

## **Avaliação da erodibilidade de áreas degradadas na faixa de domínio da DF-250 Brasil: Estudo de caso**

DOI: 10.20396/labore.v17i00.8673218

**Gisandra Faria de Paula**

<https://orcid.org/0000-0001-7003-5629>

Departamento de Estradas de Rodagem / Brasília [DF] Brasil

**Narayana Saniele Massocco**

<https://orcid.org/0000-0002-5859-4003>

Universidade de Brasília / Brasília [DF] Brasil

**Nathália Freitas Boaventura**

<https://orcid.org/0000-0003-0273-8888>

Universidade de Brasília / Brasília [DF] Brasil

### RESUMO

As erosões no Distrito Federal apresentam um processo evolutivo muitas vezes diferenciado daqueles observados em outras regiões do Brasil, resultado de condicionantes geológicos-geotécnicos e ambientais característicos desta região. Trata o estudo em questão de extenso processo erosivo localizado em segmento da rodovia distrital DF-250, causado pela urbanização desordenada e agravado pela falta de sistemas de drenagem pluviais planejados e de sua correta manutenção. Logo, faz-se necessário o entendimento das condicionantes desta erosão. A partir do traçado da rodovia, o estudo concentrou-se em levantar as implementações definidas pelo DER/DF, que consistiram em ensaios laboratoriais como granulometria, ensaios de campo como infiltração e “Standard Penetration Test” (SPT) e análise do meio físico por meio de mapas geológico, geomorfológico, perda de solo, entre outros. Estas análises permitiram refletir sobre os possíveis fatores desencadeadores dos processos erosivos, como drenagens incorretas, fluxo ampliado pela ação humana e os períodos chuvosos que provocam a variação da umidade ao longo do perfil de solo. Considerando estes aspectos como as causas principais da degradação, foram analisadas as medidas de recuperação das áreas erodidas, tais como a reconformação do relevo para que se formem áreas que funcionem como bacias de retenção, retendo as águas pluviais e reduzindo o escoamento, adicionados com vegetação e retaludamento de locais com intenso processo de voçorocamento. Por fim, foi possível propor sugestões de estudos que podem ser úteis para um entendimento abrangente dos processos erosivos no entorno da DF-250.

### PALAVRAS-CHAVE

Erosões. Processos erosivos. Voçorocas. DF-250. Solos tropicais.

### **Assessment of the erodibility of degraded areas in the domain range of the DF-250 Brazil: a case study**

### ABSTRACT

Erosions in the Federal District have an evolutionary process different from those observed in other regions of Brazil, the result of geological-geotechnical and environmental conditions that are characteristic of this region. The study deals with an extensive erosion process located in a segment of the DF-250 district highway, caused by disordered urbanization and aggravated by the lack of planned rain systems and their correct maintenance. Therefore, it is necessary to understand the conditioning of this erosion. Based on the route of the highway, the study focused on surveying the implementations defined by the DER/DF, which consisted of laboratory tests such as granulometry, infiltration, Standard Penetration Test (SPT) and analysis of the physical environment using geological, geomorphological maps, soil loss, among others. These analyzes allowed us to reflect on the possible triggers of the erosive processes, such as incorrect drainage, accelerated by human action and the rainy periods that cause the variation of humidity along the geological profile of the terrain. Considering these aspects as the main causes of degradation, measures for the recovery of eroded areas were analyzed, such as the reconfirmation of the relief so that both areas function as retention basins, retaining rainwater and reducing runoff, added with vegetation, and retraining of places with intense gullet. Finally, it was possible to propose study suggestions that may be useful for a comprehensive understanding of the erosive processes surrounding the DF-250.

### KEYWORDS

Erosions. Erosive processes. Gullies. DF-250. Tropical soils.

## 1. Introdução

A crescente e acelerada ocupação das áreas urbanas no país, muitas vezes de forma desordenada e com poucos cuidados em relação ao meio físico, tem causado consideráveis processos erosivos no solo, que ocorre indistintamente sobre os diversos domínios geomorfológicos presentes na região afetada por estes processos.

As erosões geram várias consequências socioeconômicas e ambientais como a perda de áreas habitáveis ou agriculturáveis, interrupção de vias, assoreamento do leito dos cursos d'água, exposição do patrimônio público e privado e riscos às comunidades próximas. A remoção da vegetação nativa, impermeabilização do solo e destino de águas pluviais sem os cuidados necessários podem modificar o regime de escoamento atuante com a consequente surgência de processos erosivos (Farias et al., 2016; Massocco, 2019).

O solo resulta da associação dos elementos do meio físico, tais como clima, rocha e relevo. A disposição desses elementos apresenta uma fragilidade inerente passível de ser potencializada por formas de uso e cobertura do solo, resultando em impactos como a erosão acelerada. Assim, a multidisciplinaridade científica é fundamental para o entendimento tanto do solo como dos processos erosivos que o acometem (Jesus, 2013).

Nesse contexto, um processo erosivo localizado ao longo da faixa de domínio de um trecho da rodovia distrital DF-250, no Distrito Federal, evolui há mais de 20 anos, principalmente devido ao avanço da ocupação humana de forma desordenada em sua área de influência e ao sistema de drenagem pouco condizente com as necessidades do local.

A partir dos aspectos ligados à erosão em questão, o presente estudo objetiva apresentar o entendimento do processo erosivo, a avaliação da suscetibilidade do terreno por meio dos elementos do meio físico e de ensaios laboratoriais e, por fim, a proposta de recuperação desta erosão, a partir de dados obtidos junto ao Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal (DER/DF), órgão responsável pela DF-250 e faixa de domínio da rodovia.

