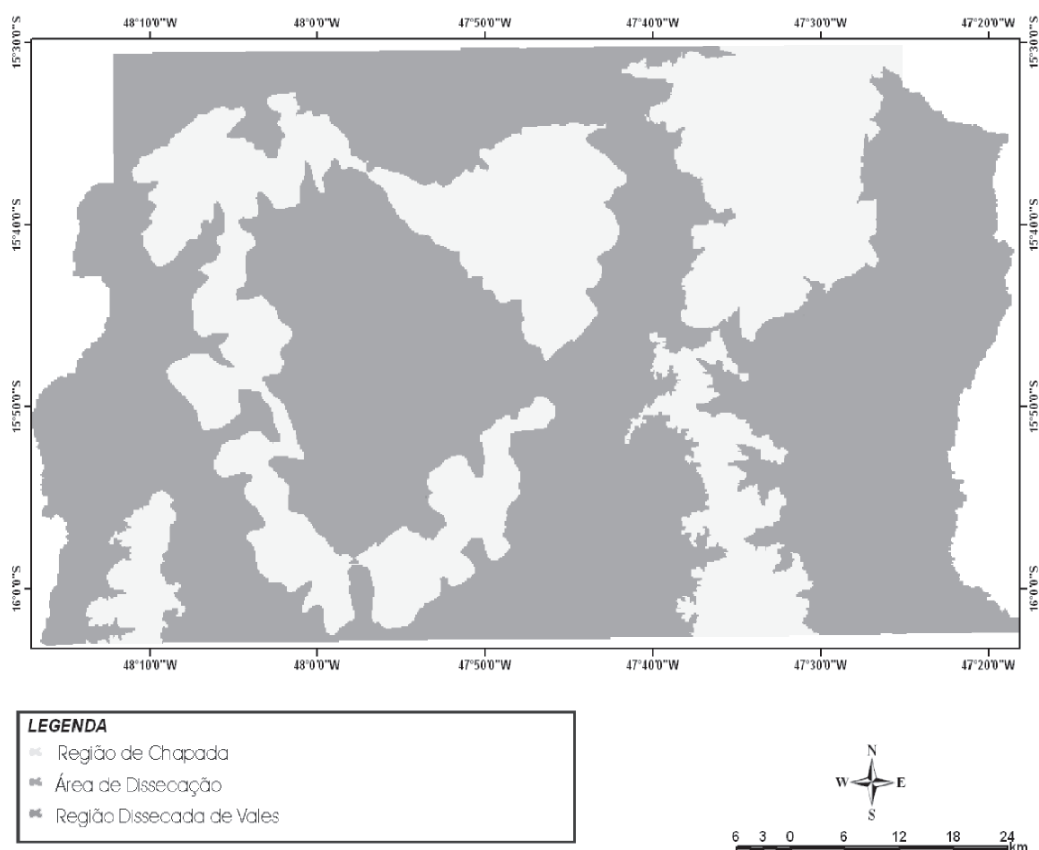


Figura 3 – Mapa geomorfológico do Distrito Federal (Fonte: Novaes Pinto, 1994).



Novaes Pinto (1987, 1994) descreve que as chapadas, pediplanos e pedimentos são residuais de aplainamentos cenozóicos, tendo sido as primeiras (Chapadas) modeladas por processos de etchiplanação durante o Terciário, e os demais (pediplanos e pedimentos) por processos de pediplanação e pedimentação iniciados no Plioceno e alternados durante o Quaternário, por fases de dissecação ao longo dos vales.

Martins (2000) considera a evolução a partir da formação de rególito laterítico espesso, entre o Cretáceo Inferior e Terciário Médio. A superfície original seria plana, mas apresentava ondulações que acompanhavam a organização litotectônica. Existiam depressões naturais onde ocorrem bacias estruturais (sinclinais), assim como elevações em domos estruturais. Isto explica em parte a organização das residuais da superfície Sul-americana, que ocorrem principalmente nos

domos estruturais. A etapa de formação do rególito laterítico espesso pode ser classificada como de geração de um Etchiplano pouco denudado. A partir do Terciário Médio, ocorre um aprofundamento do nível de base por Neotectônica e/ou por mudança climática para condições mais secas, o que provocou a denudação das fácies mais friáveis que cobriam as chapadas.

### Solos

Os solos do DF representam as principais classes de solo da região do cerrado (BUOL & CLINE, 1973). A melhor fonte de informações sobre os solos encontrados no DF é o trabalho realizado pelo Serviço Nacional de Levantamento de Solos (EMBRAPA, 1978), de onde se obteve o mapa pedológico do DF, na escala 1:100.000 (Figura 4).

