

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE UnB PLANALTINA – FUP

Dionísio Bastos de Quental

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE DADOS GEOFÍSICOS E DE QUÍMICA DE
SOLOS NO BIOMA CERRADO**

Planaltina - DF

2022

Dionísio Bastos de Quental

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE DADOS GEOFÍSICOS E DE QUÍMICA DE
SOLOS NO BIOMA CERRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento

Planaltina - DF

2022

Quental, Dionisio Bastos de

Correlação espacial entre dados geofísicos e de química de solos no bioma Cerrado. / Dionisio Bastos de Quental. Planaltina – DF, 2022. 61f.

Monografia - Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental.

Orientador: Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento

1. Análise das Componentes Principais. 2. IDW. 3. Resistividade Elétrica. 4.ESECAE.

I. Quental, Dionisio Bastos de. II. Correlação espacial entre dados geofísicos e de química de solos no bioma Cerrado.

Dionísio Bastos de Quental

CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE DADOS GEOFÍSICOS E DE QUÍMICA DE SOLOS
NO BIOMA CERRADO

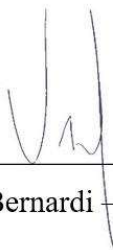
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Banca Examinadora:

Planaltina-DF, 25 de abril de 2022.



Prof. Dr. Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento – FUP/UnB



Prof. Dr. José Vicente Elias Bernardi – FUP/UnB



Prof. Luiz Felipe Salemi
Mat. 1088017
Faculdade UnB Planaltina

Prof. Dr. Luiz Felipe Salemi – FUP/UnB

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Yahweh pelos teus benefícios, por sua paz, graça, força, misericórdia e amor, que me sustentou durante todo esse processo.

Agradeço a minha amada mãe, Francisca, por seu amor e orações a meu favor. Ao meu pai Antônio, que me presenteou com meu primeiro computador, aos 44 anos, que foi essencial para a busca de conhecimento, aprimoramento e imprescindível para a conclusão do curso, dadas as necessidades impostas pela pandemia.

Agradeço a minha esposa Gilda, pelo companheirismo, incentivo e apoio incondicional, uma parceria de vida e projetos. Aos meus amados filhos Isaque e Rebeca, a quem dedico o exemplo, meu legado é um caminho aberto para possibilidades.

Agradeço a pastora Márcia Cristina, pela intercessão e cobertura espiritual.

Agradeço aos amigos Lucas, Iara e Ygor, que me auxiliaram no trabalho de campo, deram suporte e foram cruciais para a fase de coleta de dados.

Agradeço ao Alípio, pelo atendimento prestado na Estação Ecológica de Águas Emendadas.

Agradeço ao amigo Darlan, pelo apoio técnico no laboratório, com a secagem das amostras de solo.

Agradeço ao professor doutor José Vicente, por fornecer recursos, além de todo o suporte intelectual, foi de enorme importância para o trabalho.

Agradeço ao meu orientador professor doutor Carlos Tadeu, por sua generosidade em doar seu tempo, me ensinando, aconselhando e direcionando meus passos acadêmicos, desde o início do curso de Gestão Ambiental, tenho gratidão e muita admiração por sua dedicação, disciplina, responsabilidade e profissionalismo.

Agradeço a todos os acolhedores professores, pelo esforço em construir um universo extraordinário e ilimitado de conhecimento e possibilidades. Tive experiências edificantes que levarei para a vida.

Agradeço a minha Universidade de Brasília, por se tornar acessível a um aluno recém-formado do EJA, que aprendeu que o conhecimento rompe barreiras, quebra paradigmas e faz com que o leigo, receba todo o suporte para se capacitar, e preparado, sente junto a doutores, para se fazer cumprir um plano excelente!

Obrigado!

“Poque dele, e por ele, e para ele são todas as coisas; glória, pois, a ele eternamente. Amém”! Romanos 11:36.

RESUMO

Tendo em vista que os solos oferecem importantes serviços ecossistêmicos para a existência e manutenção da vida no planeta, produção de alimentos, ciclagem de nutrientes, regulação do clima, sequestro de carbono, purificação da água, degradação de contaminantes dentre outros, pesquisa-se a correlação espacial entre dados geofísicos e de química de solos. Essa pesquisa identificou os pontos com maiores teores de metais pesados nos solos que margeiam a Estação Ecológica de Águas Emendadas e analisou o padrão de distribuição dos teores em função de características do meio físico local, por exemplo, topografia e variáveis do solo do tipo textura, teor de matéria orgânica e umidade. Realizou-se trabalho de campo para aquisição de dados por meio do método geofísico da Eletrorresistividade (ER), com a técnica do Caminhamento Elétrico (CE), e posterior utilização de Estatística Multivariada. Diante disso, verificou-se que através dos dados geofísicos interpolados, foi possível constatar que as porções que apresentam os menores valores de resistividade elétrica aparente estão relacionadas às porções úmidas da Estação Ecológica, tais como: Vereda Grande (centro), campo de murundus (leste), ponto de captação de água da Caesb (sudoeste) e o encontro das drenagens da porção nordeste com o Córrego Vereda Grande. Do ponto de vista da relação entre as medidas de resistividade elétrica aparente e as classes de solos estudadas, identificou-se para a classe dos latossolos vermelhos uma variação entre 10.000 e 25.000 Ohm.m. Contudo, constatou-se que alguns solos da mesma classe apresentaram valores de resistividade aparente diferente dos padrões observados. Influências como saturação, textura, matéria orgânica, áreas de transição entre classes e solo compactado podem ter contribuído para a ocorrência dessas variações. Identificou-se por meio das análises das componentes principais um comportamento padrão entre os dados geofísicos e de química de solos. Em todas as análises há uma correlação inversamente proporcional entre a resistividade elétrica aparente dos solos e os teores de metais pesados.

Palavras-chave: Análise das Componentes Principais. IDW. Resistividade Elétrica. ESECAE.

ABSTRACT

Considering that soils offer important ecosystem services for the existence and maintenance of life on the planet, food production, nutrient cycling, climate regulation, carbon sequestration, water purification, and degradation of contaminants, among others, the research spatial correlation between geophysical and soil chemistry data. This research identified the points with the highest levels of heavy metals in the soils bordering the Águas Emendadas Ecological Station and analyzed the pattern of distribution of contents as a function of characteristics of the local physical environment, for example, topography and soil variables such as texture, organic matter, and moisture content. Fieldwork was carried out to acquire data through the geophysical method of Electroresistivity (ERT), the technique of Electric Tracing (EC), and subsequent use of Multivariate Statistics. Therefore, it was verified that through the interpolated geophysical data, it was possible to verify that the portions that present the lowest values of apparent electrical resistivity are related to the humid portions of the Ecological Station, such as Vereda Grande (center), murundus field (east), water catchment point for Caesb (southwest) and the meeting of the drainages of the northeast portion with the Vereda Grande stream. From the point of view of the relationship between the apparent electrical resistivity measurements and the studied soil classes, a variation between 10,000 and 25,000 Ohm.m was identified for the red oxisols class. However, it was found that some soils of the same class presented values of apparent resistivity different from the observed patterns. Influences such as saturation, texture, organic matter, transition areas between classes, and compacted soil may have contributed to the occurrence of these variations. A pattern behavior between geophysical and soil chemistry data was identified through the analysis of the principal components. In all analyzes, there is an inversely proportional correlation between the apparent electrical resistivity of the soils and the contents of heavy metals.

Keywords: Principal Component Analysis. IDW. Electrical Resistivity. ESECAE

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVO	9
2.1	Objetivo Geral	9
2.2	Objetivos Específicos	9
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1	Método Geofísico de Eletroresistividade	10
3.2	Técnica Geofísica de Caminhamento Elétrico	12
3.3	Análise de Componentes Principais	14
4	MATERIAIS E MÉTODOS	15
4.1	Caracterização da Área de Estudo	15
4.1.1	Geologia	16
4.1.2	Solos	17
4.1.3	Relevo	19
4.1.4	Clima	20
4.1.5	Hidrografia	21
4.2	Pontos de coletas	23
4.2.1	Localização dos Pontos de Investigação	23
4.2.2	Localização dos Pontos das Amostras	24
4.3	Equipamentos Utilizados	27
4.3.1	Resistivímetro	27
4.3.2	Secagem dos Solos	28
4.3.3	Mapas e Programas	29
5	Resultados e Discussão	29
5.1	Resistividade Elétrica Aparente	29
5.1.1	Estatística Descritiva	30
5.2	Umidade Gravimétrica	34
5.2.1	Análise Descritiva de Umidade	35
5.3	Linhas Investigadas	36
5.3.1	Configuração das Linhas	36
5.3.2	Representação Gráfica	36
5.3.3	Representação Topográfica	39
5.4	Análises Estatísticas	42
5.4.1	Estatística Descritiva	43
5.4.2	Análises das Componentes Principais	44
6	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

As unidades da paisagem vêm sofrendo modificações ao longo tempo, essas modificações aceleram o processo de transformação dos solos, cujos processos interferem na capacidade de resiliência desses. Solos resilientes tendem a prestar serviços ecossistêmicos mais eficientes. As interações dos solos nos processos de purificação da água e degradação de contaminantes podem sofrer alterações de acordo com a destinação dos seus usos e ocupações.

Esse trabalho se propõe a fazer a correlação entre dados geofísicos e de química de solos na Estação Ecológica de Águas Emendadas. Os dados de química de solos correspondem a teores de metais pesados previamente encontrados nos solos próximos às rodovias que margeiam essa Unidade de Conservação. Os dados geofísicos correspondem a medições da resistividade elétrica aparente dos solos nos mesmos locais onde foi feita a coleta de amostras para a determinação de metais pesados.

Os solos oferecem importantes serviços ecossistêmicos para a existência e manutenção da vida no planeta, produção de alimentos, ciclagem de nutrientes, regulação do clima, sequestro de carbono, purificação da água, degradação de contaminantes dentre outros. Assim sendo, é de fundamental importância estudar os diferentes comportamentos dos solos, em especial as suas interações no processo de purificação da água e degradação de contaminantes.

As rodovias que circundam a Estação possuem importância ecológica, social e econômica, essas são responsáveis pelo escoamento da produção, acesso às comunidades, turismo ecológico dentre outras atividades. A BR - 020 margeia todo o limite sul da Estação. No Distrito Federal essa rodovia tem início no entroncamento com a DF - 003 (EPIA), no Balão do Colorado, e se estende até a fronteira leste do Distrito Federal, constituindo-se a principal via de ligação entre Brasília-DF e a cidade de Formosa, no estado de Goiás.

Entende-se o uso da Geofísica como estratégia relevante na implantação de medidas preventivas, pois permite observar o comportamento do meio, analisar o presente e criar cenários futuros. A característica multidisciplinar da Gestão Ambiental se enquadra perfeitamente com aplicabilidade da Geofísica. A aplicação dos métodos geofísicos em Gestão Ambiental, permite uma série de combinações entre os três pilares da sustentabilidade, assim sendo, pode-se decidir pela combinação que mais se aproxime do equilíbrio. Os pilares social, ecológico e econômico, interagem num mesmo espaço, resultando em uma única estrutura, ou seja, qualquer decisão que se tome atribuindo maior peso a um dos pilares da sustentabilidade, terá como consequência o desmoronamento da estrutura.

Os objetivos do presente trabalho são: fazer a correlação estatística entre os dados geofísicos e de química de solos na região da ESECAE; identificar os pontos com maiores teores de metais pesados nos solos que margeiam essa Unidade de Conservação; analisar o padrão de distribuição dos teores de metais pesados em função de características do meio físico local, por exemplo, topografia e variáveis do solo do tipo textura, teor de matéria orgânica e umidade, lembrando que, a resistividade elétrica do solo é fortemente condicionada pelo teor de umidade do mesmo no momento da medição.

Espera-se alcançar os objetivos do trabalho utilizando o método geofísico da Eletroresistividade (ER) com a técnica do Caminhamento Elétrico (CE), com aplicação da Análise de Componentes Principais (PCA). As investigações ocorreram em 97 pontos distribuídos no polígono maior da ESECAE. Os 61 pontos situados nas bordas da Estação foram escolhidos em função dos dados disponibilizados pelo laboratório de Geoestatística e Geodésia da Faculdade UnB Planaltina – FUP. Nesses dados constam as concentrações de metais pesados nos solos, obtidos em trabalhos anteriormente realizados nessa UC. O laboratório de Geoestatística e Geodésia da Faculdade UnB Planaltina – FUP, ao longo da última década, apoiou diversos trabalhos acadêmicos desenvolvidos na ESECAE, como por exemplo, (SOUSA, 2016), (MACIEL, 2017) e (RODRIGUES, et al. 2022).

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Esse trabalho se propõe a fazer a correlação entre dados geofísicos e de química de solos na Estação Ecológica de Águas Emendadas. Os dados de química de solos correspondem a teores de metais pesados previamente encontrados nos solos próximos às rodovias que margeiam essa Unidade de Conservação. Os dados geofísicos correspondem a medições da resistividade elétrica aparente dos solos nos mesmos locais onde foi feita a coleta de amostras para a determinação de metais pesados.

2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos do presente trabalho tem-se:

- 1) fazer a correlação estatística entre os dados geofísicos e de química de solos na região da ESECAE;
- 2) identificar os pontos com maiores teores de metais pesados nos solos que margeiam essa Unidade de Conservação;

- 3) analisar o padrão de distribuição dos teores de metais pesados em função de características do meio físico local, por exemplo, topografia e variáveis do solo do tipo textura, teor de matéria orgânica e umidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Método Geofísico de Eletrorresistividade

A água é fonte de vida e tem se tornado um bem comum cada vez mais escasso. A maior parcela de água potável de qualidade para atender as necessidades humanas, encontra-se nos depósitos subterrâneos. A Geofísica, estuda o comportamento do meio físico da Terra e suas dinâmicas. Braga (2016, p. 7), define geofísica como uma ciência aplicada a Geologia. Para Braga,

Geofísica é uma ciência aplicada à Geologia que estuda suas estruturas e corpos delimitados pelos contrastes de algumas de suas propriedades físicas com as do meio circundante, utilizando medidas tomadas na superfície da Terra, no interior de furos de sondagens e em levantamentos aéreos.

A Geofísica em seus variados métodos tem sido aplicada em diversas atividades, seja na mineração, na prospecção de água ou na identificação de plumas de contaminantes em aterros sanitários. Os métodos geofísicos são: Magnetometria, Geotermia, Sísmicos, Gravimetria, Geoelétricos e Espectrometria. A pesquisa será com base no grupo dos geoelétricos, cujos principais métodos são: eletrorresistividade, polarização induzida, potencial espontâneo, eletromagnetismo e radar de penetração no solo. Segundo Braga (2016, p. 11), o método da eletrorresistividade é muito aplicado em investigações relativamente rasas no mapeamento de contaminantes em solos, rochas, e águas subterrâneas. A eletrorresistividade pertence ao grupo dos métodos geoelétricos, Braga (2016, p. 15), para o autor,

A eletrorresistividade (ER) é um método geofísico cujo princípio está baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais que, juntamente com a constante elétrica e a permeabilidade magnética, expressa fundamentalmente as propriedades eletromagnéticas dos solos e rochas. Os diferentes tipos de materiais existentes no ambiente geológico apresentam como uma de suas propriedades fundamentais a resistividade elétrica, parâmetro físico aplicável para caracterização da integridade física de materiais geológicos, em termos de alteração, fraturamento, saturação etc., além de possibilitar a identificação de litotipos sem a necessidade de amostragem ou reconhecimento direto”.

O método da eletrorresistividade é muito utilizado em estudos sobre solos contaminados por chorume em aterros sanitários. A introdução de algum tipo de contaminante no subsolo altera significativamente os valores naturais dos principais parâmetros geoelétricos, por exemplo, a resistividade e a cargabilidade. (Braga, 2016, p. 11).

Os materiais encontrados nos solos e rochas apresentam resistividades específicas, ou seja, a resistividade de um dado material representa o quanto esse material resiste a corrente elétrica a qual foi submetido. Os metais são bons condutores de corrente elétrica, assim sendo, apresentam baixa resistividade. Segundo Kearey et al. (2009 p. 316), “certos minerais como metais nativos e grafite, conduzem eletricidade via a passagem de elétrons”. Ainda segundo o autor, “a maior parte dos minerais formadores de rochas é, entretanto, isolante, e a corrente elétrica é conduzida através de uma rocha principalmente pela passagem de íons nas águas dos poros”. Kearey et al. (2009 p. 315), em Geofísica de exploração vão dizer que,

No método de resistividade, correntes elétricas artificialmente geradas são introduzidas no solo, e as diferenças de potencial resultantes são medidas na superfície. Os desvios do padrão de diferenças de potencial esperado do solo homogêneo fornecem informações sobre a forma e as propriedades elétricas das inhomogeneidades de subsuperfície.

Um estudo realizado no aterro controlado do Jokey Club de Brasília, conclui que “seções de eletrorresistividade justificaram sua eficiência, podendo investigar o comportamento da pluma de contaminação em solos argilosos com espessa camada”. (Cavalcante et al., 2014).

O método de eletrorresistividade baseia-se fundamentalmente na Lei de Ohm, descoberta experimentalmente pelo alemão Georg Simon Ohm (1789-1854). Esta lei expressa a proporcionalidade direta, entre a intensidade da corrente elétrica que percorre um condutor metálico e a diferença de potencial entre os terminais desse condutor, (Feitosa et al., 2008, p. 218).

Considera-se a diferença de potencial, por definição, como sendo $\Delta V = V_N - V_M$, considerando-se V_M maior que V_N . Como o fluxo de corrente se dá no sentido dos potenciais decrescentes, a diferença $V_N - V_M$ é sempre negativa ou, em outras palavras, o ΔV é sempre negativo. (Feitosa et al., 2008, p. 218). A equação (1) é a forma mais simples da Lei de Ohm.

$$\Delta_i = -\frac{1}{\Delta R} \cdot \Delta V$$

Equação 1

A resistência elétrica do condutor varia na razão direta do seu comprimento e na razão inversa da sua secção, sendo a resistividade ρ , o fator de proporcionalidade, conforme equação 2. (Feitosa et al., 2008 p. 218).

$$\Delta R = \rho \cdot \frac{\Delta L}{\Delta A}$$

Equação 2

A resistividade, ao contrário da resistência, é um parâmetro que caracteriza o material, independentemente das suas dimensões. A unidade que mede a resistividade é deduzida conforme equação (3). (Feitosa et al., p. 218).

$$\Delta R = \rho \cdot \frac{\Delta L}{\Delta A} \rightarrow \rho = \frac{\Delta R \cdot \Delta A}{\Delta L}$$

$$\rho = \left[\frac{\text{ohm} * \text{m}^2}{\text{m}} \right] = \text{ohm} * \text{m}$$

Equação 3

Na prospecção elétrica, em geologia, a unidade correntemente utilizada é o ohm*m. A condutividade elétrica é definida como o inverso da resistividade, conforme equação (4). (Feitosa et al., p. 218).

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Equação 4

3.2 Técnica Geofísica de Caminhamento Elétrico

No método de eletrorresistividade pode-se empregar a técnica do caminhamento elétrico (CE) para investigação de pluma de contaminantes. Braga (2016, p. 67), define a técnica do caminhamento elétrico como,

A técnica do caminhamento elétrico (CE) se baseia na análise e interpretação de um parâmetro geoeletrico, obtido com base em medidas efetuadas na superfície do terreno com espaçamento constante entre os eletrodos AMNB. Por meio dessa técnica, investigam-se, ao longo de linhas, as variações laterais do parâmetro físico a uma ou

mais profundidades determinadas; com isso, a direção da linha de investigação permanece fixa e o centro do arranjo AMNB varia com o seu desenvolvimento.

Existem vários tipos de arranjos que podem ser aplicados para o desenvolvimento da técnica do caminhamento elétrico (CE), como Schlumberger, Wenner, gradiente, dipolo-dipolo, polo-dipolo dentre outros. Um arranjo AMNB é constituído por eletrodos de corrente (AB) e eletrodos de potencial (MN). Segundo Braga (2016, p. 68).

A técnica do perfil de resistividade ou exploração horizontal ou, ainda, caminhamento elétrico consiste em efetuar medições de resistividade aparente ao longo de um perfil, deslocando-se o quadripolo como um todo, a cada nova medição. Como o comprimento da linha AB permanece sempre constante, este procedimento permite investigar o subsolo lateralmente a uma profundidade constante. Esta técnica é indicada para a pesquisa de descontinuidades verticais, tais como falhas em regiões sedimentares e zonas fraturadas em regiões cristalinas. (Feitosa et al., 2008, p. 257).