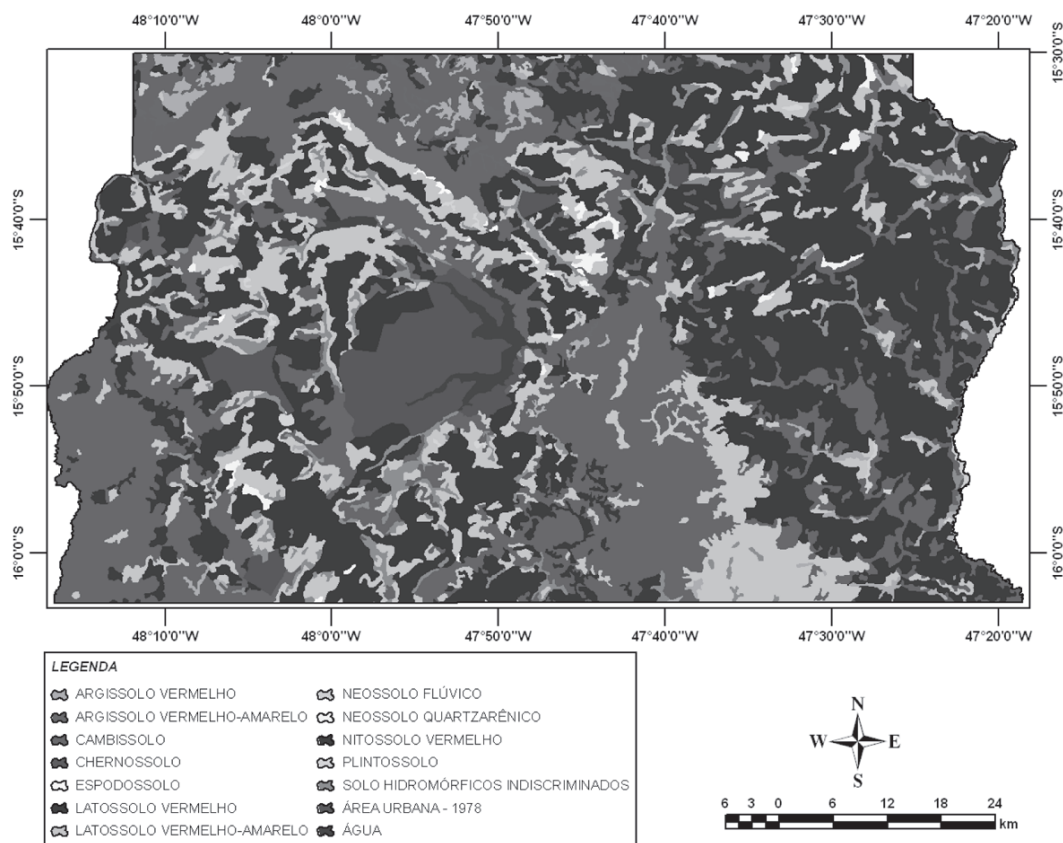


Figura 4 – Mapa pedológico do Distrito Federal (Fonte: Embrapa, 1978).

A partir do trabalho citado, identifica-se que a região possui três classes de solos mais importantes, denominadas de Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Cambissolo (CX). A representatividade territorial destes no DF é de 85,49%.

Os Latossolos representam 54,47% da área, divididos em LV (38,63%) e LVA (15,84%). A classe LV ocorre principalmente nos topos das chapadas, principais divisores com topos planos, na depressão do Paranoá e na bacia do Preto. A classe LVA ocorre principalmente nas bordas de chapada e divisores, em superfícies planas abaixo dos topos da chapada da Contagem, sempre adjacentes à classe LV. A classe LVA ocorre especialmente no divisor Descoberto-Preto.

A classe CX (31,02%) ocorre preferencialmente nas vertentes das bacias mais importantes, do Maranhão, do Descoberto e do São Bartolomeu, além das encostas com declividades mais elevadas na depressão do Paranoá e na bacia do Preto.

Todas as outras classes que ocorrem no DF cobrem 9,06% do total, representados por: Argissolos (4,09%); Chernossolos (0,09%); Neossolos Flúvicos (0,19%); Gleissolos e Plintossolo (4,16%); Neossolos Quartzarênicos (0,53%). O restante da área é representada por superfície aquática e áreas urbanas (5,45%). Os Argissolos são mais típicos na bacia do Maranhão associados aos Chernossolos. Os Neossolos Flúvicos ocorrem em porções restritas dos vales do Preto e Maranhão. Os Gleissolos e Plintossolos são importantes ao longo de pequenos córregos e nascentes dos principais rios. A classe

Neossolo Quartzarênico é típica do rebordo de chapadas, especialmente sobre quartzitos.

## Material e Métodos

O estudo foi realizado a partir de 260 sondagens elétricas verticais (SEV) entre 2004 e 2005, e de 10 estações de monitoramento mensal durante 2005. Os dados de todas as estações foram corrigidos em função dos valores obtidos na época seca (maio a setembro), valores mais elevados encontrados para cada SEV, fundamental no planejamento do aterramento elétrico com maior margem de segurança.

A definição dos pontos de amostragem foi feita a partir da definição de unidades de solos mais representativas (EMBRAPA, 1978).

Os pontos de amostragem consideraram a área útil, onde foram retiradas as áreas de preservação e as porções com distância acima de 200 m adjacentes às linhas de transmissão para eliminar a interferência no levantamento de resistividade elétrica. A densidade de pontos final foi em torno de 1 ponto a cada 10 km<sup>2</sup> de área útil.