Os métodos geoeletricos são aplicados em investigação de contaminação das águas subterrâneas, Segundo Braga (2016, p. 117), a técnica do CE assume papel importante nos estudos que visam obter diagnósticos de solos rochas e águas subterrâneas, pois delimitam com detalhe as eventuais plumas de contaminação, com maior resolução e prazos reduzidos que os demais métodos/técnicas geofísicas. Braga (2016, p. 124, 125), relata que,

Em estudos ambientais visando obter um diagnóstico de aquíferos fraturados, frente a contaminantes, a técnica mais adequada considerando resolução, custo e rapidez é o caminhamento elétrico, com os métodos da eletrorresistividade e polarização induzida. Nesse caso, o radar de penetração no solo (GPR) também pode ser utilizado com relativo sucesso, entretanto, caracteriza-se por atingir pequenas profundidades de investigação quando comparado ao CE.

Saraiva (2010), em sua tese de doutoramento, fez uma avaliação de métodos geofísicos no comportamento espacial de Plumas de Necrochorume, os métodos utilizados foram: Georradar, Eletromagnético Indutivo e Eletrorresistividade. Segundo Saraiva (2010), “os resultados mostraram que o método da eletrorresistividade com a técnica do caminhamento elétrico apresentou os melhores resultados quanto à delimitação da pluma gerada”.

Silva (2008), em sua tese de doutoramento, realizou um estudo de contaminação do lençol freático na cidade de Ji-Paraná-RO, onde fez uma integração de técnica Geofísicas e Geoquímicas. Os dejetos da população da cidade de Ji-Paraná-RO são depositados em fossas e a água que abastece a população é captada em poços domésticos. As amostras coletadas e analisadas pelo pesquisador confirmam uma certa coerência com os resultados obtidos no

método de resistividade elétrica da subsuperfície obtidas pelo caminhamento elétrico e sondagens elétricas. Silva (2008), conclui que,

Os dados de condutividade elétrica e concentrações de nitrato obtidos nas águas dos poços são bastante coerentes com os resultados da resistividade elétrica da subsuperfície obtidas pelo caminhamento elétrico e sondagens elétricas, mostrando que estes ensaios geofísicos podem ser de grande utilidade nos estudos de contaminação de aquíferos subterrâneos.

Os escritos de Moreira et al. (2009, p. 283-293), cujo título é “Degradação de Resíduos e alterações na Resistividade Elétrica, pH e Eh”, vão de encontro com o que conclui Silva (2008). Para os autores,

A interpretação adequada do resultado geofísico requer o estabelecimento de correlações com parâmetros que avaliem o comportamento geoquímico do ambiente investigado, como o pH e Eh. A degradação de resíduos orgânicos é um processo dinâmico e variável temporal e espacialmente, caracterizado por fases ou estados sucessivos de alteração físico-química.

3.3 Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais (PCA) é uma técnica multivariada de modelagem da estrutura de covariância. A técnica foi inicialmente descrita por Pearson (1901) Apud (Hongyu et al. 2016) e uma descrição de métodos computacionais práticos veio muito mais tarde com Hottelling (1933, 1936) Apud (Hongyu et al. 2016) que usou com propósito determinado de analisar as estruturas de correlação. Segundo esses autores o principal objetivo da PCA consiste em explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor aleatório, composto de p-variáveis, por meio de combinações lineares das variáveis originais.

Segundo Hongyu et al. (2016), “uma das principais vantagens da PCA é a de retirar a multicolinearidade das variáveis, pois permite transformar um conjunto de variáveis originais intercorrelacionadas em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas (componentes principais)”. Esses autores apontam desvantagens da PCA, tais como: a sensibilidade a outliers, não é recomendada quando se tem muitos zeros na matriz e dados ausentes, também não é recomendada quando se tem mais variáveis do que unidades amostrais. Ao reduzir o número de variáveis, há perda da informação de variabilidade das variáveis originais.

Em estudo relacionado a ordenação dos parâmetros físico-químicos, Bernardi et al., (2009) descrevem que “a análise de componentes principais é uma técnica da estatística multivariada que consiste em transformar os dados de forma a descrever a mesma variabilidade total existente, com o mesmo número de eixos originais, porém não mais correlacionados entre si”. Em outro trabalho, Bernardi et al. (2001) diz que, “Graficamente a PCA pode ser descrita como a rotação de pontos existentes num espaço multidimensional originando eixos, que

dispostos num espaço a duas dimensões representem variabilidade suficiente para indicar um padrão a ser interpretado”. Bernardi et, al. (2001), relata que,

em estudos de impacto ambiental consideram-se simultaneamente diversas variáveis para diagnóstico, sendo necessário técnicas estatísticas multivariadas que permitam um estudo conjunto dos fatores ambientais que controlam as mudanças ocasionadas. Devido à complexidade presente torna-se necessário o uso dessas técnicas para permitir inferências a respeito da importância das variáveis atuantes, que resulta numa redução nos custos e, também, orienta futuros estudos sobre as variáveis que realmente causam modificações.

Segundo Bernardi et, al. (2001), a análise de componentes principais é uma técnica que facilita a interpretação da estrutura de um conjunto de dados multivariados a partir das respectivas matrizes de variância e covariância e/ou correlações.

Valladares et al. (2009) utilizaram a PCA e técnica de geoprocessamento para identificar a origem dos metais pesados Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Pb, Cr e Cd como contaminantes potenciais em solos agrícolas, em áreas cultivadas com vinhedos no Estado de São Paulo. Segundo os autores a PCA indicou enriquecimento do solo com Cu e Zn devido ao uso e manejo dos vinhedos com agroquímicos nas décadas anteriores.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

As fases preliminares do trabalho ocorreram em escritório, partindo dos estudos bibliográficos para a escolha dos métodos e técnicas adequados para execução da pesquisa. A realização da pesquisa se deu na Estação Ecológica Águas Emendadas (ESECAE), Unidade de Conservação de Proteção Integral situada na Região Administrativa de Planaltina – DF - RA VI. A então UC foi reconhecida como Reserva Biológica pelo Decreto nº 771, de 12 de agosto de 1968, e elevada à condição de Estação Ecológica, pelo Decreto do Governo do Distrito Federal nº 11.137, de 16 de junho de 1988. A Estação é contornada por rodovias distritais, vicinais e federal, onde a BR 020 apresenta maior fluxo de automóveis, principalmente de veículos de transporte de cargas pesadas, conforme apresentado no mapa da figura 1.

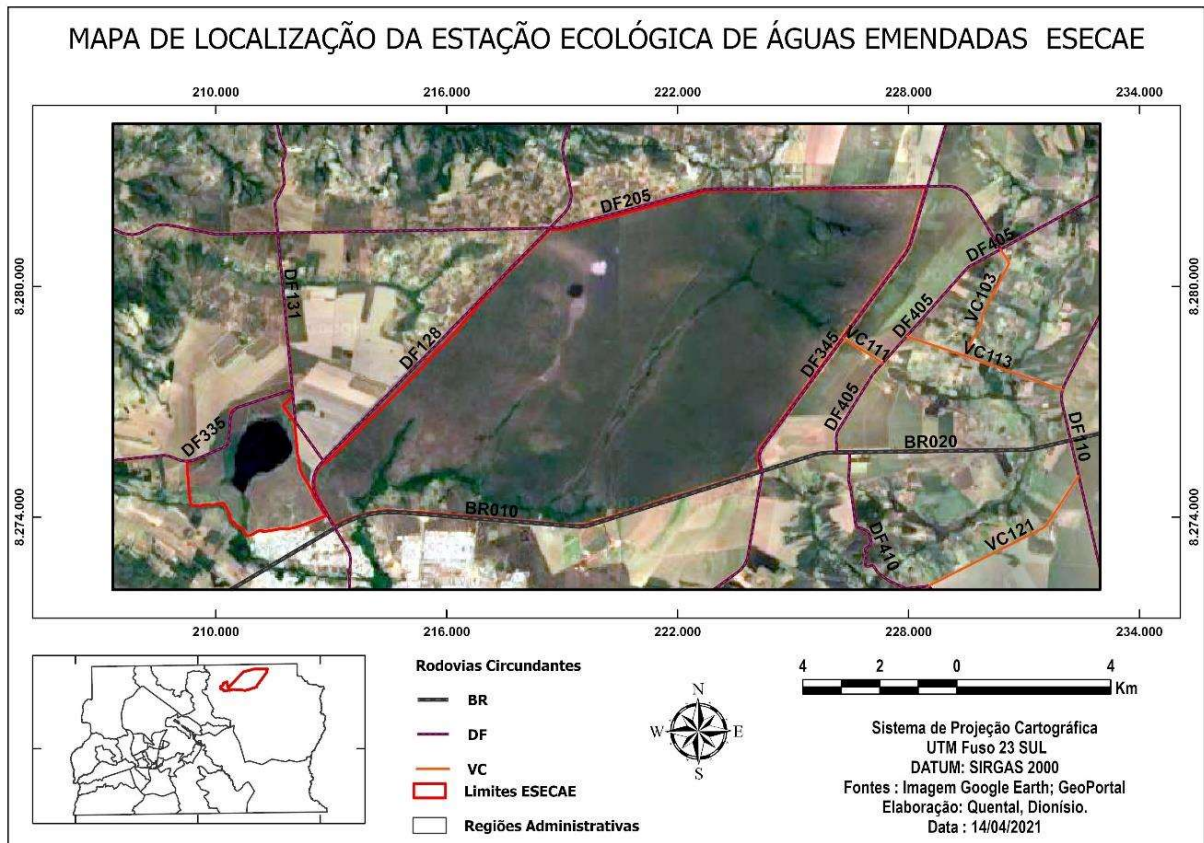


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. Fontes: Google Earth e GeoPortal. Elaboração: Própria.

4.1.1 Geologia

O Distrito Federal está localizado na região central da Faixa de Dobramentos e Cavalgamentos Brasília, situada na porção oriental da Província Estrutural do Tocantins (PIMENTEL, 2016). De acordo com esse autor, no Brasil central, a faixa Brasília é um dos mais completos e complexos orógenos neoproterozóicos do oeste de Gondwana.

O contexto geológico do Distrito Federal é composto por quatro grupo distintos: grupos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí, os dois primeiros grupos apresentam idade meso/neoproterozóica, enquanto os dois últimos idade neoproterozóica (CAMPOS, 2004). Os sistemas de cavalcamento ocorridos entre os grupos geológicos presentes no Distrito Federal causaram sobreposição das rochas, ocorreu que as rochas mais antigas sobrepuseram-se às mais jovens (CAMPOS, 2004). O soerguimento desenvolveu uma rampa de elevação na ESECAE responsável pela formação de duas grandes bacias latino-americanas, a Tocantins/Araguaia e a Platina. Na Estação ocorrem rochas atribuídas aos grupos Paranoá e Canastra. 97% das rochas que ocupam a área total da UC pertencem ao Grupo Paranoá, outros 3% pertencem ao Grupo Canastra, situadas ao sul da Lagoa Bonita, (MORAES & CAMPOS, 2008). Na Estação Ecológica ocorrem os seguintes conjuntos geológicos: Unidade R3 (Metarritmito Arenoso),

Unidade Q3 (Quartzito Médio), Unidade R4 (Metarritmito Argiloso) e Unidade PPC (Psamopelito-carbonatada).

A Unidade R3 ocorre somente no extremo leste da Estação, a Unidade Q3 corresponde a uma faixa de direção nordeste situada na porção leste da UC, a Unidade R4 ocorre na porção central da Estação e a Unidade PPC ocorre na porção oeste e nas adjacências da Lagoa Bonita. As rochas pertencentes ao grupo Canastra que estão localizadas na porção sul da Lagoa Bonita, são: o clorita-fengita-quartzito filito e o quartzito micáceo (MORAES & CAMPOS, 2008). Conforme Moraes & Campos (2008), as rochas presentes na região da Estação Ecológica foram formadas em ambientes marinhos de águas rasas. Os autores descrevem que, “a dinâmica da deposição foi controlada pelas subidas e descidas da lâmina d’água, o que determina a energia do ambiente sedimentar, bem como os processos atenuantes no transporte e deposição das lamelas e areias”. Em relação ao processo de metamorfismo nas rochas presentes na Estação, Moraes & Campos (2008) descrevem que, as condições de metamorfismo das rochas da região são consideradas de baixo grau.

4.1.2 Solos

De acordo com a Embrapa as principais classes de solos que ocorrem no Distrito Federal são: Latossolos; Neossolos Quartzarênicos; Argissolos; Nitossolos; Cambissolos; Chernossolos; Plintossolos; Solos Hidromórficos Indiscriminados (Gleissolos Háplicos e Gleissolos Melânicos, Espodossolos); e Neossolos Flúvicos. Os solos do Distrito Federal são representados de forma majoritária por três classes, juntas elas ocupam 85,48% da área do DF (REATTO et al., 2004).

- Latossolos Vermelhos ocupam 38,92%;
- Latossolos Vermelho-Amarelos ocupam 15,58%; e
- Cambissolos ocupam 30,98%.

As principais classes de solos que ocorrem no DF estão presentes na Estação, sendo o levantamento pedológico de reconhecimento em escala 1:100.000, realizado pelo Serviço Nacional de Levantamento de Solos (EMBRAPA, 1978), ainda a principal fonte de informações (LACERDA, 2008). Assim como no Distrito Federal os Latossolos são as classes de solos predominantes na Estação Ecológica.

Os latossolos são solos altamente intemperizados, concentram minerais secundários do grupo da caulinita, óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de Fe e Al como hematita, goethita, gibbsita e outros. Por ser altamente resistente ao intemperismo, o quartzo é o mineral persistente

neste solo (REATTO, et al., 2004). São solos normalmente muito profundos, com espessura raramente inferior a 1m, apresentam horizontes A, B e C com pouca diferenciação. Os teores de argila destes solos aumentam gradativamente com a profundidade ou permanecem constantes ao longo do perfil, são, em geral, solos fortemente ácidos (SANTOS, et al., 2018). Esses solos apresentam elevada capacidade de infiltração e drenagem, boa aeração, grande estabilidade dos agregados, resistência à erosão laminar, dentre outros (LACERDA, 2008). Nos solos da classe Latossolo Vermelho ocorre o predomínio do mineral hematita, já os Latossolos Vermelho-Amarelo predomina o mineral goethita.

Na Estação os Latossolos Vermelhos ocupam as áreas de relevo geralmente plano a suave ondulado de grande continuidade, sobre as rochas de origem predominante psamopélica dos Grupos Paranoá e Canastra (LACERDA, 2008). Os Latossolos Vermelho-Amarelos da Estação encontram-se nas superfícies aplainadas com declividade ligeiramente maior à de ocorrência dos Latossolos Vermelhos, principalmente nas encostas das Chapadas Elevadas da porção leste (LACERDA, 2008). A autora ainda descreve que, “esses solos ocorrem também na Unidade Geomorfológica Planos Intermediários, geralmente nas transições entre os interflúvios, acompanhando as redes de drenagem em encostas retilíneas”.

Na Estação os Neossolos Quartzarênicos ocorrem nas porções sudeste e nordeste, esses solos apresentam textura arenosa e são caracterizados por fraca estruturação e grande capacidade de percolação de água (LACERDA, 2008). Os Neossolos Quartzarênicos são constituídos essencialmente de quartzo, com máximo de 15% de argila, ocorrem normalmente em relevo plano ou suave-ondulado. São solos com alta porosidade, muito suscetíveis à erosão e, quando ocorrem nas cabeceiras de drenagem e adjacentes a mananciais, devem ser destinados à preservação (REATTO, et al., 2004). Lacerda (2008), descreve que: “na ESECAE, esses solos podem apresentar horizonte A bem desenvolvido (húmico), podendo atingir 60cm de espessura, e estão protegidos pela vegetação nativa de cerrado-campo a campo, além da presença de horizonte O significativa, o que melhora as condições edáficas desses solos”.

Em geral os Gleissolos são solos pouco desenvolvidos, com drenagens de fraca a muito fraca. São solos hidromórficos que ocupam geralmente as depressões da paisagem, sujeitas a inundações, apresentam elevado teor de matéria orgânica, resultante de ambiente de oxirredução. No Gleissolo Háplico o horizonte A é mais claro e mais pobre em matéria orgânica (REATTO, et al., 2004). Na Estação Ecológica os solos hidromórficos estão associados à Unidade Geomorfológica Vales das Veredas ou vale aberto de fundo chato (NASCIMENTO, 2008). Lacerda (2008), aponta que, “o ambiente de instalação do hidromorfismo refere-se às planícies de inundação das drenagens e áreas de surgência, associadas a campos de murundus,

tal como é o caso da ESECAE”. Na Estação Ecológica ocorrem Gleissolos Háplicos Distróficos típicos ou plínticos (por vezes associados a Gleissolos Melânicos) e secundariamente Organossolos Háplicos (LACERDA, 2008).

Há ocorrência de campos de murundus na porção leste da Estação Ecológica, esses campos aparecem interceptados pela DF 345, este apresenta uma feição de microbacia, cujo fluxo segue em direção à Estação. Baptista (2008), aponta que do ponto de vista hidrológico, “os murundus surgem com microformas de relevo semicirculares, arredondadas ou ovais, com dimensões oscilando entre 0,1 à 20m de diâmetro e 0,2 à 3m de altura”. As superfícies intermurundus funcionam como variáveis de nascentes, são áreas que, dependendo da sazonalidade do lençol freático, permitem a surgência de água à superfície (BAPTISTA, 2008).

Os cambissolos são mais comuns em superfícies topográficas de declive mais acentuados, essa classe de solos é altamente susceptível a erosão, são solos pouco profundos (SEDUMA/GDF, 2009). Essa classe de solos apresenta o horizonte B incipiente, são solos mal estruturados e com fertilidade natural diretamente relacionada ao material de origem (LACERDA, 2008). Lacerda (2008), descreve que os “Cambissolos Háplicos desenvolvidos na ESECAE, aliados à sua pedogênese incipiente, acrescenta-se o material parental quartzoso, que origina solos com problemas tanto físicos quanto químicos”, estes devem ser preservados ambientalmente.

4.1.3 Relevo

O Distrito Federal apresenta uma topografia com altitudes que variam de 950m até 1400m aproximadamente, seu relevo apresenta características de Planalto Central. Predominam as formas de relevo evoluídas por processo de erosão, caracterizadas pelas chapadas e chapadões (SEDUMA/GDF, 2009). Novaes Pinto (1987), apresenta três compartimentos geomorfológicos no Distrito Federal subdivididos em 13 unidades. As regiões de chapada (1.968 Km²) representam 34%, área de dissecação intermediária (1.793 Km²) representam 31% e região dissecada de vale (2.022 Km²) representam 35%.

Segundo Nascimento (2008), “O Distrito Federal é compartimentado em quatro unidades geomorfológicas, denominadas, Pediplano Contagem – Rodeador (1.200 a 1.400m), Pediplano de Brasília (950 a 1.200m), Depressões Interplanálticas Pediplanadas e Planalto Dissecado do Alto Maranhão (800 a 950m) e Planícies Aluviais e Alveolares (< 800m)”.

Segundo Martins & Baptista (1998), apud Lacerda & Barbosa (2012), as unidades geomorfológicas no Distrito Federal foram individualizadas como: 1) Chapadas Elevadas: relevos planos, altitudes acima de 1.135m; 2) Planos Intermediários: (Rebordos e Escarpas):

formas com diversos graus de dissecação, altitudes de 1.080 a 1.135m; e 3) Planícies: Feições de dissecação mais recente, altitudes abaixo de 1.080m. Lacerda & Barbosa (2012) elaboraram uma mapa representativo das unidades geomorfológicas da ESECAE. As autoras denominaram as seguintes classes: 1) Chapadas Elevadas (1.160 a 1.195m); 2) Planos Intermediários Leste (Rebordos Suaves, Rebordos Entalhados e Escarpas – 1.045 a 1.160m); 3) Planos Intermediários Oeste e Planícies – Vales das Veredas – 935 a 1.045m. As autoras realizaram o modelo com base na proposta de Martins & Baptista (1998).

Nascimento (2008) descreve que: “a proposta de compartimentação proposta por Martins & Baptista (1998) é a que melhor representa as feições geomorfológicas em escala de detalhe na Estação Ecológica”. A autora apresenta quatro compartimentos geomorfológicos identificados: 1) Chapadas Elevadas; 2) Rebordos; 3) Escarpas; e 4) Planos Intermediários. Nascimento (2008) aponta que: “assim como no Distrito Federal, o relevo da Estação Ecológica possui notável controle lito-estrutural evidenciado pela disposição espacial dos compartimentos geomorfológicos, lineamento de drenagem, assimetria de formas de vales, assim como pela ruptura de declives”.