Foram executadas sondagens elétricas verticais seguindo o arranjo de Wenner (**Figura 5**). Com o ponto central fixo, afastam-se os eletrodos C1, C2, P1 e P2 gradativamente em distâncias pré-determinadas (a), mantendo-os equidistantes e fazendo uma medida para cada abertura dos eletrodos. Quanto mais os eletrodos se afastam do centro, mais a corrente elétrica penetra profundamente no subsolo.

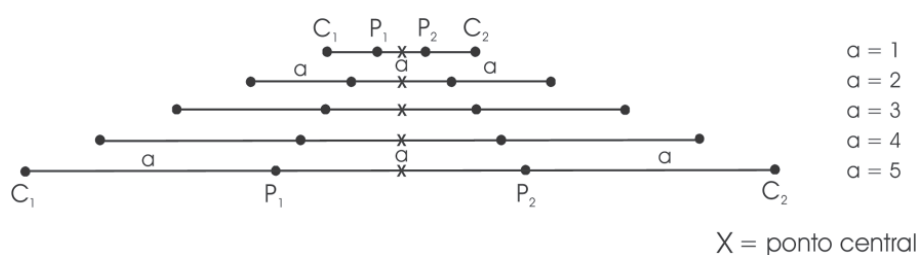


Figura 5. Movimentação dos eletrodos no arranjo Wenner.

Foi empregado o eletrorresistivímetro Geopulse fabricado pela empresa Campus e distribuído pela Scintrex, Canadá. Esse sistema foi construído para executar automaticamente medidas da resistividade aparente do solo para cada espaçamento dos eletrodos sem a necessidade da mudança manual dos mesmos.

Para cada SEV, todos os eletrodos são fincados no solo e conectados em 24 terminais ao longo de dois

cabos (12 terminais em cada), construídos a partir de diversos outros cabos que conectam os terminais a uma caixa de controle que é conectada ao Geopulse. A posição dos 12 terminais de cada cabo é determinada pelos 12 espaçamentos utilizados entre os eletrodos: 1, 1,5, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 16, 24, 32 e 48 metros. Seguindo as normas da ABNT, cada ensaio consistiu de 5 SEVs (**Figura 6**).

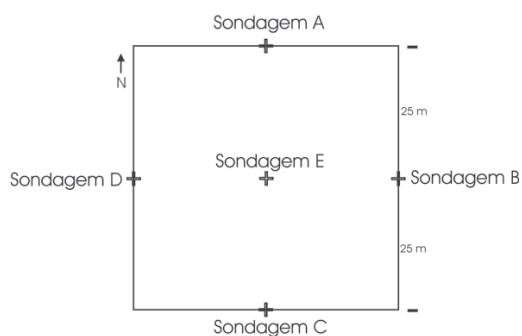


Figura 6. Esquema de posicionamento das 5 SEVs que compõem um ensaio de resistividade de solos.

A interpretação de curvas de sondagem foi interpretada por meio de algoritmos de inversão. O método de inversão consiste em calcular uma curva teórica e compará-la com a curva de campo. A comparação é feita utilizando-se da técnica de mínimos-quadrados, entre os valores observados de  $\rho_a$  versus  $AB/2$  e os valores calculados de  $\rho_a$ , devido a 4 eletrodos sobre n-camada. Este método possibilita que a cada tentativa de comparação, o erro alcance valores menores até um limite aceitável, geralmente  $< 5\%$ .

As medidas de resistividade elétrica aparente ( $\Omega.m$ ) são plotadas em um gráfico bi-logarítmico em função da

distância  $AB/2$  (m) e interpretadas, visando obter uma estruturação elétrica vertical análoga à estruturação litológica real. O gráfico pode ser interpretado visualmente para caracterizar qualitativamente o local sondado, em termos de um modelo geoeétrico estratificado verticalmente, ou pode ser comparado com curvas padrão, na tentativa de determinar o número de camadas com resistividades diferentes na subsuperfície e suas respectivas espessuras.

Os dados de campo foram processados utilizando programas de interpretação, *SOUNDER*, distribuído pela *GRADIENT Geology and Geophysics Inc.*, *SURFER* e *GRAPHER*, distribuído pela *GOLDEN Softwares Inc.* O primeiro fornece, através dos processos de inversão, a variação da resistividade no subsolo em função da profundidade, os outros programas realizam o tratamento estatístico e a plotagem dos dados em gráficos, mapas e perfis.

A partir dos dados foram obtidos os mapas da camada mais condutora, de resistividade elétrica por profundidade e de integração até 2,5m de profundidade.

## Resultados

A Figura 7A mostra o comportamento da camada mais condutora em relação à profundidade, e a Figura 7B representa o modelo digital de terreno (MDT) derivado de imagens SRTM. Em vermelho a camada mais condutora ocorre até 2 m de profundidade, enquanto em amarelo e verde entre 2 e 4 m. Em azul a camada mais condutora ocorre entre 4 e 16 m.