4.1.4 Clima

A região dos Cerrados tem um clima tropical tipo Aw no centro e Cw na borda sul, com precipitação variando de 750mm/ano a 2.000mm/ano (MAIA & BAPTISTA, 2008). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima no Distrito Federal é tropical, com concentração de precipitações no verão. A classificação climática de Köppen (Codeplan, 1984), apresenta os seguintes tipos climáticos:

- Tropical (Aw): temperatura superior a 18 °C para o mês mais frio. Envolve, aproximadamente, as áreas com cotas altimétricas abaixo dos 1.000 m.
- Tropical de Altitude (Cwa): temperatura inferior a 18 °C para o mês mais frio, com média superior a 22 °C no mês mais quente. Abrange, aproximadamente, as áreas com cotas altimétricas entre 1.000 m e 1.200 m.
- Tropical de Altitude (Cwb): temperatura inferior a 18 °C para o mês mais frio, com média inferior a 22 °C no mês mais quente. Corresponde às áreas com cotas altimétricas superiores a 1.200 m.

A Estação Ecológica de Águas Emendadas está localizada na região norte-nordeste do Distrito Federal, de acordo com a classificação climática de Köppen (Codeplan, 1984), a Estação apresenta clima tropical e concentração pluviométrica no verão. Novembro, dezembro e janeiro são os meses mais chuvosos, enquanto o período de seca ocorre de junho a agosto.

Dentro da Estação Ecológica não há variação da precipitação pluviométrica, as variações na temperatura ocorrem em função das diferenças altimétricas (MAIA & BAPTISTA, 2008). Com base na classificação Köppen (Codeplan, 1984), esses autores

- Tropical (Aw), que se encontra associado às superfícies bastante dissecadas da bacia hidrográfica do Rio Maranhão.
- Tropical de Altitude (Cw), que é verificado nos rebordos e escarpas intermediários entre a chapada e os vales dissecados por redes hidrográficas, com duas divisões Cwa e Cwb. Em que Cwa abrange aproximadamente as altitudes entre 1.000 e 1.200 metros e Cwb está associado a áreas com cotas altimétricas acima de 1.200 metros, que, nesse contexto, correspondem ao início da unidade geomorfológica da Chapada do Pípiripal (faz fronteira com a porção nordeste da Estação Ecológica).

Aw: temperatura de todos os meses superior a 18°C;

Cwa: temperatura do mês mais frio inferior a 18°C e do mês mais quente com média superior a 22°C;

Cwb: temperatura do mês mais frio inferior a 18°C e do mês mais quente com média inferior a 22° (MAIA & BAPTISTA, 2008).

Segundo Maia & Baptista (2008), a Estação Ecológica encontra-se em uma faixa intermediária de precipitação entre 1.400 a 1.450mm em relação a precipitação para Distrito Federal, no período de 30 anos.

4.1.5 Hidrografia

O nome da Estação Ecológica de Águas Emendadas originou-se do fenômeno singular que ocorre no local, onde uma única área alagada verte para duas bacias hidrográficas distintas. Na porção central da Estação existe uma vereda com cerca de 6km, denominada por Vereda Grande, o alagadiço encontra-se num terreno extremamente plano, de modo que o Córrego Vereda Grande drena para a Bacia do Rio Maranhão (sentido norte), e o Córrego Brejinho drena para a Bacia do Rio São Bartolomeu (sentido sul). O evento contribui para a formação de duas grandes bacias latino-americanas, o sentido norte contribui para a Araguaia/Tocantins, enquanto o sentido sul contribui para a Platina. Segundo Lima (2008), “a água que verte para o norte segue em percurso de aproximadamente 2.150km pela Bacia do Rio Tocantins enquanto a que vai para o sul percorre cerca de 3.300km pela Bacia do Rio da Prata, até chegar ao mar”.

A Estação Ecológica de Águas Emendadas tem sido objeto de estudos de vários pesquisadores em várias áreas do conhecimento. Baptista (2008), realizou um estudo na Estação denominado de “Modelagem do Fenômeno”, cujo objetivo foi explicar o fenômeno das águas emendadas. O autor realizou o trabalho gerando modelo tridimensional que permite investigar uma série de feições da paisagem, segundo Baptista (2008) as imagens captadas por sistemas sensores, como Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), possibilita a geração de modelos 3D. A partir do modelo 3D o autor identificou a existência de duas rampas de escoamento superficial, uma formando a drenagem do Córrego Vereda grande e outra formando a drenagem do Córrego Brejinho. Baptista (2008), descreve que “em síntese, fisicamente, o fenômeno é uma nascente no topo, alimentada por aquíferos formados nos quartzitos e barrada por metarritmitos argilosos”. O autor ainda descreve que, “cada córrego escoar por uma calha de drenagem condicionada pela falha, tendo uma litologia específica de cada lado do canal”.

As Bacias do Rio Maranhão e Ribeirão Palmeiras (Região Hidrográfica Tocantins) e Ribeirão Mestre d'Armas (Região Hidrográfica Paraná), drenam a partir da Unidade de Conservação, (Ribeiro et., al 2008). O polígono menor da Estação acomoda a maior lagoa natural do Distrito Federal (Lagoa Bonita). O canal do Ribeirão Mestre d'Armas se forma a jusante da lagoa e recebe o Córrego Fumal como tributário (Ribeiro et al. 2008). O autor com a sua equipe descreve que, “há fortes indícios que no passado a cabeceira do Ribeirão Palmeiras, formava com a cabeceira do Córrego Cascarra, dentro da ESECAE, outra área de Águas Emendadas entre aquelas duas regiões hidrográficas”.

Existe um sistema de captação de água da Caesb no Córrego Fumal dentro da Estação Ecológica, as águas captadas pela Companhia de Saneamento Ambiental são utilizadas para o abastecimento público. Segundo Lima (2008), a vazão específica média na Estação Fumal BR-020 é de aproximadamente 11,2 l/s/km² com variabilidade mensal entre 8,4 e 15,0 l/s/km², o que representa uma amplitude de apenas 6,6 l/s/km². Conforme o autor, “este valor é inferior aos encontrados em outras estações próximas, principalmente naquelas com área de drenagem similar, de aproximadamente 48km², o que apoia a informação de que a Vereda Grande exerce efeito de regularização sobre os cursos d'água que nela se originam”.

Dentro da Estação Ecológica o Córrego Vereda Grande recebe os córregos Tabatinga, Cachoeirinha, Grota Seca e Serrinha, estes contribuem para a formação da Bacia do Rio Maranhão. O Córrego Fumal recebe as águas dos córregos, Brejinho, Cascarra e Monteiro, estes contribuem para a formação da Bacia do Rio São Bartolomeu, a representação hidrográfica pode ser vista na figura 2.

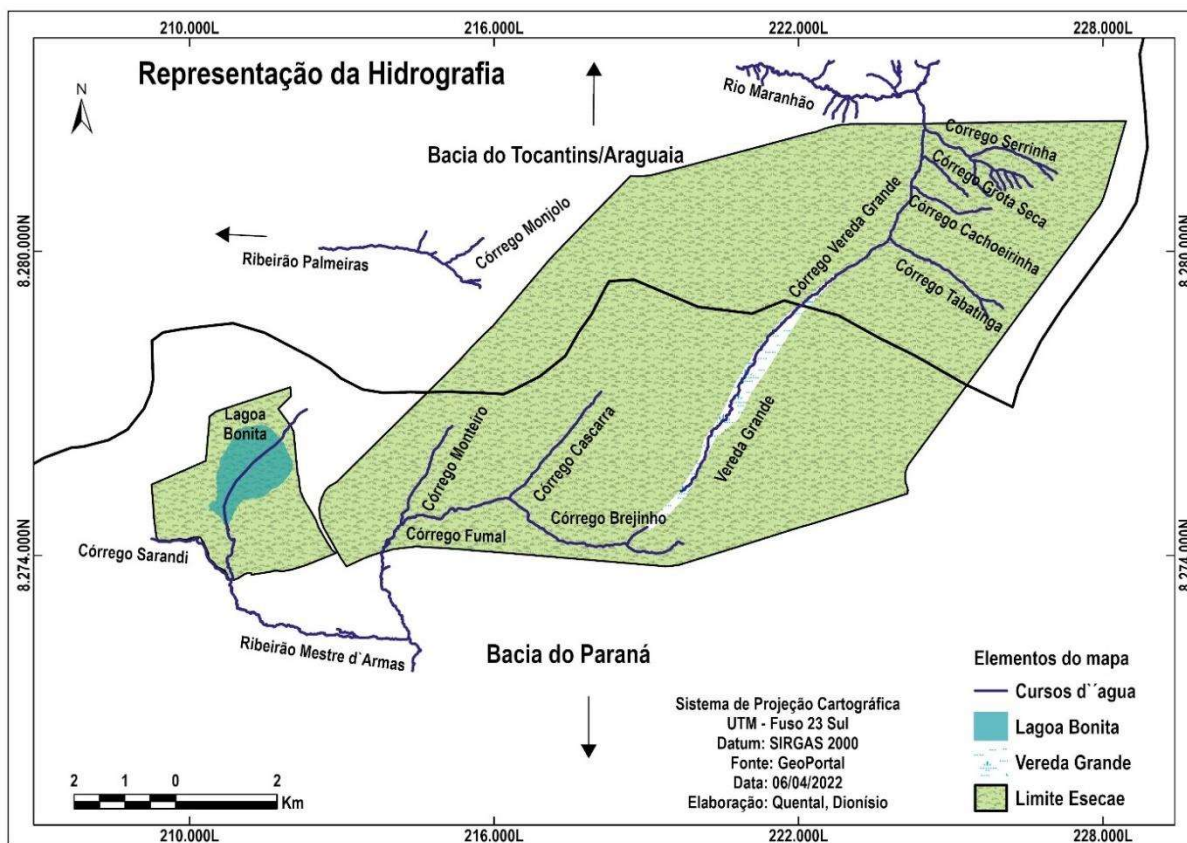


Figura 2 – Mapa da representação hidrográfica. Fontes: GeoPortal; IBGE. Elaboração: Própria.

4.2 Pontos de coletas

4.2.1 Localização dos Pontos de Investigação

A Estação Ecológica de Águas Emendadas é composta por dois polígonos, cuja área corresponde a 10.547,21 hectares. A Estação foi instituída na condição de Reserva Biológica, pelo Decreto nº 771, de 12 de agosto de 1968, e posteriormente elevada a condição de Estação Ecológica, pelo Decreto do Governo do Distrito Federal nº 11.137, de 16 de junho de 1988. Realizou-se a pesquisa no polígono maior, a aquisição dos dados se deu em 97 pontos, sendo 36 pontos nas partes centrais e 61 pontos nas bordas da Estação. A locação dos pontos de investigação geofísica está representada no mapa da figura 3.

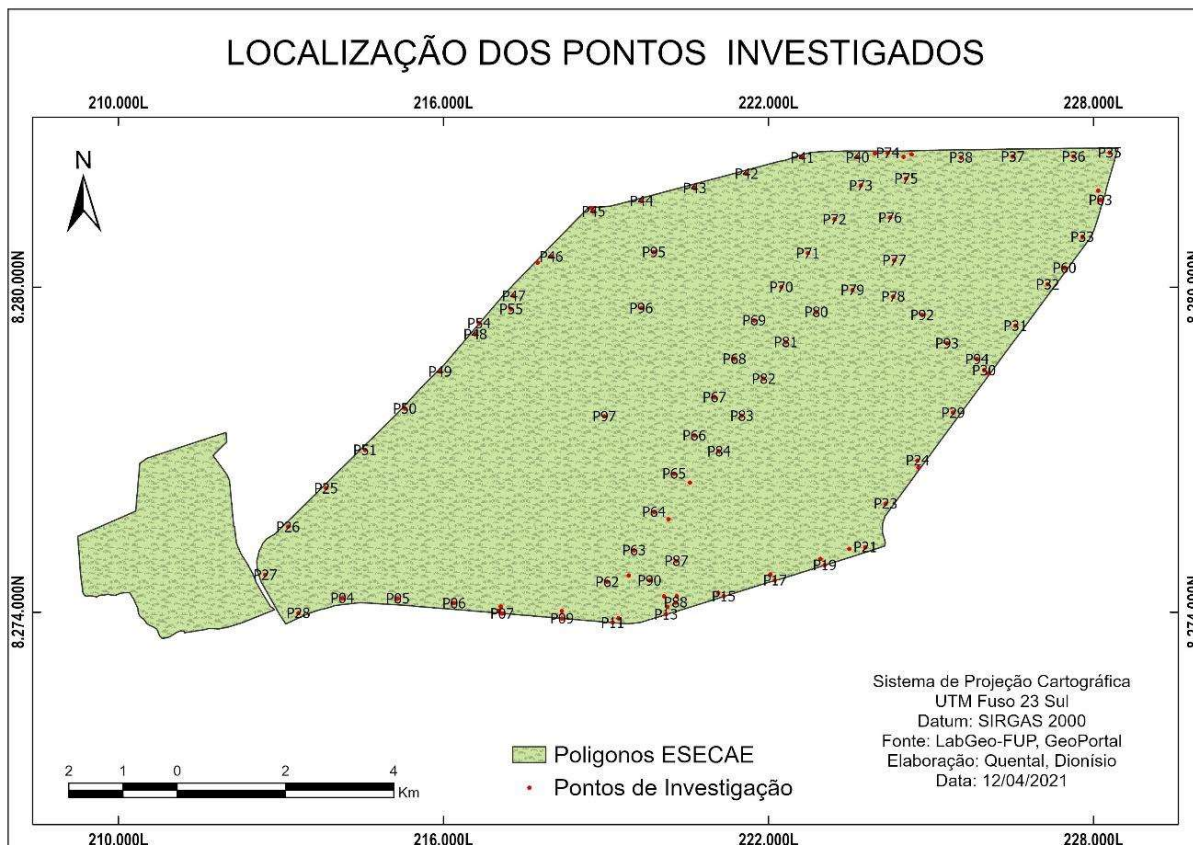


Figura 3 - Mapa de localização dos pontos de coletas. Fontes: LabGeo – FUP e GeoPortal. Elaboração do autor.

Após a escolha do método e técnica para aquisição dos dados geofísicos, e feitos os testes nos equipamentos, iniciou-se os trabalhos em campo, as atividades ocorreram do dia 17/06/2021 até o dia 22/07/2021. Realizou-se oito campanhas, os dias em que as campanhas foram realizadas com as suas respectivas aquisições estão listados no quadro 1.

ID	Data
1	17/06/2021
2	18/06/2021
3	25/06/2021
4	02/07/2021
5	08/07/2021
6	15/07/2021
7	16/07/2021
8	22/07/2021

Quadro 1 - Período de aquisição das leituras.

4.2.2 Localização dos Pontos das Amostras

Juntamente com a aquisição dos dados geofísicos, fez-se a coleta de solos em 26 pontos específicos. As coletas foram realizadas com o auxílio de uma cavadeira, onde cada amostra foi coletada a uma profundidade aproximada de 70 cm, selecionou-se os locais de coleta levando em consideração a classificação dos solos, veja o mapa na figura 4.

As amostras de solos foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas por meio de etiquetas e transportadas em caixas plásticas com tampa. Realizou-se as coletas com objetivo de se obter o teor de umidade das amostras, as coordenadas dos pontos amostrais estão indicadas na tabela 1.

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos amostrais

Pontos	Coord. X	Coord. Y	Pontos	Coord. X	Coord. Y
P02	220306	8274298	P57	217742	8280452
P05	215159	8274252	P59	224768	8276674
P09	218188	8273884	P65	220258	8276558
P11	219124	8273809	P70	222236	8280004
P15	221173	8274295	P74	224204	8282479
P17	222120	8274590	P75	224541	8282005
P23	224162	8276006	P84	221088	8276970
P31	226558	8279290	P91	219419	8274676
P35	228296	8282485	P92	224838	8279486
P36	227632	8282411	P94	225850	8278671
P39	224638	8282450	P95	219883	8280648
P46	217993	8280564	P96	219650	8279614
P52	226050	8278406	P97	218970	8277617

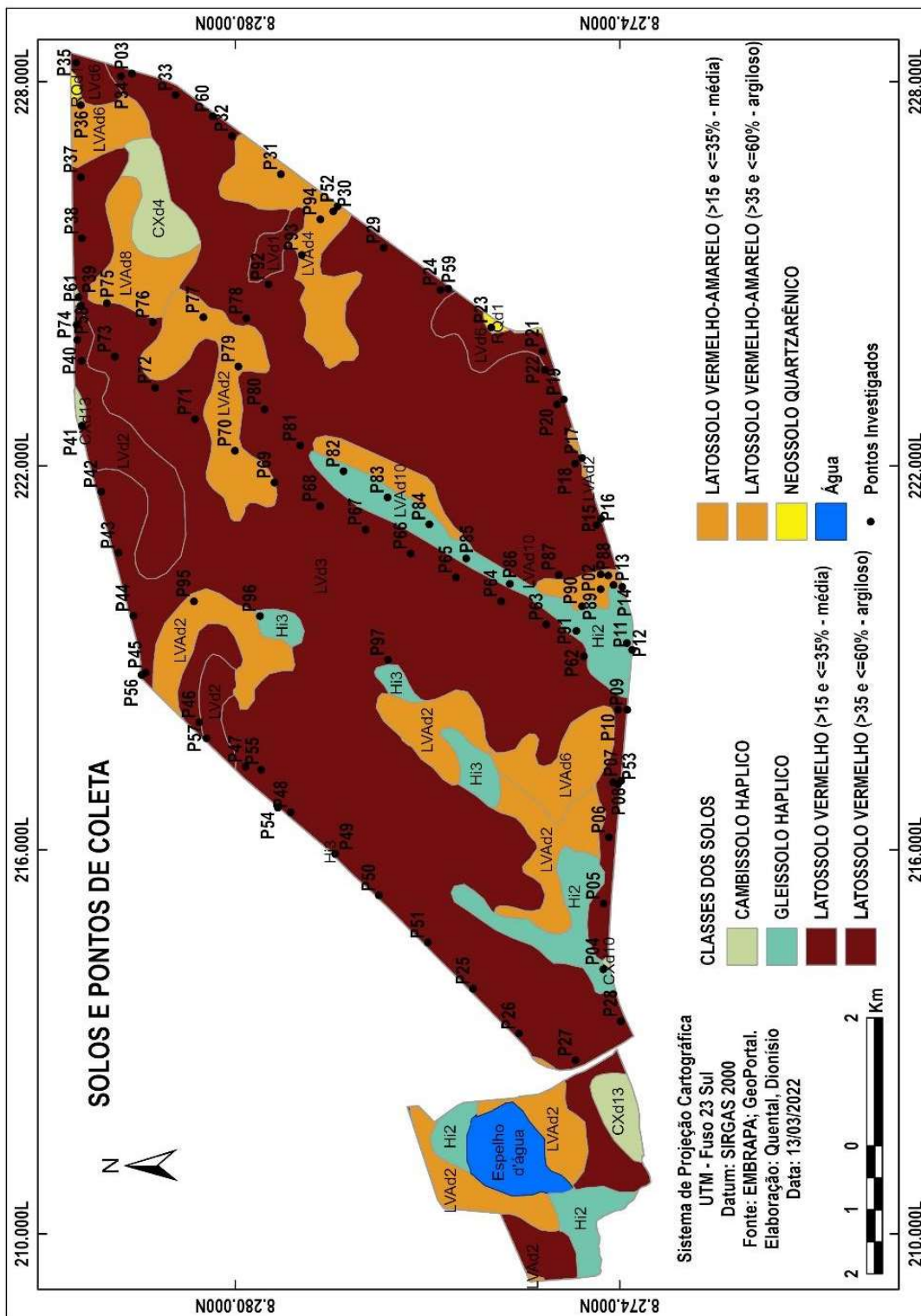


Figura 4 - Mapa solos e localização das coletas. Fontes: EMBRAPA e GeoPortal. Elaboração do autor.

4.3 Equipamentos Utilizados

4.3.1 Resistivímetro

As leituras em campo foram realizadas com o resistivímetro Geopulse, fabricado por Campus Geophysical Instruments, Inglaterra. O equipamento é de propriedade da Universidade de Brasília. Determinou-se um espaçamento de 2m entre os eletrodos e linha com extensão de 6m, a figura 5 apresenta o equipamento e o arranjo disposto no campo.