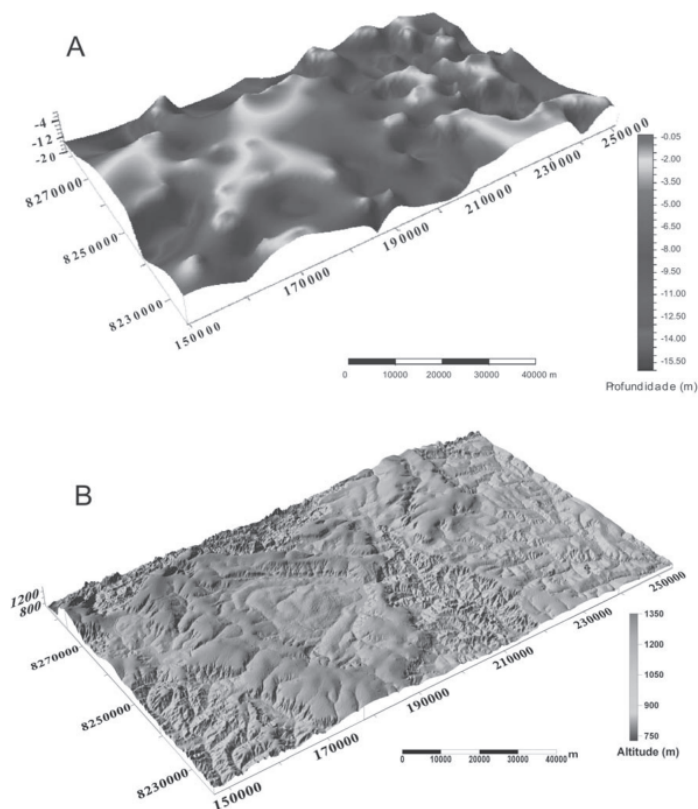


Figura 7 – (A) Distribuição da camada mais condutora; (B) Modelo digital do terreno gerado a partir de imagens SRTM.



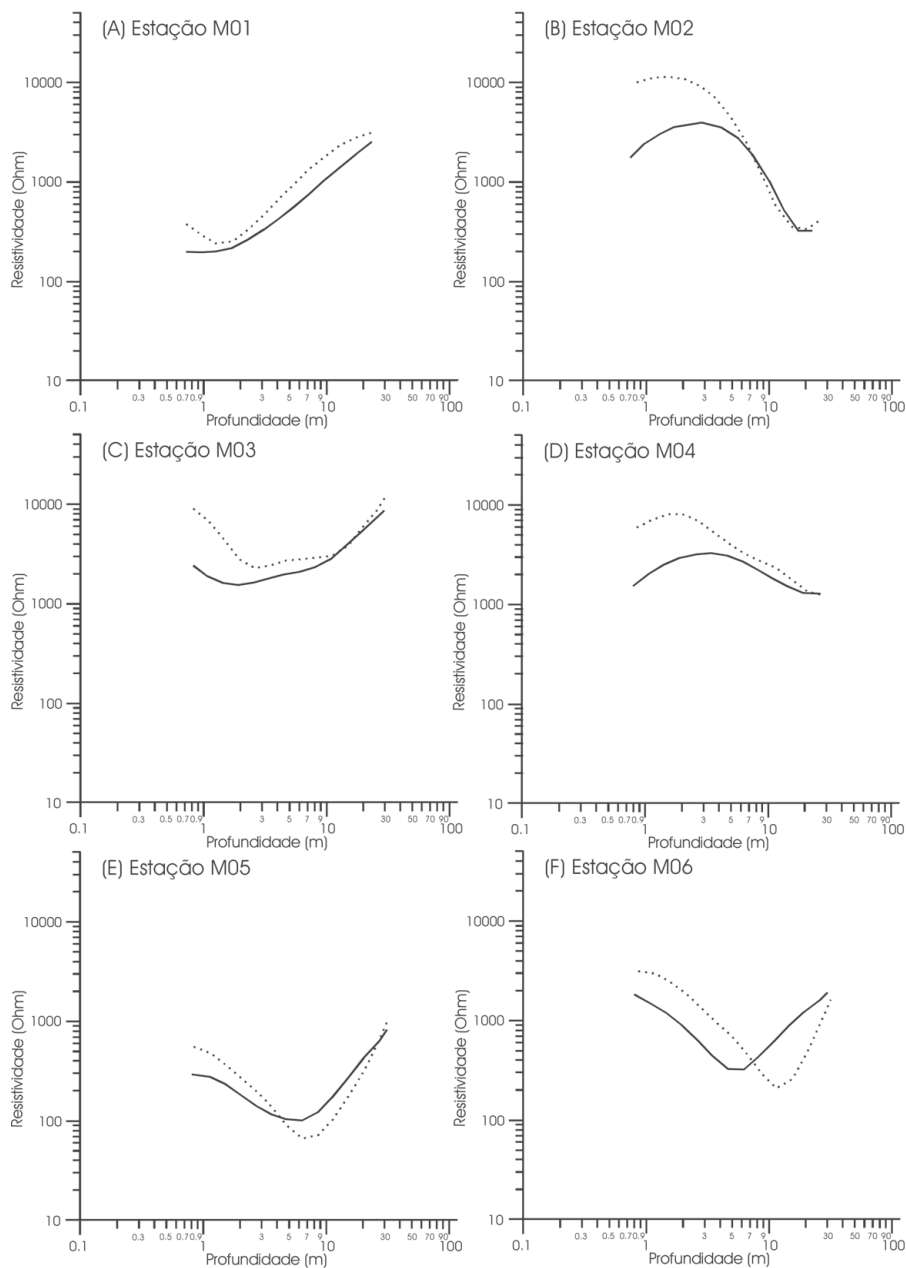


Figura 8 – Comportamento da resistividade elétrica em profundidade para a estação de monitoramento: (a) M1, (b) M2, (c) M3, (d)M4, (e) M5 e (f) M6.

Os gráficos de comportamento da resistividade elétrica em profundidade, durante as estações seca e chuvosa, são

apresentados nas Figuras 6 e 7, respectivamente para as 10 estações de monitoramento.

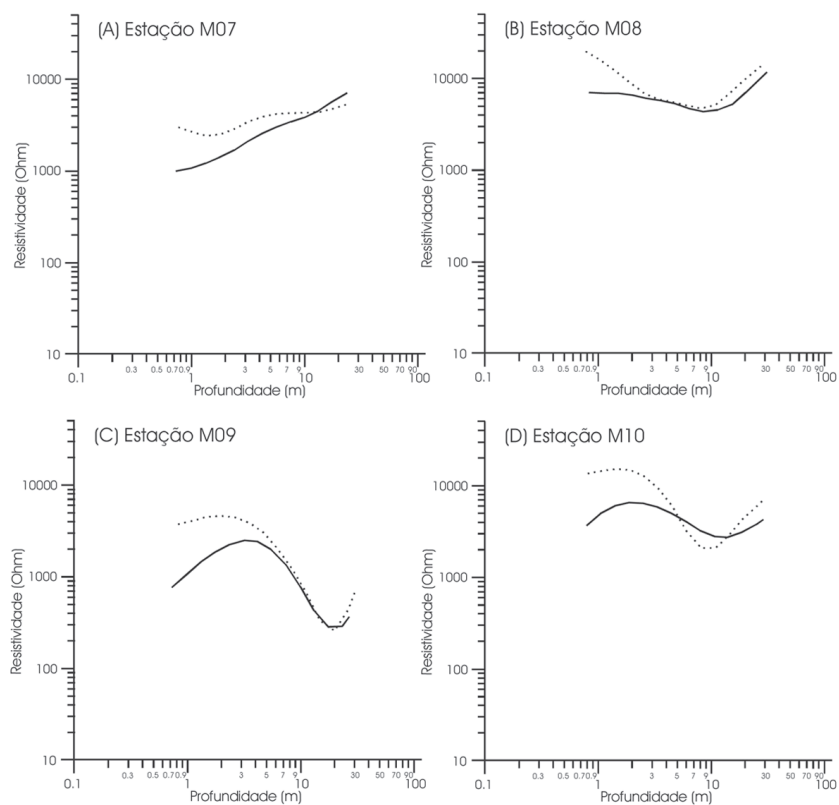


Figura 9 – Comportamento da resistividade elétrica em profundidade para a estação de monitoramento: (a) M1, (b) M2, (c) M3, (d) M4, (e) M5 e (f) M6.

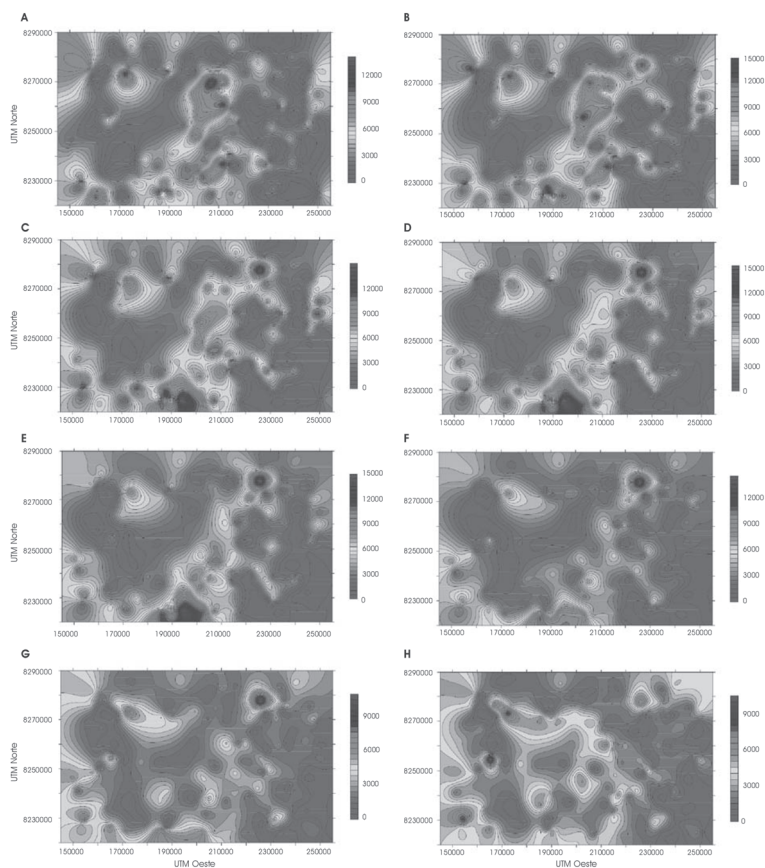


Figura 10 – Comportamento da resistividade elétrica em profundidade para a estação de monitoramento: (a) M7, (b) M8, (c) M9 e (d) M10.