Figura 5 – Foto: Gilda Colem Quental.

Optou-se pelo método geofísico da Eletrorresistividade (ER), e pela técnica do Caminhamento Elétrico (CE). Os dados foram coletados utilizando uma configuração tetraeletródica (AMNB), onde os eletrodos (AB) são eletrodos de corrente, enquanto (MN) são os eletrodos de potencial, conforme apresentado na figura 6. A investigação em campo foi programada para leituras em profundidade fixa de 1m. Segundo Braga (2016, p. 67), uma investigação programada para profundidade fixa, as medidas resultam num perfil geoeletrico 1D.

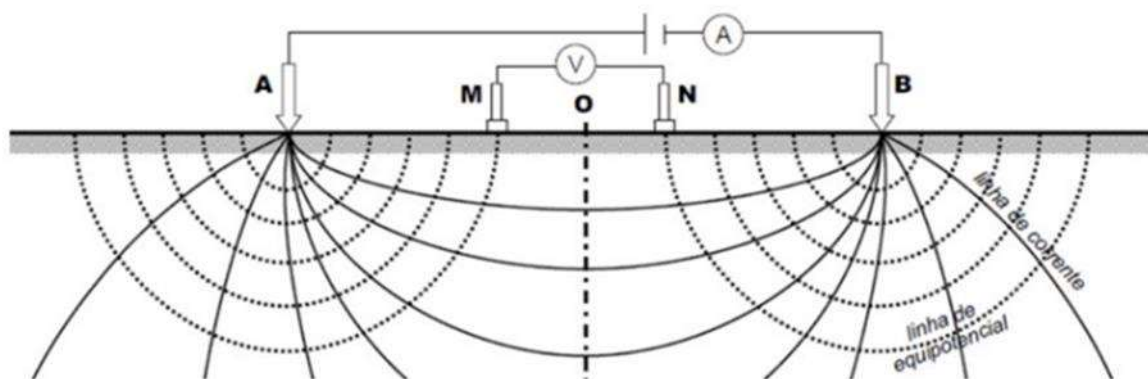


Figura 6 – Configuração tetraeletródica (Braga, 2016)

4.3.2 Secagem dos Solos

As amostras foram colocadas em recipiente de alumínio, identificadas e pesadas em balança com precisão de 0,001g (modelo AL 500C, ano 2006). As porções contendo aproximadamente 250g, após terem suas massas identificadas foram transferidas imediatamente para estufa aquecida a uma temperatura de 105 °C (Estufa Digital para Secagem marca Isterilifer, modelo SX 1.4 DTMS, volume 100 L). Os equipamentos são de propriedade da Faculdade UnB Planaltina – FUP, vide figura 7.



Figura 7 – Foto: Dionisio Qental

4.3.3 Mapas e Programas

As anotações feitas em campo foram organizadas em tabelas com o auxílio do programa Excel (Microsoft® Excel®). Realizou-se o processamento dos dados tabulados para confecção dos mapas em software GIS (Geographic Information System), o ArcGIS Desktop 10.6.1 foi o software que se utilizou, fez-se a elaboração dos mapas no software GIS ArcGIS Pro 2.9.2. Utilizou-se um módulo do programa R para as análises estatísticas, análise das componentes principais (PCA) e estatística descritiva.

5 Resultados e Discussão

5.1 Resistividade Elétrica Aparente

Finalizado o trabalho em campo as leituras de resistência fornecidos pelo aparelho foram passadas para planilha, os valores foram convertidos em resistividade aparente utilizando a equação 5.

$$\rho_a = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R$$

(Equação 5)

Onde, " ρ_a " é a Resistividade aparente, " $2 \cdot \pi$ " é uma constante (fórmula da equação), " a " distância entre (MN) e " R " é a resistividade medida pelo equipamento.

5.1.1 Estatística Descritiva

As informações da análise descritiva referente a resistividade aparente dos 97 pontos investigados no interior da Estação Ecológica encontram-se expressas na tabela 2.

Tabela 2 – Análise descritiva da resistividade aparente

	ρ_a
Média	17477
Erro padrão	908,17
Modo	15574,4
Mediana	16579,2
Primeiro quartil	11090
Terceiro quartil	22733
Variância	80004570,69
Desvio padrão	8944,52
Curtose	0,599
Inclinação	0,65545813
Intervalo	45756,08
Mínimo	464
Máximo	46220
Soma	1695348
Contagem	97

Fonte – Dados coletados pelo autor

Os dados tabulados foram processados e interpolados no ArcGis 10.6.1, para a interpolação utilizou-se o interpolador Inverse Distance Weighted (IDW). O modelo baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre os seus valores. Dessa forma atribui maior peso para as observações mais próximas do que para as mais distantes. Assim o modelo consiste em se multiplicar os valores das observações pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto de referência para a interpolação dos valores, vide equação 6.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}}$$

Onde,

(Equação 6)

Z = valor estimado para o ponto Z ;

n = Número de amostras;
 Zi = valores conhecidos;
 di = distância entre os valores conhecidos e o estimado (Zi e Z).

A equação 7 pode ser ajustada para incluir uma potência para as distâncias, com isso pode-se atribuir pesos diferentes para a estimativa do valor de uma observação para uma mesma distância.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}$$

(Equação 7)

Observando-se a equação 7 verifica-se que foi adicionado uma potência “p” ao inverso da distância” $\frac{1}{d_i}$ ”. Com essa modificação da equação 6 pode-se atribuir diferentes valores a potência “p”, sendo que quanto maior for o valor dessa potência maior será a influência dos vizinhos mais próximos (Zi) no valor estimado para o ponto Z. A potência mais utilizada é “2” e por isso frequentemente esse interpolador é chamado de “inverso do quadrado das distâncias”, (VARELLA, 2014).

Com os dados interpolados elaboraram-se dois mapas, um contemplando a interpolação da área total da ESECAE e o outro a interpolação das porções leste e oeste da Estação. Os mapas foram elaborados no ArcGISPro 2.9.0. A espacialização dos dados tabulados facilitou a compreensão do meio estudado. Através da informação espacial dos dois mapas pode-se perceber que os valores de resistividade elétrica aparente se dividem na Estação Ecológica, ou seja, a porção oeste demonstra ser mais resistiva que a porção leste. Essas informações estão ilustradas nos mapas das figuras 8 e 9.

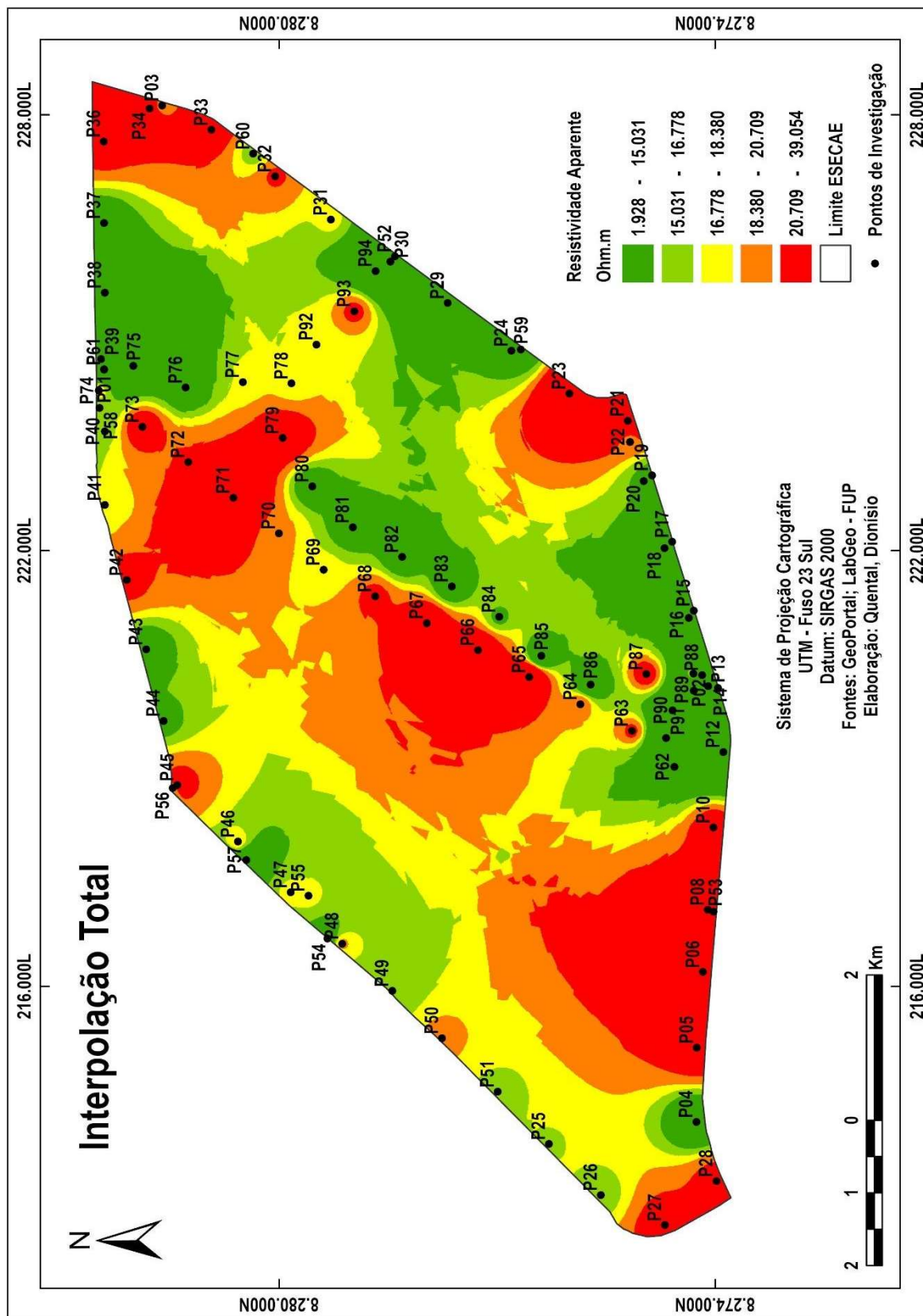


Figura 8 - Mapa de interpolação, elaboração do autor.

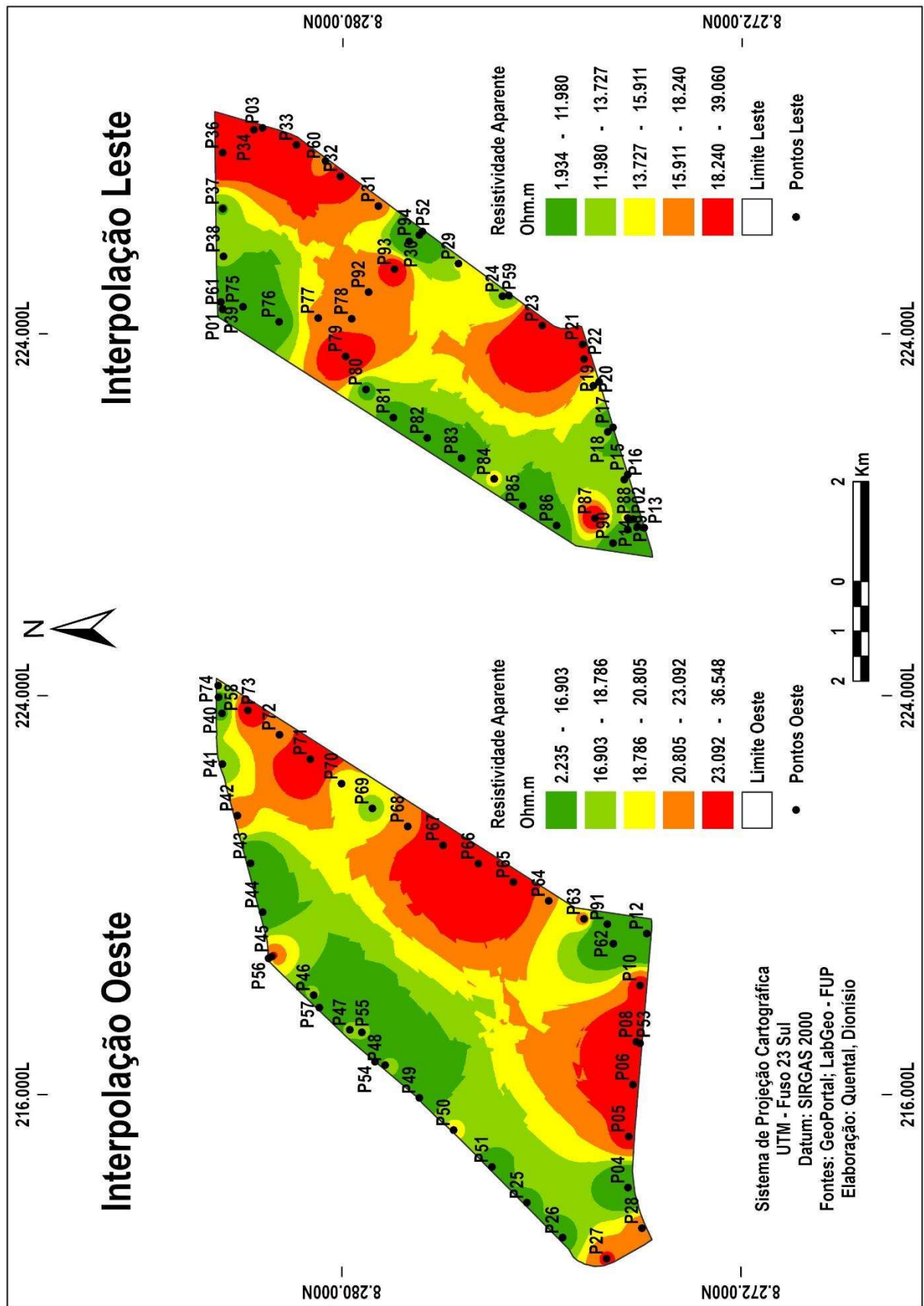


Figura 9 – Interpolação das porções leste e oeste, elaboração do autor.

5.2 Umidade Gravimétrica

A umidade atual representa o conteúdo de água presente na amostra em determinado momento e local, podendo ser determinada in situ ou por amostragem, para determinação em laboratório (EMBRAPA; *et al.*, 2017). O material coletado em campo seguiu para laboratório, onde foram realizados os procedimentos de secagem com base na metodologia da EMBRAPA, a tabela 3 mostra os pontos de coleta com seus respectivos CGAs. A umidade em base gravimétrica (CGA) é calculada de acordo com a equação 8.

$$CGA = \left(\frac{a - b}{b} \right)$$

Em que:

CGA – conteúdo gravimétrico de água (umidade em base gravimétrica), em kg kg⁻¹.

a – Massa da amostra úmida, em g.

b – Massa da amostra seca a 105 °C até atingir peso constante, em g.

Tabela 3 – Determinação da umidade em base gravimétrica

ID	Pontos	T(g)	MBU(g)	MBS(g)	Umidade gravimétrica(g)
1	P02	2,452	253,782	204,27	0,245
2	P05	2,444	252,927	205,297	0,234
3	P09	2,458	253,713	228,995	0,109
4	P11	2,448	253,926	174,616	0,460
5	P15	2,454	253,317	208,289	0,218
6	P17	2,447	253,545	207,975	0,221
7	P23	2,458	253,874	242,938	0,045
8	P31	2,446	252,923	205,251	0,235
9	P35	2,465	253,236	234,725	0,079
10	P36	2,448	253,478	233,687	0,085
11	P39	2,44	252,743	203,232	0,246
12	P46	2,446	253,56	199,599	0,273
13	P52	2,44	253,985	200,21	0,271
14	P57	2,445	253,889	200,012	0,272
15	P59	2,493	255,081	205,205	0,246
16	P65	2,499	252,654	206,093	0,228
17	P70	2,489	253,86	204,863	0,242
18	P74	2,47	253,344	206,068	0,232

19	P75	2,466	254,656	211,867	0,204
20	P84	2,488	254,322	201,08	0,268
21	P91	2,452	253,114	191,63	0,325
22	P92	2,452	256,266	212,175	0,210
23	P94	2,475	253,185	204,692	0,239
24	P95	2,431	253,192	205,299	0,236
25	P96	2,435	253,182	202,907	0,250
26	P97	2,474	252,648	205,045	0,235

5.2.1 Análise Descritiva de Umidade

As informações das análises descritivas da umidade gravimétrica das amostras de solos coletas estão dispostas na tabela 4, o ponto com maior valor de umidade foi o “P11”, já o “P23” apresenta menor valor de umidade gravimétrica. Das 26 amostras de solos analisadas, 25% apresentam os menores valores de umidade gravimétrica, ou seja, as amostras que tiveram suas umidades gravimétricas abaixo 0,219g representam os solos mais secos.

Tabela 4 – Análise descritiva da umidade gravimétrica

Umidade Gravimétrica (g)	
Média	0,227
Erro padrão	0,015881814
Mediana	0,235
Primeiro quartil	0,219
Terceiro quartil	0,249
Variância	0,0065
Desvio padrão	0,08
Curtose	2,80
Inclinação	0,0093
Intervalo	0,41
Mínimo	0,045
Máximo	0,46
Soma	5,91
Contagem	26

5.3 Linhas Investigadas

5.3.1 Configuração das Linhas

Os dados referentes a resistividade aparente foram organizados em linhas e analisados juntamente com a altitude e a classe de solo dos pontos investigado, o sentido das linhas está orientado por ordem alfabética expostas na figura 10. Cada linha parte de um ponto 0m e segue considerando as distâncias acumuladas entre os pontos investigados, as linhas de investigação são: Linha AB, Linha CD, Linha EF, Linha GH, Linha IJ e Linha KL.