Os mapas de comportamento da resistividade para cada profundidade estudada são apresentados nas Figuras 8. O mapa

de integração da resistividade elétrica até 2,5 m com seu respectivo histograma de distribuição em área é apresentado na Figura 9.

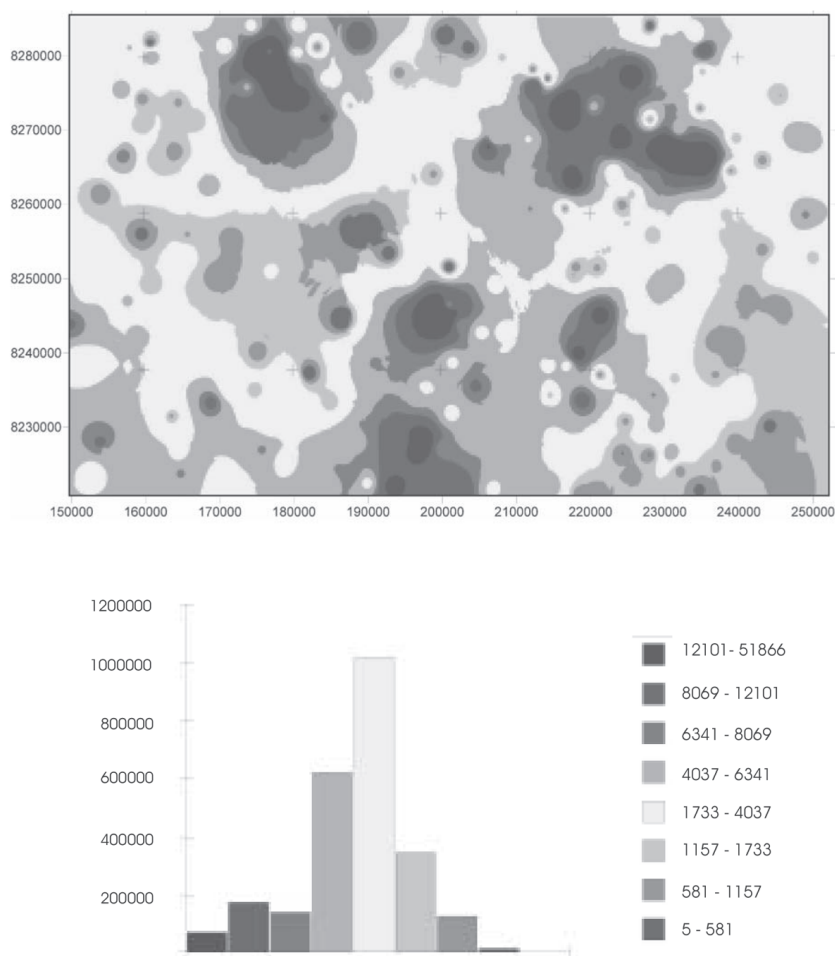


Figura 11 – Mapa do comportamento da resistividade elétrica integrada à profundidade de 2,5 m e seu respectivo histograma de distribuição.

## Discussão

A estratégia de orientar a amostragem em função das unidades de paisagem mostrou-se eficiente. Os resultados indicam que o comportamento da resistividade está relacionado com a organização dos fatores da paisagem. De uma forma geral, solos rasos (Cambissolo e Neossolo Litólico) apresentaram resistividade elétrica mais elevada que solos profundos (Latosolo e Neossolo Quartzarênico).

O comportamento da camada mais condutora indica o limite superior da posição do lençol freático, que pode ser interpretada como a transição entre a cobertura pedológica e a rocha subjacente.

Os dados obtidos em função da sazonalidade mostraram uma variação da resistividade elétrica para valores maiores na estação seca. Mesmo assim, as formas das curvas foram mantidas ao longo do ano monitorado. Estes fatos in-

dicam que o principal fator de variação da resistividade elétrica está relacionado com o estado de saturação em água do solo.

As curvas de comportamento da resistividade elétrica em profundidade indicam padrões de organização vertical do solo. Solos rasos e de baixa permeabilidade (Cambissolo) apresentam comportamento de resistividade continuamente crescente em profundidade (Figuras 6a, c e 7a). Solos profundos e bem drenados (Latosolo e Neossolo Quartzarênico) mostram comportamento de resistividade de diminuição progressiva até uma determinada profundidade, a partir da qual ocorre um aumento progressivo, indicando que a resistividade mínima está relacionada com a posição do lençol freático (Figuras 6e, f, e 7b).