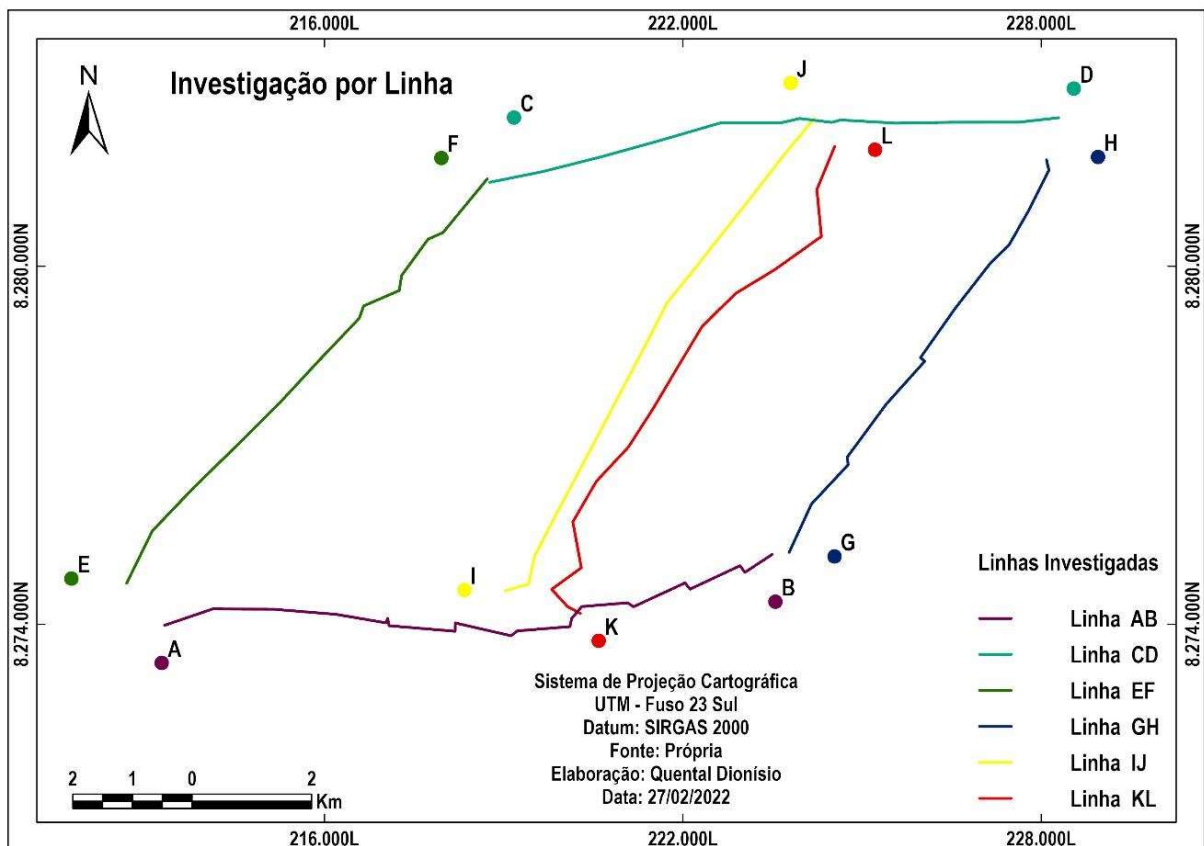


Figura 10 – Configuração das linhas dispostas na Estação Ecológica

5.3.2 Representação Gráfica

A Linha AB encontra-se na porção sul da Estação em paralelo à rodovia BR 020, sua extensão é de 11.182m. Aos 5.085,98m está o “P09”, cuja resistividade aparente é a maior registrada na linha, o ponto encontra-se sobre a classe de solo LVd3. Aos 6.184,15m encontra-se o “P11”, o ponto registra a menor resistividade aparente da linha e situa-se sobre a classe de solo Hi2. Entre as distâncias, 6.300m e 7.600m estão os valores mais baixos de Resistividade aparente, onde, “P11”, “P12”, e “P14” são pontos localizados na classe de solos Hi2 e “P13” situa-se LVAd10. O “P17” situa-se em solo LVAd2 e sua resistividade foi bem abaixo dos solos de mesma classe, o ponto situa-se exatamente às margens da BR – 020, o local passou por processo de compactação, vide gráfico 1

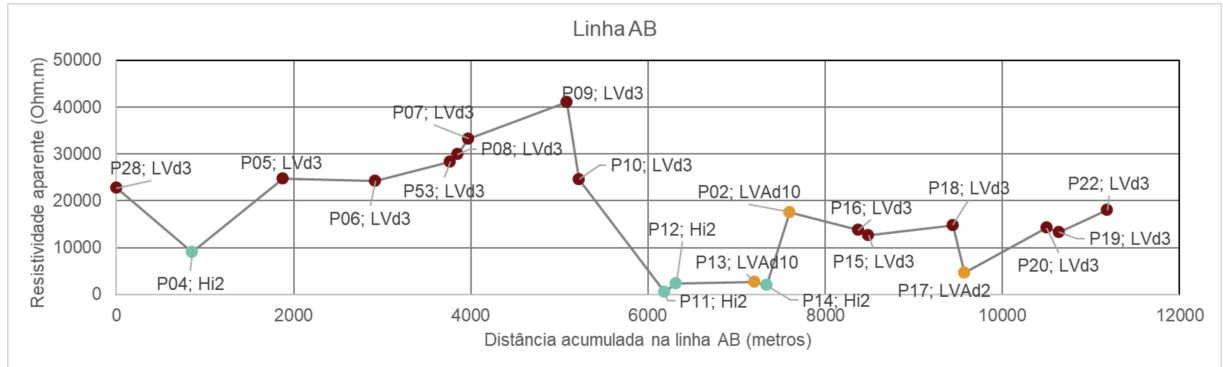


Gráfico 1 – Resistividade aparente, classes de solos e distância acumulada da Linha AB.

A Solos de uma mesma classe podem ter texturas diferentes, bem como solos de classes diferentes podem ter texturas semelhantes (NASCIMENTO, PIRES & MORAES, 2004). Segundo Fukue et al. (1999), para solos não saturados, a resistividade muda amplamente com o teor da água. A descontinuidade da água dos poros causa uma resistividade extremamente alta nos materiais. Em geral, rochas e solos são altamente resistivos, porém os níveis mais altos de umidade e a maior quantidade de material solubilizado na origem da água intersticial podem diminuir a resistividade elétrica (NASCIMENTO, et al., 2017).

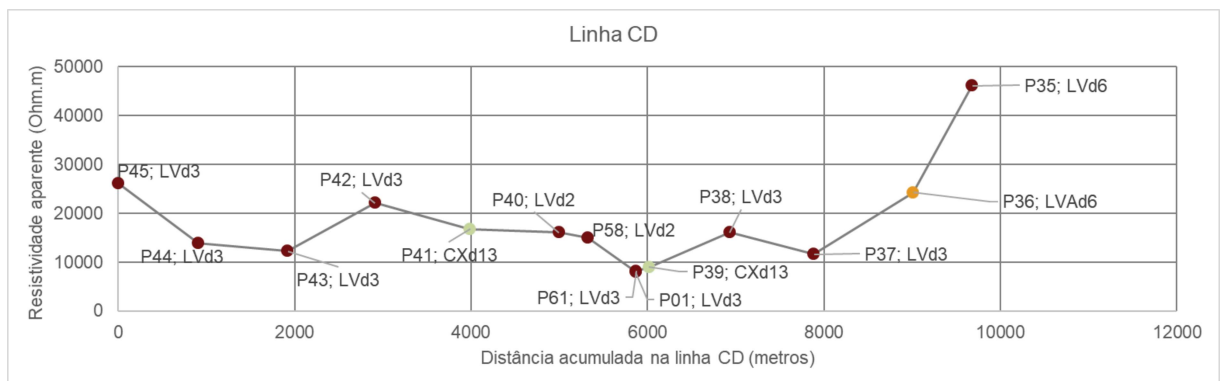


Gráfico 2 – Resistividade aparente, classes de solos e distância acumulada da Linha CD.

Linha CD encontra-se na porção norte da Estação em paralelo à rodovia DF 205, LVd3 é a classe de solos predominante na linha, essa apresenta resistividade aparente média de 17.544 Ω m. O “P35” está sobre a classe de solo LVd6, a resistividade aparente nesse ponto é a mais alta para toda área investigada (46.220 Ω m). Entre os 5.865,94m e 6.017,62m estão os menores valores de resistividade aparente da linha, dentre os quais “P01” (7.975 Ω m) e “P61” (8.189 Ω m), ambos pertencentes a classe LVd3. Destaque para esses dois pontos, pois não houve medições com esses valores para essa classe de solos na Estação, os pontos estão sobre cotas inferiores e em área de transição de classes de solos, vide gráfico 2.

A Linha EF localiza-se na porção oeste da Estação em paralelo à rodovia DF 128, o “P57” possui o menor valor de resistividade aparente da linha, a classe de solo do ponto é

LVd2. Os demais pontos da linha estão situados sobre a classe LVd3, cuja resistividade aparente para essa classe de solos nessa linha ocorre no intervalo entre 10.000 a 25.000 Ωm , vide gráfico 3.

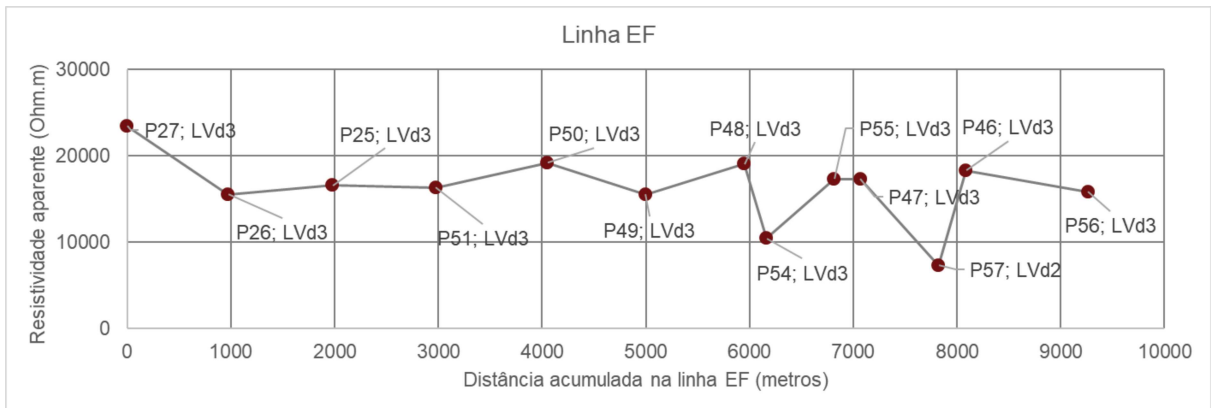


Gráfico 3 – Resistividade aparente, classes de solos e distância acumulada da Linha EF.

A Linha GH encontra-se na porção oeste da Estação em paralelo à rodovia DF 345, nessa linha os pontos das extremidades são mais resistivos, ao centro os solos apresentam menores valores de resistividade aparente. O “P21” é o ponto de máxima da linha, este encontra-se sobre a classe LVd6. No intervalo entre 4.000m e 5.100m estão “P52”, “P30” e “P31, todos pertencentes à classe de solos LVAd4. Os valores de resistividade aparente desses pontos aumentam no sentido crescente do intervalo em metros, a ocorrência pode ser em função do campo de murundus existente no local. A média da resistividade aparente na linha é na ordem de 19.156,9 Ωm , o “P23”, que está sobre a classe RQd1, apresenta valor de resistividade relativamente alto, vide gráfico 4.

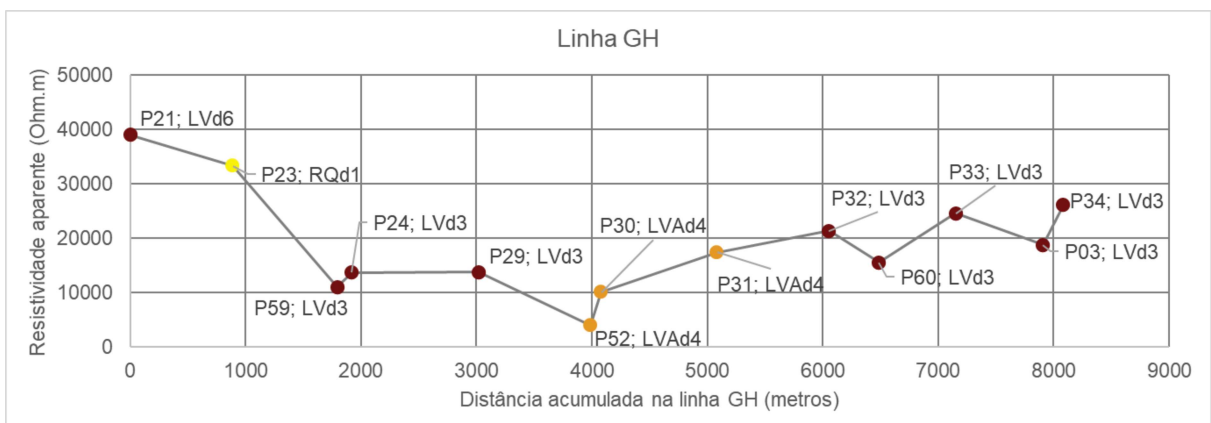


Gráfico 4 – Resistividade aparente, classes de solos e distância acumulada da Linha GH.

Na margem esquerda da Vereda Grande, no sentido sul/norte situa-se a Linha IJ, o menor valor de resistividade aparente da linha encontra-se no “P91” situado aos 412,52m, cuja

classe dos solos é Hi2. A linha possui a resistividade média mais alta (22.369 Ωm) em relação as demais, o valor máximo é de 36.549 Ωm localizado no “P71”, ponto pertencente a classe dos LVd3, alguns pontos dessa classe obtiveram resistividade aparente acima de 27.000 Ωm , vide gráfico 5.

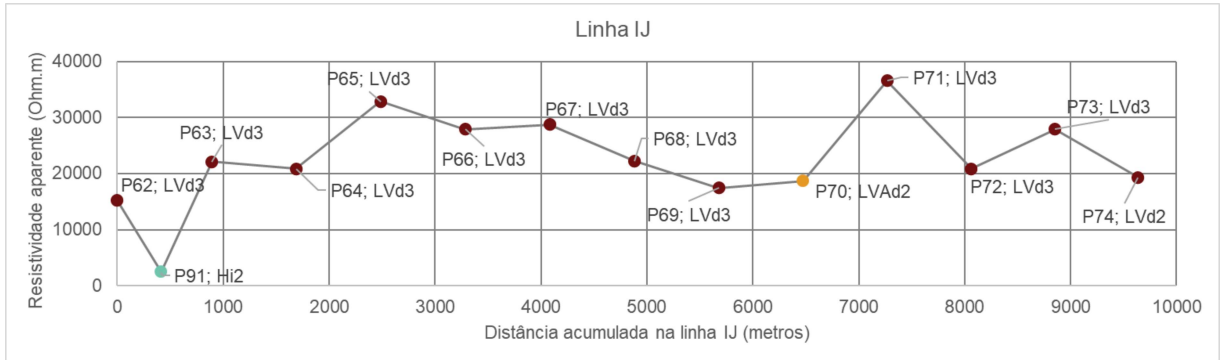


Gráfico 5 – Resistividade aparente, classes de solos e distância acumulada da Linha IJ.

Na margem direita da Vereda Grande, no sentido sul/norte situa-se a Linha KL, ao contrário da Linha IJ, a Linha KL apresenta resistividade média (12.679,74 Ωm), sendo a menor média em relação as demais. A classe de solo presente no intervalo dos 2.034,3m aos 5.178,8m é a Hi2, percebe-se que no intervalo dos 4.384,21m aos 6.759,78m, a resistividade aparente apresenta um comportamento praticamente constante, vide gráfico 6.

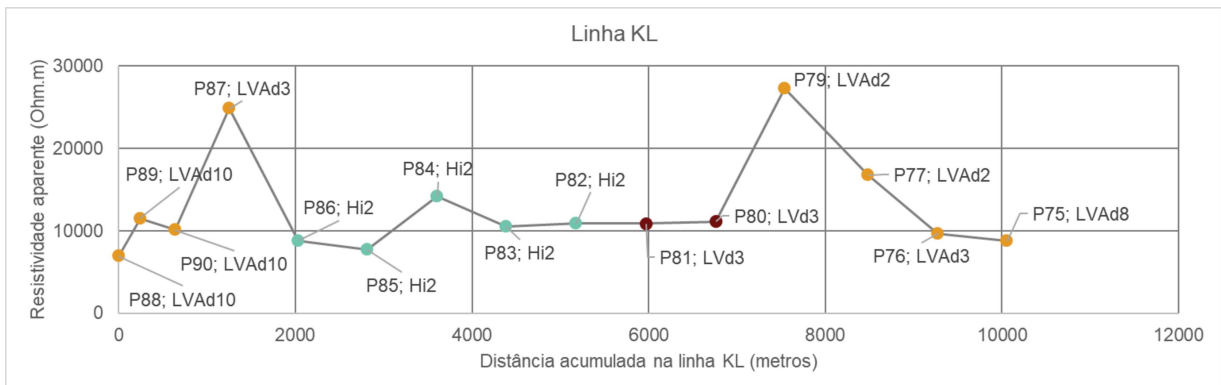


Gráfico 6 – Resistividade aparente, classes de solos e distância acumulada da Linha KL.

5.3.3 Representação Topográfica

A altimetria da Estação Ecológica varia de 927m a 1.176m, as maiores altitudes estão no Perfil GH variando de 1.108m a 1.176m. As menores altitudes da Estação estão nas porções sudoeste e centro norte, variando de 927m até 991m, a representação espacial encontra-se na figura 11.

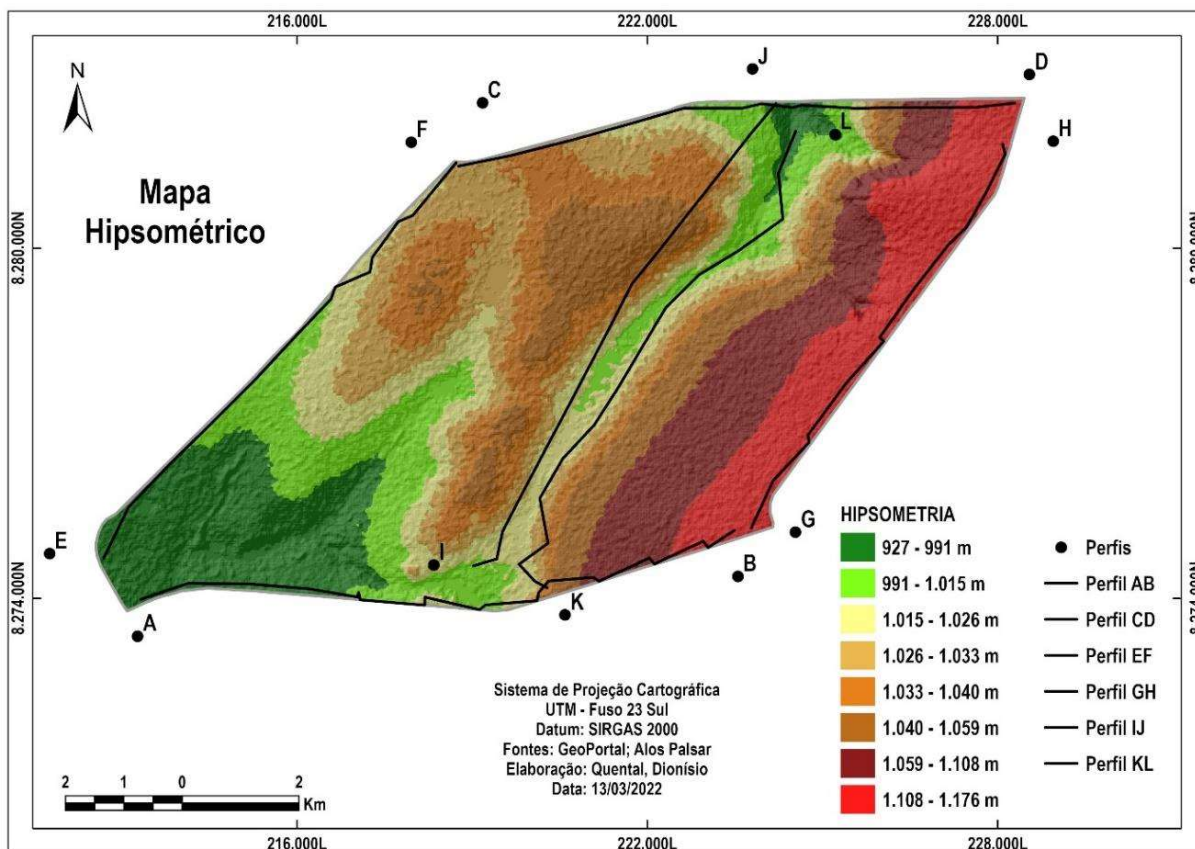


Figura 11 – Configuração das linhas dispostas na Estação Ecológica

O mapa de hipsometria foi elaborado a partir do MDE com resolução espacial 12,5m (Alos Palsar), o modelo possibilitou a construção de perfis topográficos nas linhas em que foram feitas as investigações geofísicas. Aqui as linhas foram denominadas de perfis, a visualização gráfica dos perfis está representada na figura 12.

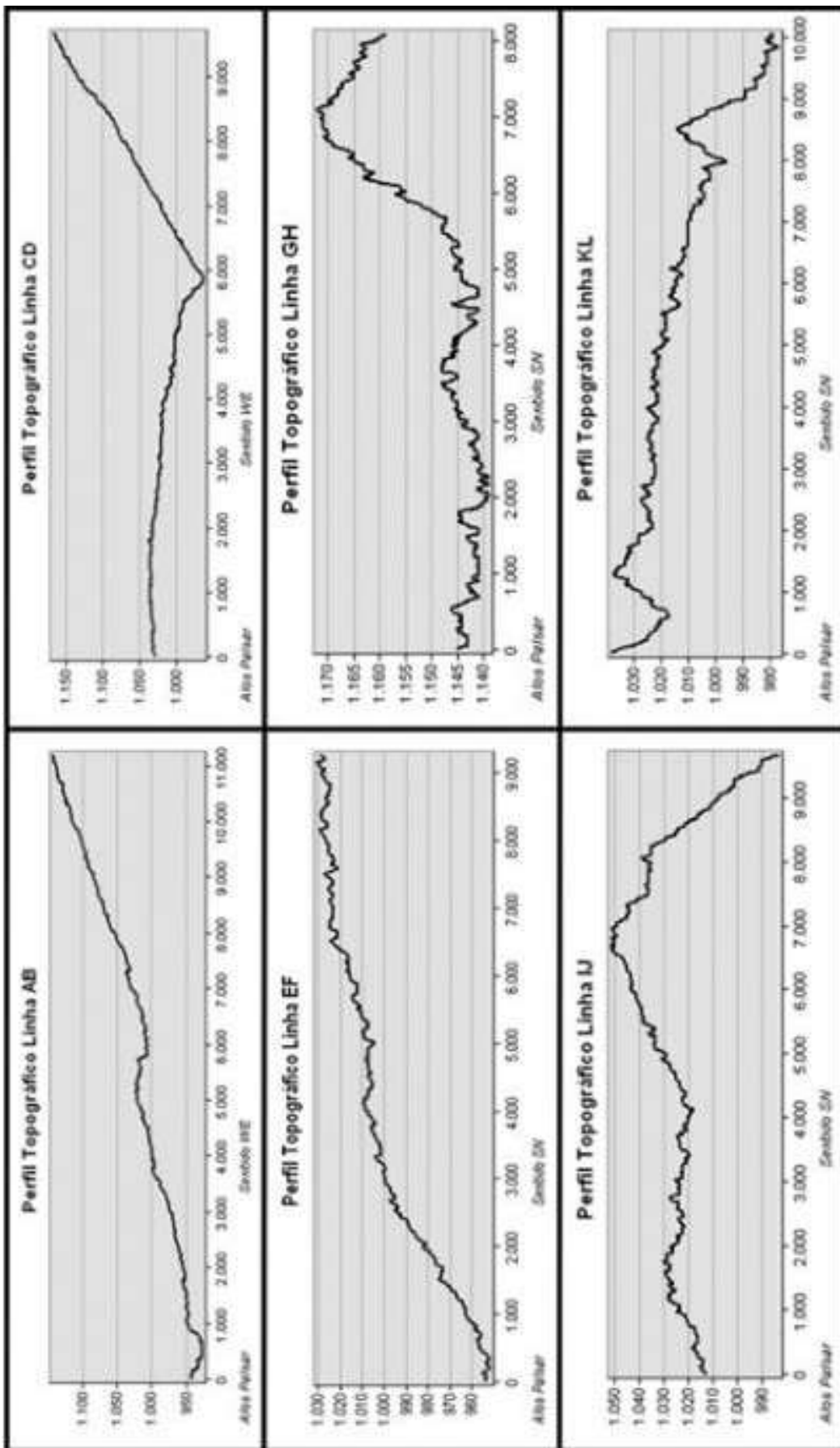


Figura 12 – Perfis topográficos das linhas de investigação

5.4 Análises Estatísticas

Realizaram-se análises estatísticas das seguintes variáveis: pa, Hg, As, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Pb e Zn. Para as análises utilizaram-se as linhas das bordas da Estação Ecológica, conforme a configuração apresentada na figura 13. Seguem os resultados das estatísticas descritivas e Análise das Componentes Principais (PCA), as análises foram realizadas separadamente e em seguida o mesmo procedimento foi realizado com as quatro linhas em conjunto.

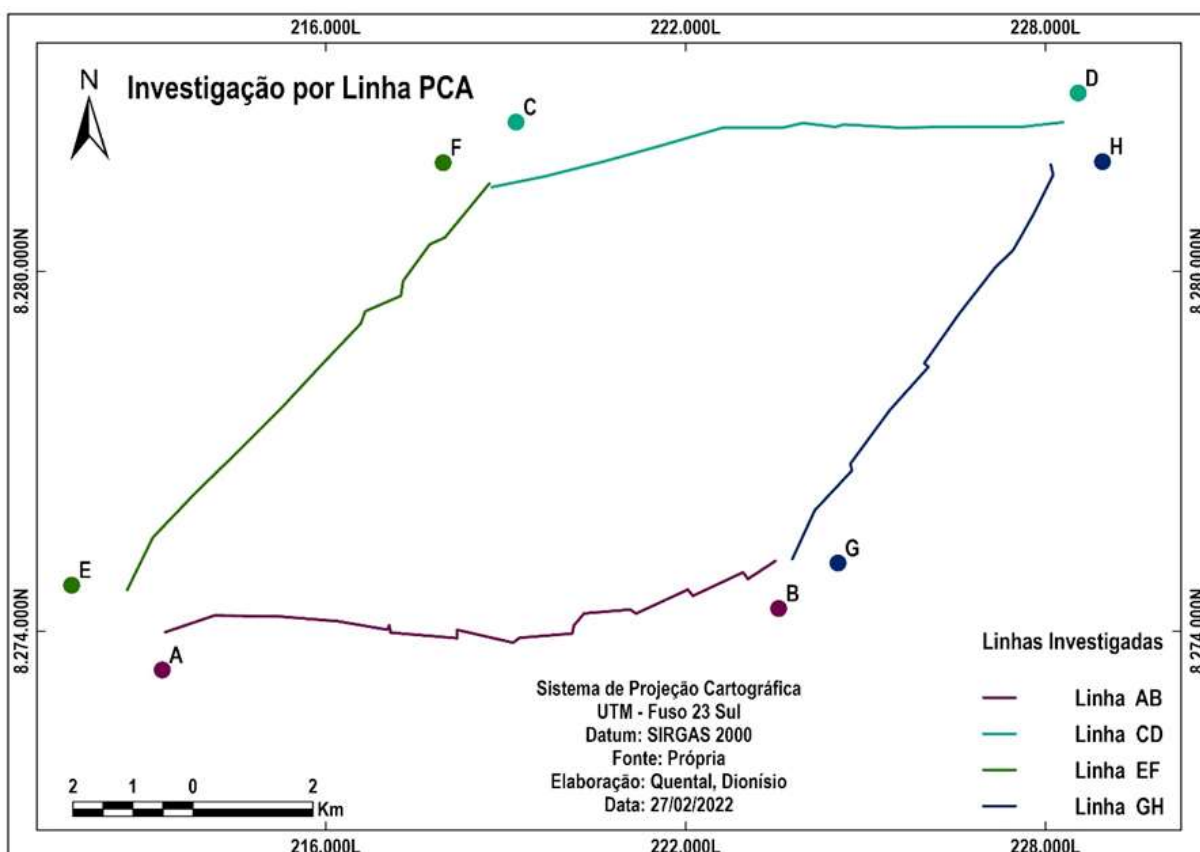


Figura 13 – Mapa de localização das linhas das Análises das Componentes Principais.

5.4.1 Estatística Descritiva

As informações obtidas dos dados das linhas, com a aplicação da estatística descritiva encontram-se na tabela 5.

Tabela 5 – Estatística Descritiva: Dados das Linhas (AB, CD, EF e GH)

Linha AB						
Variáveis	N	Média	Mediana	Mínimos	Máximos	Std.Dev.
pa	19	15389,31	14192,8	464,72	41071,2	10799,79
Hg A	19	18,24053	19,9	0,33	27,01	7,16
As	19	8,857105	7,87	0,57	20,89	5,54
Cd	19	8,001632	7,47	0,001	20,01	6,08
Co	19	3,099737	2,89	0,275	6,01	1,63
Cr	19	226,1404	255,5	0,008	506,2	124,74
Fe	19	49562,26	55270	1371	122800	34353,77
Mn	19	40,42368	34,31	10,34	118,3	29,31
Pb	19	41,43658	26,76	3,475	264,5	57,18
Zn	19	19,80974	19,59	8,045	34,12	7,13
Linha CD						
Variáveis	N	Média	Mediana	Mínimos	Máximos	Std.Dev.
pa	12	18540,65	16076,8	7975,6	46220,8	10419,31
Hg A	12	10,6	11,53	0,455	12,67	3,28
As	12	11,62	10,73	0,545	27,67	7,59
Cd	12	6,98	8,08	0,055	13,33	4,41
Co	12	3,16	3,58	0,075	4,87	1,29
Cr	12	161,25	180,15	9,635	242,4	72,64
Fe	12	33950,42	34140	843	71390	19733,15
Mn	12	26,91	28,49	1,235	44,07	12,45
Pb	12	26,07	24,67	12,41	47	8,96
Zn	12	18,13	18,2	3,345	26,59	6,81
Linha EF						
Variáveis	N	Média	Mediana	Mínimos	Máximos	Std.Dev.
pa	9	17946,84	17332,80	15574,40	23487,20	2497,39
Hg A	9	12,98	12,09	11,01	21,63	3,33
As	9	17,37	16,68	8,95	28,98	5,95
Cd	9	6,47	5,38	3,11	10,12	3,09
Co	9	4,71	4,80	1,60	6,63	1,69
Cr	9	187,99	188,70	83,93	288,60	66,56
Fe	9	42462,22	43050,00	11160,00	67840,00	16290,02
Mn	9	45,30	41,40	23,49	70,70	16,56
Pb	9	31,51	27,51	17,04	45,68	11,50
Zn	9	27,86	29,14	19,47	38,96	6,93

Linha GH						
Variáveis	N	Média	Mediana	Mínimos	Máximos	Std.Dev.
pa	10	21836,82	20096,00	10123,36	39061,60	9129,56
Hg A	10	10,74	11,55	1,89	13,20	3,17
As	10	7,38	6,17	1,10	15,57	5,27
Cd	10	8,45	9,08	0,00	19,45	5,77
Co	10	2,71	2,40	0,29	5,79	1,50
Cr	10	215,07	230,00	0,00	389,90	100,97
Fe	10	43263,50	35872,50	28660,00	92530,00	19374,48
Mn	10	29,77	26,21	18,87	57,30	11,15
Pb	10	14,16	17,74	2,63	23,45	7,46
Zn	10	15,37	15,38	6,42	21,07	3,96

Dentre as 4 linhas analisadas, a Linha AB (BR 020), foi a que apresentou valores de desvio padrão mais elevados, as variáveis As e Co foram as únicas que não acompanharam esse padrão, as duas variáveis obtiveram os valores de desvio padrão mais elevados nas linhas CD e EF. Metais como: Hg, Cd, Cr, Fe, Mn e Pb obtiveram maiores concentrações na Linha AB (BR 020). Na Linha CD (DF 205) os metais: As, Co, Fe, Mn e Zn obtiveram as menores concentrações. Os Metais: As, Co e Zn obtiveram maiores concentrações na Linha EF (DF 128). Na Linha GH (DF 345) aparecem: Cd, Cr e Pb com as menores concentrações. O menor valor de resistividade aparente encontra-se na Linha AB (BR 020), já o valor máximo para esta variável encontra-se na Linha CD (DF 205).

5.4.2 Análises das Componentes Principais

5.4.2.1 Linha AB

Adotou-se a carga mais significativa, ou carga forte por assim dizer, os valores a partir de 0,7 em módulo para as análises das variáveis, a tabela 6 apresenta as cargas das variáveis em cada fator. Desse modo, determinou-se para a Linha AB o primeiro eixo como a componente dos metais pesados e o segundo eixo como a componente da resistividade aparente.

As variáveis Fe e Cr foram as que obtiveram maiores cargas no primeiro eixo, no segundo eixo obtiveram as cargas mais fortes a pa e o Pb, o Cd apresenta carga forte no terceiro eixo e o As obteve carga forte no quarto eixo. Com exceção do Hg e do Pb no primeiro eixo, os outros metais que não obtiveram carga forte, foram inversamente proporcionais à pa no segundo eixo.

Calculados os autovalores para a Linha AB, constatou-se que os quatro primeiros eixos possuem uma representatividade de 76,52% das cargas das variáveis estudadas, os autovalores estão detalhados na tabela 7.

Tabela 6 - Fator de carga (factor loadings), de cada variável, baseada nas correlações

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
pa	-0,06696	0,842416	-0,01016	-0,26307
Hg A	0,024801	-0,44915	0,533182	-0,08939
As	-0,10915	-0,09549	-0,07658	0,911359
Cd	-0,4053	0,111716	-0,71184	-0,0845
Co	-0,81889	-0,10039	-0,24597	-0,03397
Cr	-0,83877	-0,35602	-0,23304	0,017067
Fe	-0,89508	0,159417	0,021632	0,053322
Mn	-0,77007	0,113331	0,376841	-0,20638
Pb	0,170868	-0,70858	-0,29855	-0,41765
Zn	-0,7475	-0,09714	0,46433	0,004696

Tabela 7 – Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas

Vetor	Autovalor	% Total (variância)	Acumulado (Autovalor)	Acumulado (%)
1	3,5375405	35,375405	3,5375405	35,375405
2	1,61960354	16,1960354	5,15714404	51,5714404
3	1,35898095	13,5898095	6,51612499	65,1612499
4	1,13624201	11,3624201	7,652367	76,52367
5	0,838471792	8,38471792	8,49083879	84,9083879
6	0,596289659	5,96289659	9,08712845	90,8712845
7	0,358811472	3,58811472	9,44593992	94,4593992
8	0,292631543	2,92631543	9,73857146	97,3857146
9	0,23268272	2,3268272	9,97125418	99,7125418
10	0,028745816	0,287458158	10	100

Os autovalores escritos em vermelho apresentam o quanto as variáveis são explicadas em cada eixo, o gráfico na figura 14 expressa a projeção das variáveis para as componentes metais pesados e resistividade aparente. Os autovalores orientam os eixos dos gráficos, no caso da Linha AB, a resistividade aparente está orientada pelo eixo das ordenadas, enquanto os metais pesados estão orientados pelo eixo das abscissas. Os valores para todas as combinações de cada variável estão descritos na tabela 2 (fator de carga), no plano de fator (1 x 2) a resistividade aparente tem por X e Y os seguintes fatores de cargas: -0,06696 e 0,842416 respectivamente.

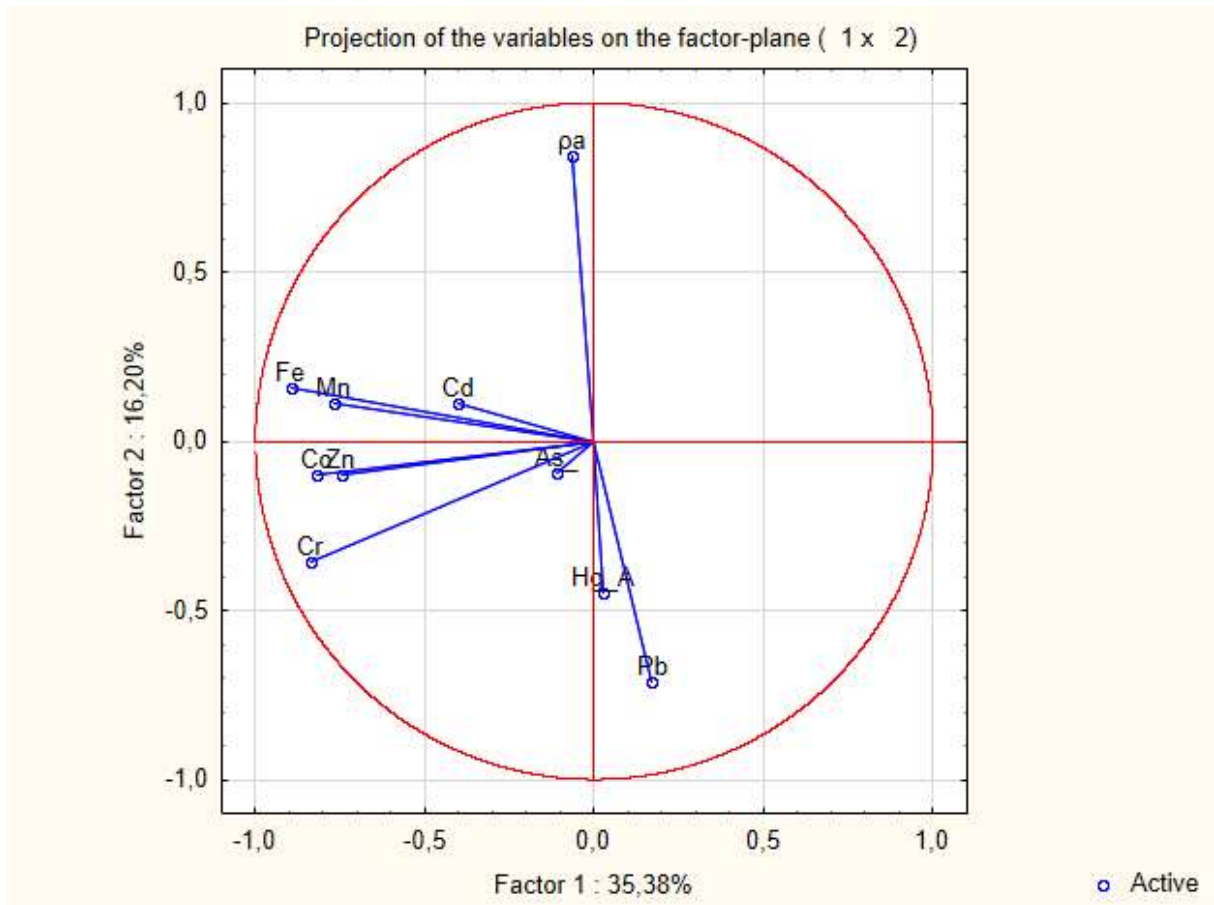


Figura 14 – Análise das Componentes Principais: Linha AB, Projeção das Variáveis no plano fator (1 x 2):51,58%

Na Linha AB, a pa e o Pb obtiveram as cargas fortes inversas na mesma componente. Destaque para dois pontos discrepantes, onde ocorreu alta concentração de Pb e baixa pa em solos da classe Hi2. Nessa linha os menores valores de pa encontram-se nas seguintes classes de solos: Hi2; LVAd2; LVAd10, com exceção do P02 (LVAd10). O ponto nessa classe de solo apresentou pa alta em relação a P13 (LVAd10). Ressalta-se que P13 está a 20 metros da BR – 020 e apresenta alta concentração dos metais pesados em relação a P02, esse último localizado à cerca de 300 metros da BR – 020. O P17 (LVAd2) apresentou baixa pa com elevada concentração de Fe e Cr, no ponto esses metais assumem concentração superior a todos os pontos observados, vale ressaltar que “P13” e “P17” situam-se em área que já ocorreu mecanização.

5.4.2.2 Linha CD

Para a Linha CD determinou-se o primeiro eixo como a componente dos metais, e o segundo eixo como a componente da pa. A resistividade aparente aparece forte no segundo e terceiro eixo, com um leve aumento de carga no terceiro eixo, conforme tabela 8.

Tabela 8 - Fator de carga (factor loadings), de cada variável, baseada nas correlações

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
pa	-0,298710896	-0,634161374	-0,666690836	-0,219593765
Hg A	-0,786696412	-0,35008243	0,096862639	0,392282586
As	-0,792840927	0,381819916	-0,29621947	0,280763412
Cd	-0,790283624	0,310879225	-0,165915303	0,29659147
Co	-0,80757246	-0,440673255	0,087410946	0,132279433
Cr	-0,963048571	-0,008408696	0,110904126	-0,157088509
Fe	-0,924212398	0,21738071	-0,121339014	-0,068257491
Mn	-0,794633183	-0,153845679	0,513654992	-0,17157458
Pb	-0,698538709	0,449891496	-0,143693662	-0,396985809
Zn	-0,941812524	-0,119465215	0,123035065	-0,189859965

Embora a pa tenha carga forte no terceiro eixo optou-se pelo segundo eixo pelo fato de explicar 12,49% do total da variância. Com exceção do Pb, todos os metais possuem carga forte no primeiro eixo, ainda assim, a carga do Pb encontra-se relativamente forte neste eixo, o Cr é a variável com a carga mais forte na componente dos metais para a Linha CD.

Calculados os autovalores para a Linha CD, constatou-se que os quatro primeiros eixos possuem uma representatividade de 91,92% das cargas das variáveis estudadas. os autovalores estão detalhados na tabela 9.

Tabela 9 – Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas

Vetor	Autovalor	% Total (variância)	Acumulado (Autovalor)	Acumulado (%)
1	6,40147782	64,0147782	6,40147782	64,0147782
2	1,24901148	12,4901148	7,65048931	76,5048931
3	0,903423405	9,03423405	8,55391271	85,5391271
4	0,638817751	6,38817751	9,19273046	91,9273046
5	0,309659017	3,09659017	9,50238948	95,0238948
6	0,259686318	2,59686318	9,7620758	97,620758
7	0,158013213	1,58013213	9,92008901	99,2008901
8	0,073982133	0,739821327	9,99407114	99,9407114
9	0,004252004	0,042520042	9,99832315	99,9832315
10	0,001676853	0,016768529	10	100

Percebe-se que os dois primeiros eixos dos autovalores calculados para a Linha CD, têm representatividade de 76,5% do total da variância das variáveis nesta linha. Segue na figura 15 o gráfico contendo a projeção das variáveis para as componentes metais pesados e resistividade aparente no plano fator (1 x 2).