As curvas restantes apresentam um comportamento invertido em relação a estas últimas, ou seja, um aumento progressivo até um máximo de resistividade elétrica em pro-

fundidade, a partir do qual ocorre uma diminuição progressiva em profundidades maiores. Este comportamento deve estar relacionado com solos relacionados em limites de unidade de paisagem, onde a drenagem subsuperficial e lateral é importante, independente do comportamento do solo sobrejacente.

A distribuição da resistividade elétrica integrada até a profundidade de 2,5 m mostra uma grande variação, entre 5 e 50.000  $\Omega$ .m. A resistividade elétrica mais freqüente está entre 2.000 e 5.000  $\Omega$ .m. Esta distribuição da resistividade elétrica nesta profundidade pode ser utilizada para o planejamento regional do aterramento elétrico. Os parâmetros construtivos, dependendo da obra, podem ser dimensionados e quantificados em função da resistividade prevista para a área considerada.

## Conclusão

As principais conclusões do trabalho são:

- O levantamento da resistividade elétrica mostrou uma relação com a organização da paisagem, especialmente a espessura da cobertura pedológica;
- O principal fator de variabilidade temporal da resistividade elétrica está relacionado à saturação em água do solo;
- O comportamento da resistividade elétrica integrada até 2,5 m mostrou uma grande variação, entre 5 e 50.000  $\Omega$ .m, com máximo entre 2.000 e 5.000  $\Omega$ .m, para fins de aplicação no planejamento regional do aterramento elétrico.

## Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pelas seguintes instituições: Companhia Energética de Brasília (CEB), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Universidade de Brasília (UnB) e Fundação Universitária de Brasília (FUBRA). Os resultados deste trabalho são relativos ao contrato nº 0340/2003 firmado entre a CEB e a FUBRA. Os autores agradecem as contribuições do Gerente do Projeto na CEB, o Dr. M. C. Barros Neto, recebidas durante a elaboração deste artigo; agradecem ainda a todos os técnicos que participaram na execução dos levantamentos a campo.

## Referências Bibliográficas

- Ab'Saber, A.N. (1977) Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. **Geomorfologia**, v. 52, p. 17-28.
- Almeida, F.F.M. & Hasui, Y. (1984) **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 501 p.
- Ammons, J.T.; Timpson, M. E. & Newton, D.L. (1989) Application of an aboveground electromagnetic conductivity meter to separate Natraqualfs and Ochraqualfs in Gibson County, Tennessee. **Soil Surv. Horiz.**, v. 30, p. 66-70.
- Auerswald, K.; Simon, S.; e Stanjek; H. (2001) Influence of soil properties on electrical conductivity under humid water regimes. **Soil Science**, v. 166, n. 6, p. 382-390.
- Banton, O.; Seguin, M. K.; e Cimon, M. A. (1997) Mapping Field-Scale Physical Properties of Soil with Electrical Resistivity. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 61, p. 1010-1017.
- Belcher, J. (1954) **O relatório técnico sobre a nova capital: relatório Belcher**. Brasília, DF: CODEPLAN.
- Braun, O.P.G. (1971) Contribuição à geomorfologia do Brasil Central. [Revista Brasileira de Geografia,] v. 32, n. 3, p. 3-39.
- Büdel, J. (1957) Die "Doppelten Einebnungsflächen" in den feuchten Tropen. **Z. Geomorphol.**, N.F., v. 1, p. 201-228.
- Büdel, J. (1981) **Climatic Geomorphology**. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 433 p.
- Buol, S.W. & Cline, M.G. (1973) Soils of the Central Plateau of Brazil and extension of results of field research conducted near Planaltina, Federal District. Ithaca: Cornell University, 43 p. (**Agronomy Mimeo**, 13-73).
- Carvalho, J.M., Fonseca, A.V., Almeida, F. & Hermosilha, H. (2004). ISC'2 experimental site invest. and characterization – Part I: Conventional and tomographic P and S waves refraction seismics vs electrical resistivity, In: Viana da Fonseca A. and Mayne P.W. (eds.), **Geotechnical and Geophysical Site Characterization**, 1 Millpress, Rotterdam, pp. 433-442.
- CODEPLAN (1984) **Atlas do Distrito Federal**. Brasília: GDF.
- Dardenne, M.A. (1978) Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, 1978, Salvador, **Anais ...**, Salvador: SGB, v. 2, p. 597-610.
- Dobrin, M.B. & Savit, C.H. (1988) **Introduction to Geophysical Prospecting**. McGraw Hill, USA.
- Eiten, G. (1994) Vegetação do Cerrado. In: M. Novaes Pinto (Org.), **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2ª. ed., Brasília: UnB/SEMATEC, cap. 1, p. 17-74.