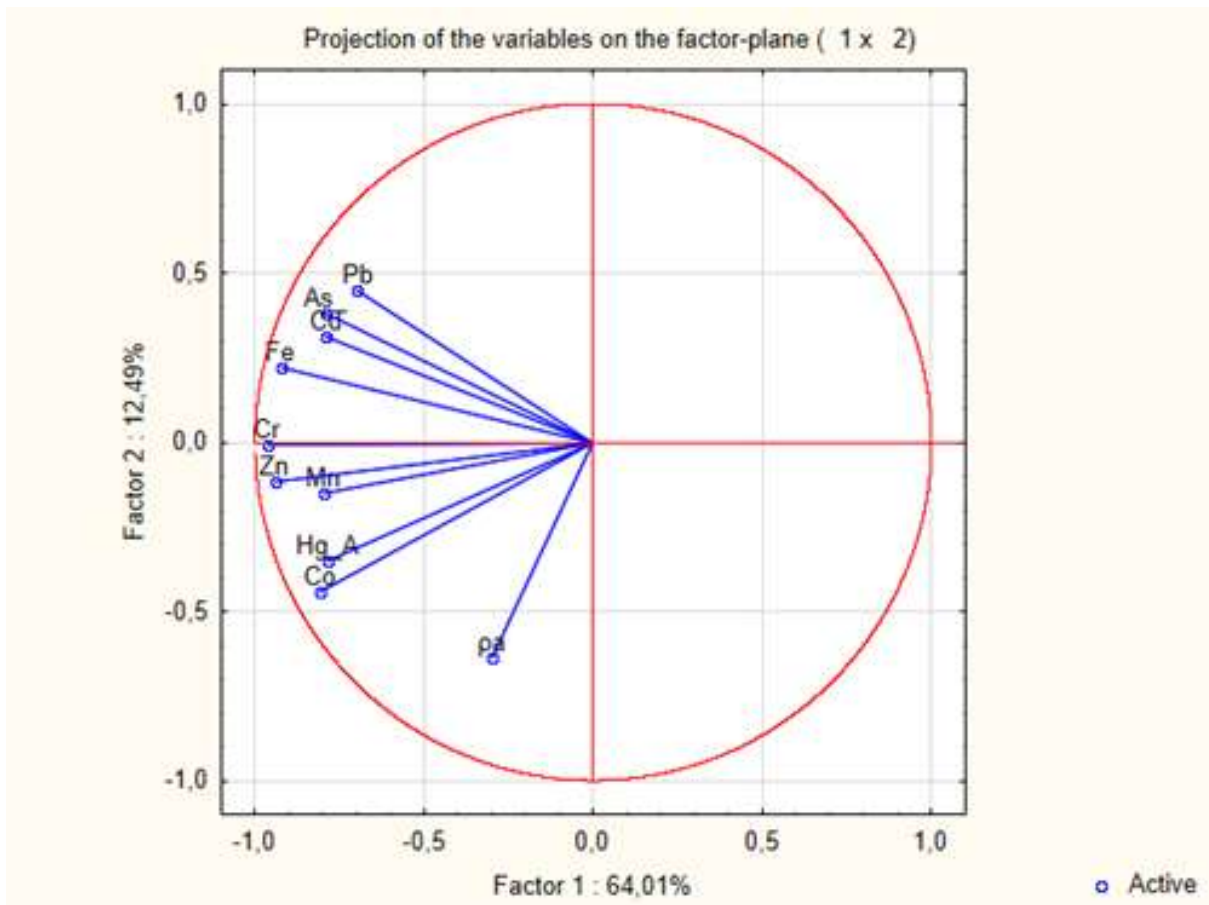


Figura 15 - Análise das Componentes Principais: Linha CD, Projeção das Variáveis no plano fator (1 x 2): 76,5%

Para a projeção das variáveis no plano fator (1 x 2), todas as variáveis são negativas na componente dos metais, no eixo da resistividade aparente, Pb, As, Cd e Fe são positivos. A Linha CD exibe comportamento diferenciado, onde a componente dos metais, e a componente da pa apresentam carga forte negativa em seus respectivos eixos, o que não ocorre nas demais linhas investigadas. Os casos de contribuição para tal comportamento encontram-se nos pontos: P41 (CXd13); P01 (LVd3); P39 (CXd13); e P35 (LVd6). O P41 apresenta alta concentração de metais pesados, P01 demonstra concentração de metais pesados bem abaixo dos demais, no P39 consta baixa concentração de metais pesados, principalmente em relação a P41 (solo de mesma classe) e P35 destaca-se como ponto de maior pa dentre todos observados. Ressalta-se que a linha é margeada por rodovia não pavimentada e possui perfil topográfico diferenciado o que pode contribuir para o não acúmulo de metais pesados em P01, dado o seu posicionamento às margens do Córrego Vereda Grande.

5.4.2.3 Linha EF

Para a Linha EF determinou-se o primeiro eixo como a componente dos metais, e o terceiro eixo como a componente da pa. Vale ressaltar que nessa linha predomina a classe de solos LVd3, que demonstra resistividade aparente variando entre 10.000 Ohm.m a 25.000 Ohm.m, fato que pode ter contribuído para a variável ser forte no terceiro eixo. A tabela 10 expressa o fator de carga de cada variável para a Linha EF.

Tabela 10 - Fator de carga (factor loadings), de cada variável (Linha EF), baseada nas correlações

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
ña	0,220915292	-0,555589209	0,74638346	-0,116942836
Hg A	-0,104468903	-0,709982681	-0,303471258	0,536228983
As	-0,79561481	0,347000163	0,12710742	0,180390676
Cd	0,108890481	0,470401048	-0,693835237	-0,399149901
Co	-0,820422908	-0,047041236	0,22245776	-0,38907232
Cr	-0,652625346	0,681731475	0,298405039	0,067358884
Fe	-0,792224113	0,407633748	0,171065083	0,222644291
Mn	-0,808124556	-0,495318374	-0,230393992	-0,089052861
Pb	-0,549125102	-0,709391948	-0,019815839	-0,391360443
Zn	-0,833537076	-0,25536748	-0,354872482	0,140236554

Na componente dos metais da tabela 10, Zn e Co obtiveram fator de carga mais forte que os demais metais, no segundo eixo obtiveram cargas mais fortes Hg e Pb, no terceiro eixo a resistividade aparente apresenta fator de carga mais forte.

Os autovalores calculados para a Linha EF, apresentam os quatro primeiros eixos com representatividade de 90,55% das cargas das variáveis estudadas. Os autovalores estão detalhados na tabela 11.

Tabela 11 – Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas da Linha EF

Vetor	Autovalor	% Total (variância)	Acumulado (Autovalor)	Acumulado (%)
1	4,08059775	40,8059775	4,08059775	40,8059775
2	2,60136677	26,0136677	6,68196452	66,8196452
3	1,49395153	14,9395153	8,17591604	81,7591604
4	0,879323258	8,79323258	9,0552393	90,552393
5	0,510095103	5,10095103	9,5653344	95,653344
6	0,342366727	3,42366727	9,90770113	99,0770113
7	0,070336324	0,703363243	9,97803746	99,7803746
8	0,021962544	0,219625442	10	100

Na componente dos metais, todos os metais apresentam cargas negativas, exceto o Cd. No segundo eixo o Hg e o Pb apresentam carga forte negativa, já a resistividade aparente apresenta carga forte positiva no terceiro eixo, no qual denominamos de componente da resistividade aparente. A figura 16 expressa a representação gráfica.

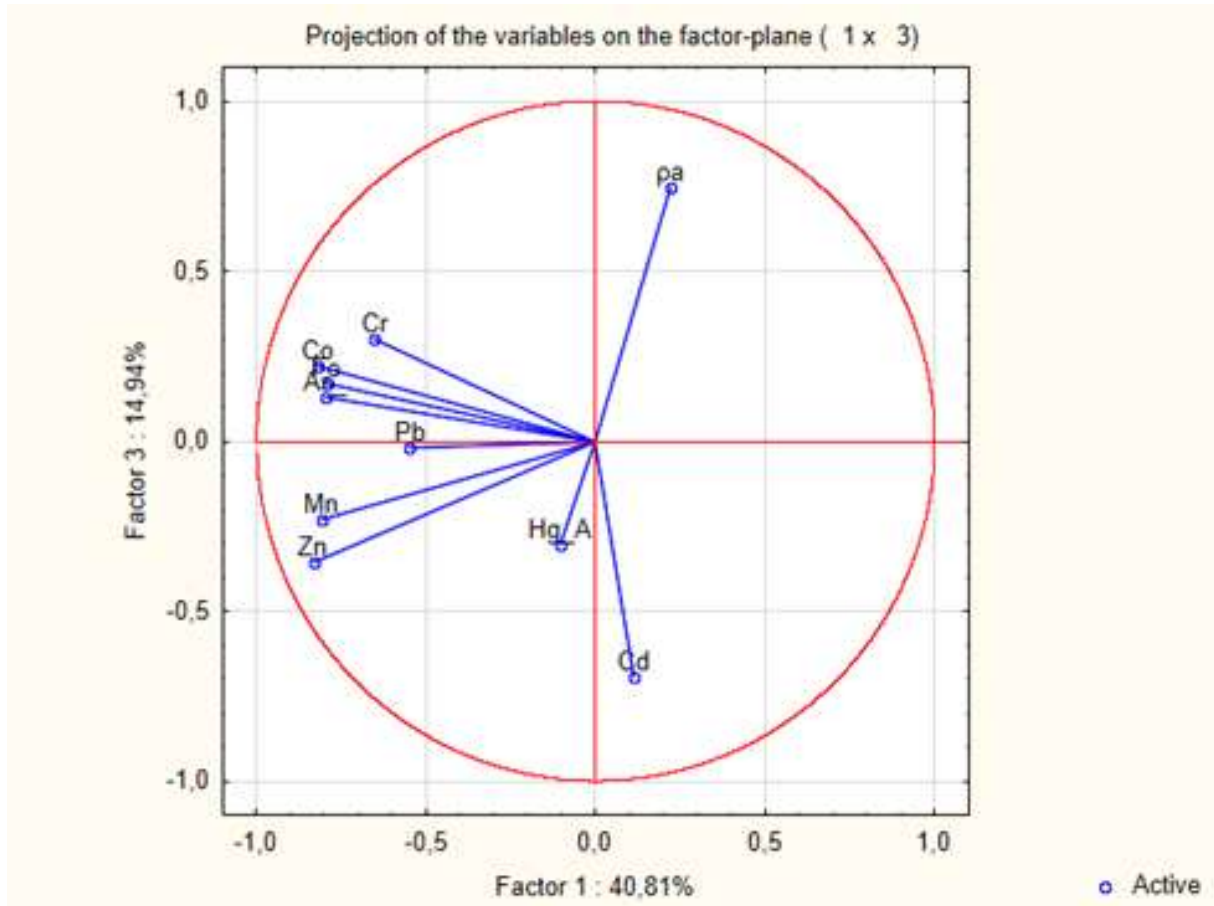


Figura 16 - Análise das Componentes Principais: Linha EF, Projeção das Variáveis no plano fator (1 x 3): 55,75%

Na projeção das variáveis no plano fator (1 x 3) os metais estão contrários ao eixo da resistividade aparente. No plano, os metais apresentam ângulo acima ou igual a 90° em relação a resistividade aparente, o Cd aparece num ângulo completamente inverso ao da resistividade aparente. Destaque para P26 e P49, cujas ρ_a são exatamente iguais, porém a concentração de metais pesados para esses pontos apresenta diferenças consideráveis, onde P26 apresenta menor concentração e P49 maior concentração. O fato que os diferem pode estar relacionado a topografia em que se encontram, dado que P49 (cota 1000m) encontra-se em uma depressão ao centro do perfil e P26 (cota 950m) em uma região mais declivosa no início do perfil topográfico. Ocorre uma forte associação entre, As, Cd e Fe, a localização de P49 pode ser um elemento que contribui para o acúmulo de metais pesados.

5.4.2.4 Linha GH

Para a Linha GH determinou-se o primeiro eixo como a componente dos metais, e o segundo eixo como a componente da resistividade aparente. A tabela 12 expressa o fator de carga de cada variável para a Linha GH.

Tabela 12 - Fator de carga (factor loadings), de cada variável (Linha GH), baseada nas correlações

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
pa	0,204223365	0,941808313	-0,218060895	0,10366817
Hg A	-0,658340595	0,382804966	0,507226439	0,384813115
As	-0,613877506	0,524445615	-0,489183859	0,171256998
Cd	-0,606596914	0,278247633	0,470073883	-0,510854286
Co	-0,961700409	-0,184010767	-0,008349553	0,055192803
Cr	-0,888547219	-0,198447889	0,215616261	0,31281655
Fe	-0,800556842	-0,446757638	-0,384979591	-0,036774464
Mn	-0,879363259	-0,156201673	-0,430194484	0,021850756
Pb	-0,746381425	0,327117645	-0,252160778	-0,397455134
Zn	-0,905178291	0,059375709	0,362183502	-0,05696956

Na componente dos metais o Co e o Zn, são os metais que apresentam maior fator de carga, todos os metais apresentam carga forte negativa no primeiro eixo. A resistividade aparente tem carga forte positiva no segundo eixo, no qual denominamos de componente da resistividade aparente.

Os autovalores calculados para a Linha GH, apresentam os quatro primeiros eixos com representatividade de 95,71% das cargas das variáveis estudadas. Os autovalores estão detalhados na tabela 13.

Tabela 13 – Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas da Linha GH

Vetor	Autovalor	% Total (variância)	Acumulado (Autovalor)	Acumulado (%)
1	5,72491274	57,2491274	5,72491274	57,2491274
2	1,79377179	17,9377179	7,51868453	75,1868453
3	1,33969813	13,3969813	8,85838266	88,5838266
4	0,713075655	7,13075655	9,57145832	95,7145832
5	0,30528424	3,0528424	9,87674256	98,7674256
6	0,068121798	0,681217976	9,94486435	99,4486435
7	0,035514712	0,355147124	9,98037907	99,8037907
8	0,01587695	0,158769496	9,99625602	99,9625602
9	0,003743984	0,037439839	10	100

Os dois primeiros eixos dos autovalores calculados para a Linha GH, têm representatividade de 75,19% do total da variância das variáveis nesta linha. A figura 17 mostra a representação gráfica da projeção das variáveis no plano fator (1 x 2).

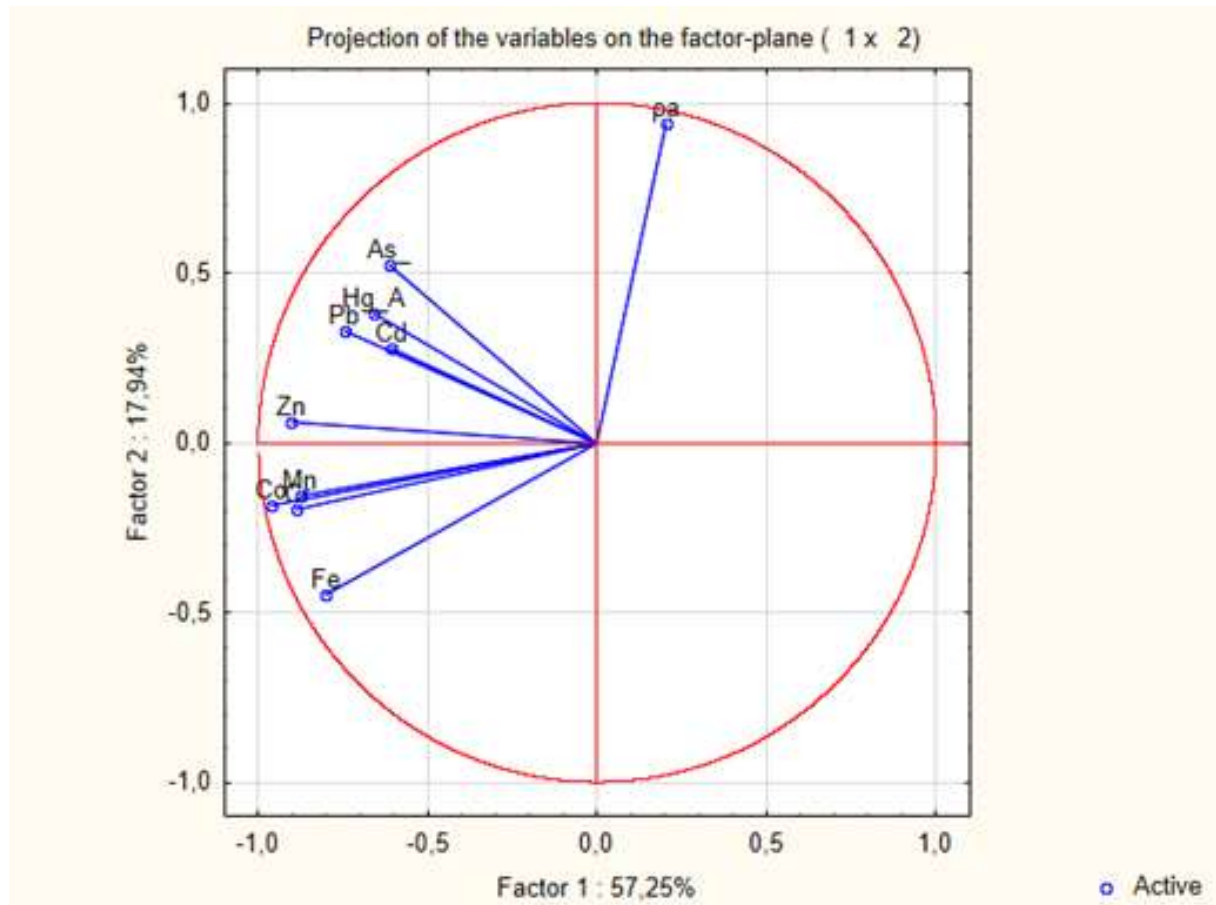


Figura 17 - Análise das Componentes Principais: Linha GH, Projeção das Variáveis no plano fator (1 x 2): 75,19%

Na projeção das variáveis no plano fator (1 x 2), os metais estão contrários ao eixo da resistividade aparente. No plano, os metais apresentam relação inversa com a resistividade aparente. Destacam-se P30 e P31, solos da classe LVAd4 que apresentam concentração de metais pesados com pequenas diferenças, porém com ρ_a apresentando diferença significativa. P30 demonstra valor mais baixo que P31, o que pode ter relação com a posição topográfica dos pontos, dado que P30 encontra-se localizado a jusante do campo de murundus, enquanto P31 situa-se em cota mais alta em relação a P30. Na linha ocorre maior concentração de metais pesados em P24 (LVd3), o ponto situa-se em região de depressão e apresenta o segundo menor valor de ρ_a . No gráfico é possível observar a ocorrência de associação entre Co, Cr e Mn.

De modo geral pode-se considerar que as linhas apresentaram um comportamento padrão, sendo que a Linha CD expressa uma diferença que pode ter relação com a topografia e

a rodovia não pavimentada que a circunda. Ressalta-se o comportamento da variável Arsênio, o metal apresentou carga forte negativa nas linhas CD e EF e carga negativa relativamente forte na Linha GH, o que ocorreu nos primeiros eixos dessas linhas, enquanto na Linha AB o metal obteve carga forte positiva no quarto eixo. Nessa linha o metal As apresenta maiores concentrações em pontos isolados, como: P17, P12, P13, P16, P15, P19 e P22. Destaca-se o comportamento do metal em relação ao perfil topográfico, acompanhando a topografia de forma descendente, de P22 para P12 aumenta a concentração do metal na depressão situada em P12. O mesmo ocorre em P17 em relação ao declínio topográfico da Linha EF que culmina nesse ponto da Linha AB, ressalta-se a ocorrência de alta concentração desse metal na Linha EF.

5.4.2.5 Área Total

Para a Área Total determinou-se o primeiro eixo como a componente dos metais, e o segundo eixo como a componente da resistividade aparente. A tabela 14 expressa o fator de carga de cada variável para a Área Total, que corresponde ao conjunto das linhas que foram analisadas separadamente.

Tabela 14 - Fator de carga (factor loadings), de cada variável (área total), baseada nas correlações

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
pa	0,050308275	0,707015823	-0,000869999	-0,061954689
Hg A	-0,300986396	-0,567128434	0,067528099	-0,385271274
As	-0,500015259	0,161661379	0,403025546	0,58623069
Cd	-0,415109417	0,101185468	-0,690993223	0,351259447
Co	-0,821960122	0,082863013	0,130934811	0,233183183
Cr	-0,805695927	-0,128795899	-0,427681022	-0,072136081
Fe	-0,817483502	0,205175855	-0,246104386	-0,240501394
Mn	-0,777556312	0,039901581	0,200282527	-0,378347688
Pb	-0,086516163	-0,76305901	-0,03605696	0,352746926
Zn	-0,811271542	-0,016820426	0,432016351	0,000783827

Na componente dos metais, o Fe e o Co são os metais que apresentam maior fator de carga, todos os metais apresentam carga forte negativa no primeiro eixo. A resistividade aparente tem carga forte positiva no segundo eixo.