- EMBRAPA (1978) Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal, **Boletim Técnico**, v. 53, 455 p.
- Faria, A. (1995) **Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança – Alto Paraíso de Goiás**. Tese (Doutorado em Geologia), UnB, Brasília, 201 p.
- Fonseca, A.V.; Carvalho, J.; Ferreira, C.; Santos, J.A.; Almeida, F.; Pereira, E.; Feliciano, J.; Grade, J. & Oliveira, A. (2006) Characterization of a profile of residual soil from granite combining geological, geophysical and mechanical testing techniques. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 24, p. 1307-1348.
- Fraisse, C.W.; Sudduth, K.A. & Kitchen, N.R. (2001) Delineation of Site-Specific Management Zones by Unsupervised Classification of Topographic Attributes and Soil Electrical Conductivity. **Trans. ASAE**, v. 44, n. 1, p. 155-166.
- Freitas-Silva, F. H. & Dardenne, M.A. (1993) Proposta de subdivisão estratigráfica formal para o Grupo Canastra no oeste de Minas Gerais e leste de Goiás. In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 4, 1993, Brasília, **Anais ...**, Brasília, DF: SBG-DF, p. 164-165.
- Freitas-Silva, F.H. & Campos, J. E. (1999) Geologia do Distrito Federal, In: **Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal**, J.E.G. Campos & F.H. Freitas-Silva, (coords.), cap. 1, 45 p., CDROM, Sematec, GDF.
- Hartsock, N.; Mueller, T.; Karathanasis, A. & Cornelius P. (2005) Interpreting Soil Electrical Conductivity and Terrain Attribute Variability with Soil Surveys. **Precision Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 53-72.
- King, L.C.A. (1956) A geomorfologia do Brasil Central. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 18, n. 2, p. 147-256.
- Lowry, W. (1997) **Fundamentals of Geophysics**. Cambridge University Press, 354 p.
- Marini, O.J.; Fuck, R.A. & Danni, J.C. (1981) A evolução geotectônica da faixa Brasília e do seu embasamento. In: Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais, 1, 1981, Salvador, **Anais ...**, Salvador:SBG, p. 100-113.
- Marini, O.J.; Fuck, R.A.; Dardenne, M.A. & Danni, J.C. (1984) Província Tocantins, setores central e sudeste. In: F.F.M. Almeida, Y. Hasui (Coords.), **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blücher, p. 205-264.
- Martins, E.S. (2000) **Petrografia, mineralogia e geomorfologia de rególitos lateríticos no Distrito Federal**. Tese (Doutorado em Geologia), UnB: Brasília, DF, 196 p.
- Martins, E.S.; Reatto, A.; de Carvalho Jr.; O.A. & Guimarães, R.F. (2004) Evolução geomorfológica do Distrito Federal. **Documentos**, Embrapa Cerrados, n. 122, p. 1-57.
- McNeill, J.D. (1980) **Electrical conductivity monitoring of soils and rocks**. Mississauga, ON, Canada: Tech. note TN-5. Geonics Ltd., 20 p.
- McNeill, J.D. (1991) Advances in electromagnetic methods for groundwater studies. **Geoexploration**, v. 27, p. 67-80.
- Migon, P. & Lidmar-Bergström, K. (2001) Weathering mantles and their significance for geomorphological evolution of central and northern Europe since the Mesozoic. **Earth-Science Reviews**, v. 56, p. 285-324.
- Nahon, D.B. (1991) **Introduction to the Petrology of Soils and Chemical Weathering**. New York: John Wiley & Sons, 313 p.
- Novaes Pinto, M. (1987) Superfícies de aplainamento do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 49, p. 9-27.
- Novaes Pinto, M. (1994) Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: M. Novaes Pinto (Org.), **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2ª. ed., Brasília: UnB/SEMATEC, cap. 9, p. 285-344.
- Phillips, J.D. (2002) Erosion, isostatic response, and the missing peneplains. **Geomorphology**, v. 45, p. 225-241.
- Pimentel, M.M.; Heaman, L. & Fuck, R.A. (1993) A idade do metarriolito da seqüência Maratá, Grupo Araxá, GO: estudo geocronológico pelos métodos U-Pb em zircão, Rb-Sr e Sm-Nd. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 64, p. 19-28.
- Rhoades, J.D.; Manteghi, N.A.; Shouse, P.J. & Alwes, W.J. (1989) Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, p. 433-439.
- Tabbagh, A.; Dabas, M.; Hesse, A. & Panissod, C. (2000) Soil resistivity: a non-invasive tool to map soil structure horizonation. **Geoderma**, v. 97, p. 393-404.



- Tardy, Y. (1997) **Petrology of laterites and tropical soils**. London: Taylor & Francis, 408 p.
- Thomas, M.F. (1994) **Geomorphology in the Tropics: A Study of Weathering and Denudation in the Low Latitudes**. Chichester: John Wiley and Sons, 460 p.
- Twidale, C.R. (2002) The two-stage concept of landform and landscape development involving etching: origin, development and implications of an idea. **Earth-Science Reviews**, v. 57, p. 37-74
- Vitte, A.C. (2001) Considerações sobre a teoria da etchplanação e sua aplicação nos estudos das formas de relevo nas regiões tropicais quentes e úmidas. **Terra Livre**, n. 16, p. 11-24.
- Wayland, E.J. (1934) Peneplains and some erosional landforms. **Geol. Surv. Uganda Annu. Rep.**, Bulletin 1, p. 77-79.
- Zalasiewicz, J.A.; Mathers, S.J. & Comwell, J.D. (1985) The application of ground conductivity measurements to geological mapping, **Quatern. J. Engl. Geol.**, London, v. 18, p. 139-148.