Os autovalores calculados para Área Total, apresentam os quatro primeiros eixos com representatividade de 74,24% das cargas das variáveis estudadas. Os autovalores estão detalhados na tabela 15.

Tabela 15 – Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas da área total

Vetor	Autovalor	% Total (variância)	Acumulado (Autovalor)	Acumulado (%)
1	3,77873885	37,7873885	3,77873885	37,7873885
2	1,50756485	15,0756485	5,28630369	52,8630369
3	1,1331357	11,331357	6,41943939	64,1943939
4	1,00431887	10,0431887	7,42375826	74,2375826
5	0,881687785	8,81687785	8,30544605	83,0544605
6	0,671644318	6,71644318	8,97709036	89,7709036
7	0,41051089	4,1051089	9,38760125	93,8760125
8	0,330474565	3,30474565	9,71807582	97,1807582
9	0,18810533	1,8810533	9,90618115	99,0618115
10	0,09381885	0,9381885	10	100

Os dois primeiros eixos dos autovalores calculados para Área Total, têm representatividade de 52,87% do total da variância das variáveis. A figura 18 mostra a representação gráfica da projeção das variáveis no plano fator (1 x 2).

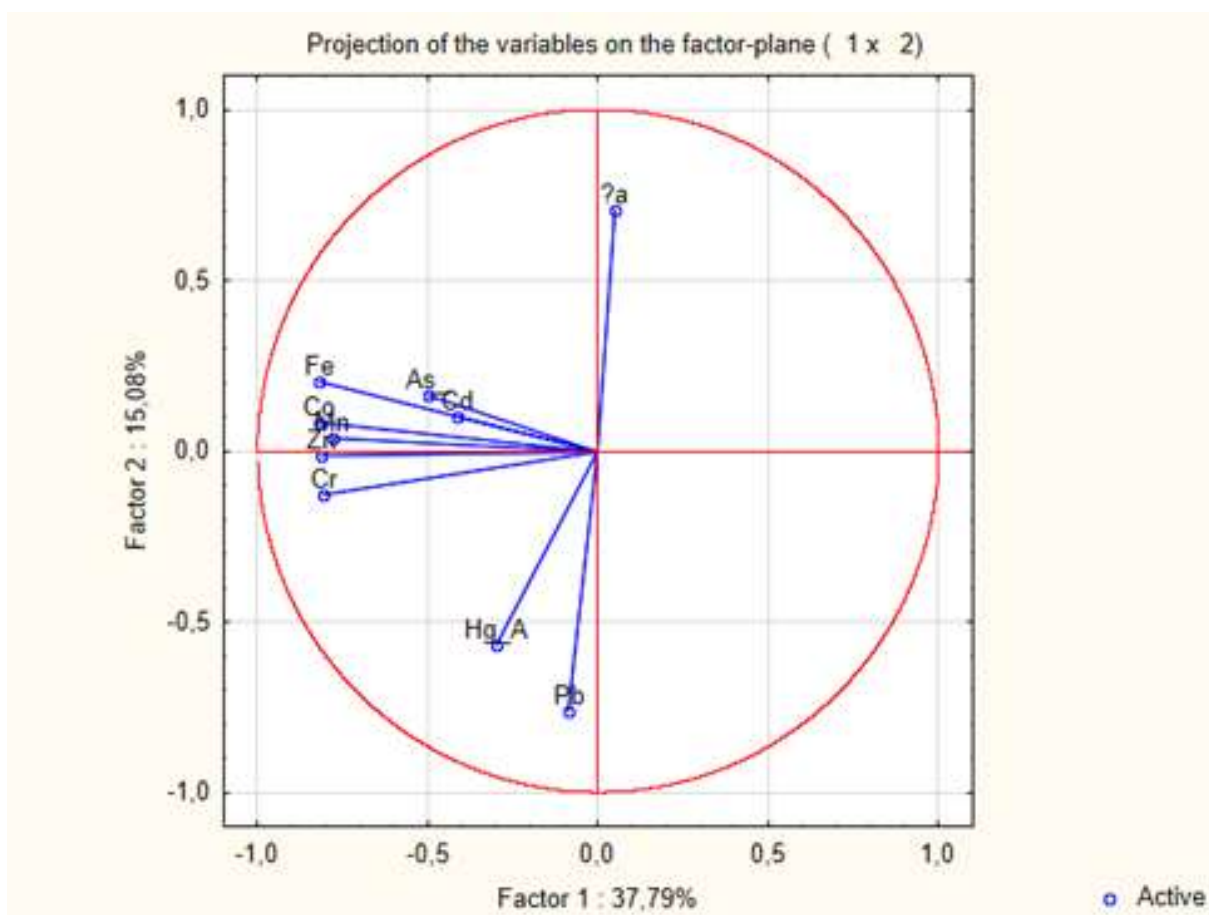


Figura 18 - Análise das Componentes Principais: área total, Projeção das Variáveis no plano fator (1 x 2): 52,87%

Na projeção das variáveis no plano fator (1 x 2), os metais estão contrários ao eixo da resistividade aparente. No plano, os metais apresentam relação inversa com a resistividade aparente, o Pb obteve carga forte negativa na componente da resistividade aparente, por essa razão apresenta um ângulo de 180° em relação a resistividade aparente. No gráfico é possível observar a ocorrência de associação entre Co, Cr, Fe e Zn.

Observando-se a distribuição dos casos no plano-fator (1 x 2), gráfico da Figura 19, pode-se perceber um adensamento do primeiro para o segundo quadrante, formou-se um grupo contendo pontos de todas as linhas investigadas. No grupo sinalizado por um triângulo apresenta um comportamento padrão entre os Metais pesados Co, Cr, Fe e Zn, do primeiro para o segundo quadrante ocorre um aumento na concentração desses metais. O retângulo no terceiro quadrante sinaliza pontos da Linha AB que apresentam resistividade aparente variando entre 4.543 Ohm.m a 24.743 Ohm.m, esses pontos apresentam concentração alta de Fe, Cr e Zn. A elipse em vermelho destaca um conjunto de pontos da Linha AB em que a resistividade aparente aumenta do quarto para o primeiro quadrante.

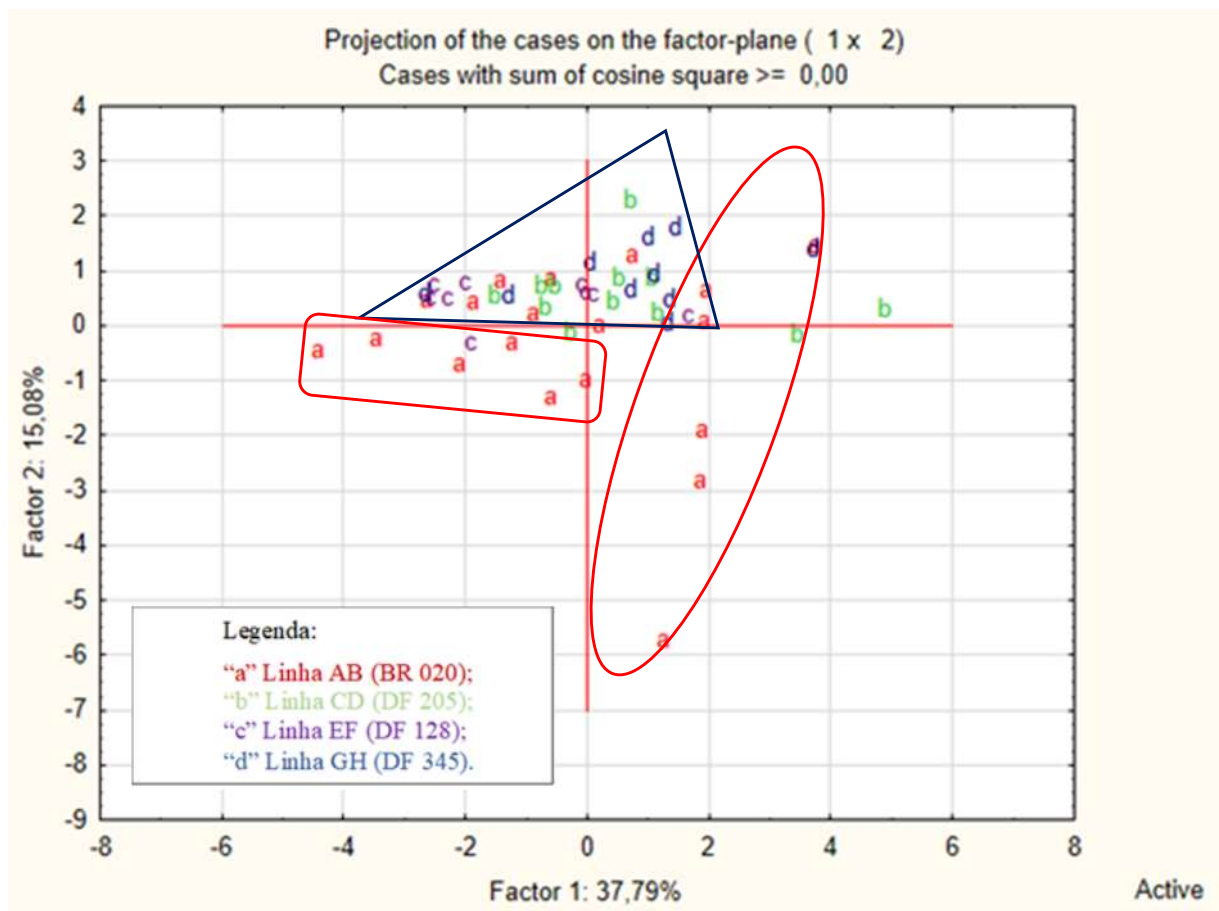


Figura 19 - Análise das Componentes Principais: Área Total, Projeção dos Casos no plano fator (1 x 2): 52,87%

6 CONCLUSÃO

Para a interpolação dos dados geofísicos, constatou-se que as porções que apresentam os menores valores de resistividade elétrica aparente estão relacionadas às porções úmidas da Estação Ecológica, tais como: Vereda Grande (centro), campo de murundus (leste), ponto de captação de água da Caesb (sudoeste) e o encontro das drenagens da porção nordeste com o Córrego Vereda Grande, o que corrobora (NASCIMENTO et al., 2017). Embora a umidade dos solos não seja o único elemento que contribui para a ocorrência de solos pouco resistivos, a correlação espacial dos dados mostrou-se satisfatória. Os dados interpolados contribuíram para identificar a existência de uma separação das zonas mais resistivas (porção oeste) com as menos resistivas (porção leste).

Do ponto de vista da relação entre as medidas de resistividade elétrica aparente e as classes de solos estudadas, identificou-se para a classe dos latossolos vermelhos uma variação entre 10.000 e 25.000 Ohm.m. Contudo, constatou-se que alguns solos de mesma classe apresentaram valores de resistividade aparente diferente dos padrões observados, influências como saturação, textura, matéria orgânica, áreas de transição entre classes e solo compactado podem ter contribuído para a ocorrência dessas variações, o que corrobora (FUKUE et al., 1999) e (NASCIMENTO, PIRES & MORAES, 2004). Foram identificados pontos nas cabeceiras de drenagens com os maiores valores de resistividade elétrica aparente. Os solos dessas regiões possuem médio teor de argila ou são arenosos, o maior teor de areia contribui para ocorrência de solos resistivos.

Identificou-se por meio das análises das componentes principais um comportamento padrão entre os dados geofísicos e de química de solos, corrobora (BERNARDI et al. 2001). Em todas as análises a resistividade elétrica aparente mostrou-se inversamente proporcional aos metais pesados. Do início da Linha GH em sentido ao campo de murundus, especificamente do “P23” ao P”29” foi constatado que nessa direção os solos foram ficando menos resistivos e com alta concentração dos metais pesados. Analisou-se o padrão de distribuição dos metais pesados em relação a topografia do terreno, considerando os pontos em que ocorre depressões, bem como, os de relevo acentuado. Constatou-se alta concentração de As, Co, Cr, Fe, Pb e Zn em pontos localizados em depressões e baixa concentração desses metais em locais declivosos. Foi identificado nas linhas CD e GH, cujo relevo é representado por cotas maiores nas extremidades e cotas menores ao centro, diminuição na concentração de alguns metais pesados à medida em que esses se aproximam das drenagens. Em todas as linhas analisadas constatou-se uma forte relação do metal pesado Arsênio com a topografia das linhas

observadas, na Linha AB, por exemplo, identificou-se alta concentração desse metal em depressões e baixa concentração nos pontos em declividade.

Considerando a importância dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos solos e a pesquisa realizada, faz-se necessário a continuação de estudos relacionados ao comportamento desses metais pesados nos solos da ESECAE. Em relação a Geofísica sugere-se a aquisição de dados em diferentes profundidades do perfil do solo e considerando a forte influência que a umidade do solo exerce na resistividade aparente, sugere-se o monitoramento ao longo de um ano hidrológico.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, M. M. 2008. Modelagem do Fenômeno VIII.2. In: FONSECA FO (Org.). Águas Emendadas. Brasília, Brazil: Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. p. 289–293.
- BERNARDI J. V. E; LACERDA L. D; DÓREA J. G; LANDIM P. M. B; GOMES J. P. O; ALMEIDA R; MANZATTO A. G; BASTOS W. R. Aplicação da Análise das Componentes Principais na Orientação dos Parâmetros Físico-Químicos no Alto Rio Madeira e Afluentes, Amazônia Ocidental [Periódico] // Geochimica Brasiliensis. - 2009. - Vol. 23. - pp. 79-90.
- BERNARDI, J. V. E; FOWLER, H. G; LANDIM, P. M. B. Um Estudo De Impacto Ambiental Utilizando Análises Estatísticas Espacial E Multivariada. **Holos Environment**, vol. 1, no. 2, p. 162, 2001. <https://doi.org/10.14295/holos.v1i2.1625>.
- BRAGA, A. C. O. **Geofísica aplicada: métodos geolétricos em hidrogeologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2016.
- BRASIL. Decreto nº 11.137, de 16 de junho de 1988 – A Reserva Biológica de Águas
- BRASIL. Decreto nº 771, de 12 de agosto de 1968 – Cria a Reserva Biológica de Águas Emendadas.
- CAMPOS, J. E. G. Hidrogeologia Do Distrito Federal: Bases Para a Gestão Dos Recursos Hídricos Subterrâneos. **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 34, no. 1, p. 41–48, 2004.
- CAVALCANTI, M. M.; Borges, R. W. STOLLBERG, R. ROCHA, P. M. CUNHA, S. L. SEIMETZ. X. E. NOGUEIRA, V. P. & OLIVEIRA E SOUSA, R. F. R. F. Levantamento geofísico (eletrorresistividade) nos limites do aterro controlado do Jokey Clube, Vila estrutural, Brasília–DF. **Geosciences= Geociências**, v. 33, n. 2, p. 298-313, 2014.
- CODEPLAN. 1984. Atlas do Distrito Federal 2020; Capítulo 2, seção 2.6 p. 31. Emendadas passa a denominar-se Estação Ecológica de Águas Emendadas.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. manual de métodos de análise de solos. 3.ed. revista e ampliada. Brasília - 2017. Capítulo 2, p.29
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. revista e ampliada. Brasília – Embrapa, 2018. p. 335
- FEITOSA, F. A. C. FILHO, M. J. FEITOSA, C.E. DEMETRIO, A. G. J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM, 2008.
- FUKUE M., MINATO T., HORIBE H., TAYA N. 1999. The micro-structures of clay given by resistivity measurements. *Engineering Geology*, 54:43- 53.
- HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; DE OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de exploração**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

LACERDA, M. P. C. 2008. Solos V.7. In: FONSECA FO (Org.). *Águas Emendadas*. Brasília, Brazil: Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. p. 140–147.

LACERDA, M. P. C.; BARBOSA, I. O. Relações pedomorfogeológicas e distribuição de pedofomas na estação ecológica de águas emendadas, Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 709-722, 2012.

LIMA, W. F. E. J. SILVA, M. E. 2008. Hidrografia V.3. In: FONSECA FO (Org.). *Águas Emendadas*. Brasília, Brazil: Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. p. 110–116.

MACIEL, B. L. O. Contaminação dos solos marginais das rodovias no entorno da Estação Ecológica de Águas Emendadas. Trabalho de Conclusão de Curso. Gestão Ambiental. Universidade de Brasília. Faculdade UnB Planaltina. 2017

MAIA J.M.F & BAPTISTA G.M.M. 2008. Clima. In: FONSECA FO (Org.). Brasília, Brazil: Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente *Águas Emendadas*. p. 101–109.

MORAES L. L. e CAMPOS J. E. G. V.4 – Geologia. In: FONSECA FO (Org.). Brasília, Brazil: Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente *Águas Emendadas*. p. 117–121.

MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. O.; FRIES, M. Degradação de resíduos e alterações na resistividade elétrica, pH e Eh. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 2, p. 283-293, 2009.

NASCIMENTO, C. T. C.; BERNARDI, J. V. E.; ALMEIDA, A.; MAGALHÃES, J. C.; LANDIM, P. M. B. Geoelectrical model for aquifer in the bonita lake region, Planaltina, Distrito federal, Brazil. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 35, no. 1, p. 57–70, 2017. <https://doi.org/10.22564/rbgf.v35i1.767>.

NASCIMENTO, C. T. C.; PIRES, A. C. B & MORAES, R. A. V. Reconhecimento de solos por meio de resistividade elétrica e radiação gama. **Brazilian Journal of Geology**, v. 34, n. 3, p. 383-392, 2008.

NASCIMENTO, O, R. 2008. Geomorfologia V.6. In: FONSECA FO (Org.). *Águas Emendadas*. Brasília, Brazil: Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. p. 132–139.

NOVAES PINTO, M. S. Superfícies de Aplainamento do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geografia*. Vol.49. p. 9-26. 1987.

PIMENTEL, M. M. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: A geochronological and isotopic approach. **Brazilian Journal of Geology**, vol. 46, p. 67–82, 2016. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620150004>.

REATTO, A. MARTINS, R. F. M. SILVA, V. A. CARVALHO JR, A. O Mapa pedológico digital-SIG atualizado do Distrito Federal escala 1: 100.000 e uma síntese do texto explicativo. Planaltina - DF: Embrapa:2004.

RIBEIRO, B. L. C. M; PERDIGÃO, J. S. V; ROSA, J. W. C; ROSA, João. W. C; SANTOS, V. M. 2008. Uma Explicação Biogeográfica VIII.3. In: FONSECA FO (Org.). Águas Emendadas. Brasília, Brazil: Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. p. 294–310.

RODRIGUES, Y. O. S; DÓREA J. G; LANDIM P. M. B; BERNARDI J. V. E; MONTEIRO, C. L; SOUZA, R. P. J; PINTO, M. C. L; FERNANDES, O. I; SOUZA, V. V. J; SOUZA, R. A; SOUSA, J. P; MACIEL, B. L. O; DELVICO, S. M. F; SOUZA, R. J. Mercury spatiality and mobilization in roadside soils adjacent to a savannah ecological reserve. Environmental Research, v. 205, p. 112513, Planaltina – DF, 2022. <https://www.elsevier.com/locate/envres>

SARAIVA, F. A. Avaliação de métodos geofísicos no comportamento espacial de plumas de necrochorume. Universidade de São Paulo. Tese de doutorado. São Paulo, 2010.

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE. Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal. **Documento Técnico**, vol. p. 53, 2009.

SILVA, A. C. da. Estudo da contaminação do lençol freático através da integração de técnicas geofísicas e geoquímicas em Ji-Paraná-RO. Universidade Estadual Paulista. Tese de doutorado. Rio Claro – SP, 2008.

SOUSA, J. P. Dispersão do mercúrio em solos da Estação Ecológica de Águas Emendadas. Trabalho de Conclusão de Curso. Gestão Ambiental. Universidade de Brasília. Faculdade UnB Planaltina. 2016.

VALLADARES, G.S.; SANTOS, G.C.G.; ABREU, C.A.; CAMARGO, O.A. & FERRERO, J.P. Zinco total e disponível em amostras de perfis de solos do estado de São Paulo. Bragantia, 68:1105-1114, 2009.

VARELLA, C. A. A. Mapeamento da variabilidade espacial. **Departamento de Engenharia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT190_principios_em_agricultura_de_precisao/Aulas/MAPEAMENTO%20DA%20VARIABILIDADE%20ESPACIAL.pdf. Acessado em, v. 5, 2014.**