## 2. Localização da erosão na DF-250: Área de estudo

O trecho em estudo ao longo da faixa de domínio da DF-250 localiza-se nas Regiões Administrativas (RA) do Paranoá e Itapoã, entre as rodovias DF-001 e DF-456, conforme Figura 1. Na margem norte da rodovia (a partir da DF-001), há áreas de parcelamentos urbanos como a RA Itapoã e vários condomínios residenciais que vêm sendo ocupados sistematicamente e de forma desordenada desde o final da década de 90. E é nesta margem que se localiza o processo erosivo em questão, por cerca de 5,25 km.

Cabe informar que o enfoque maior deste estudo será dado do km 4,91 ao km 5,25 da DF-250, onde há uma grande extensão (cerca de 350,00 m) de solo exposto que se caracteriza pela presença de uma voçoroca.



**Figura 1.** Localização do processo erosivo ao longo da faixa de domínio (margem norte) da DF-250.  
Fonte: Modificado de DER-DF, 2018.

## 3. Material e Métodos

Sobre os aspectos ligados à erosão e considerando o que ocorre neste trecho da rodovia DF-250, a hipótese principal dos relatórios do DER/DF (2018) é a drenagem incorreta conjuntamente com a ação antrópica e a falta de manutenção do sistema de drenagem existente, os quais facilitaram o processo erosivo.

Considerando que a erosão é ocasionada pela falta de resistência, ou seja, o solo pode não ter a resistência necessária para segurar a força trativa da água, é importante estudar a pedologia do solo, analisar o perfil de intemperismo e o meio físico que o compõe, tais como microclima, rocha e relevo adicionados aos fatores antrópicos. A partir desta percepção, a metodologia do trabalho fundamentou-se em três etapas de análise: a primeira etapa consiste na coleta de dados por meio de mapas, imagens fotográficas, análise visual do local, dos estudos de gênese e processos evolutivos e dos ensaios laboratoriais constantes dos relatórios do DER/DF (2018); na segunda etapa, fez-se o diagnóstico da suscetibilidade erosiva e forma de ocupação do solo urbano e, por fim, tem-se a terceira etapa, na qual são apresentadas as soluções mitigadoras para minimizar os processos erosivos no local, conforme Quadro 1.

**Quadro 1.** Metodologia da pesquisa.

Metodologia da pesquisa.	
<b>1ª Etapa:</b> Coleta e análise dos dados em relação à gênese, caracterização geotécnica e mecânica	<b>Mapas:</b> localização, geológico, pedológico, geomorfológico, uso e ocupação do solo e perda de solo
	<b>Imagens fotográficas</b>
	<b>Gênese e processo evolutivo:</b> clima, geologia, geomorfologia, solo, cobertura vegetal, uso do solo
	<b>Ensaio:</b> granulometria, classificação do solo, infiltração, SPT
<b>2ª Etapa:</b> análise da suscetibilidade erosiva e forma de ocupação do solo urbano	
<b>3ª Etapa:</b> soluções de reparação e diminuição da erosão	

## 4. Resultados e análises

### 4.1. PRIMEIRA ETAPA: COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

O processo de coleta e análise visual ocorreu por meio de imagens constantes dos relatórios do DER/DF (2018) e Google Earth. Os estudos cartográficos do DER/DF (2018) juntamente com o auxílio dos estudos de Mortari (1994), Lima (2003), Camapum de Carvalho et al. (2006) e Jesus (2013) possibilitaram o entendimento sobre os aspectos ligados ao clima, geologia, geomorfologia, solo, cobertura vegetal e uso do solo em relação à erosão em análise.

#### 4.1.1. GÊNESE E PROCESSO EVOLUTIVO: CLIMA, GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, SOLO, COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO

A capacidade da ocorrência de processos erosivos depende de características como clima, geologia, geomorfologia, pedologia e da cobertura vegetal. Uma vez iniciado o processo erosivo, sua evolução e intensidade serão condicionadas pelos elementos do meio físico e pelo próprio solo.

Lima (2003) destaca a substancial importância do conhecimento dos aspectos físicos do terreno para o entendimento do mecanismo de evolução das erosões, bem como o fator humano como condicionante principal na deflagração dos processos erosivos em suas várias formas de atuação. A seguir, são apresentados sucintamente aspectos gerais de cada condicionante do meio físico.

- Clima (temperatura, precipitação e umidade relativa): no Distrito Federal, o clima é definido por períodos marcantes de tempo seco (abril a setembro com intensa insolação e baixíssima pluviosidade) e úmido (outubro a março com insolação e evaporação reduzida e alta pluviosidade) (Barros e Zavattini, 2004).

Para os processos erosivos hídricos, a chuva destaca-se como o principal elemento, sendo a erosividade o termo usado para a capacidade erosiva da chuva, incluindo-se o salpicamento, sendo maior quanto mais

intensa e longa duração for a ocorrência, podendo intensificar se for precedida por períodos chuvosos responsáveis pela saturação do solos que provocam em locais de escoamento concentrado formatos erosivos que se expandem com muita velocidade (Infanti Junior & Fornasari Filho, 1998, citado por Jesus, 2013).

Outro fator importante definido por Camapum de Carvalho et al. (2006) é a amplitude térmica causada pelo clima, ou seja, diferentes temperaturas ao longo do dia são ações propulsoras para a aceleração do intemperismo e mudanças nas características do solo. Estes processos aumentam os ciclos de expansão e contração volumétrica do solo e da catalisação das reações químicas que facilitam a evolução pedogenética, caracterizando solos com diferentes comportamentos ao longo da profundidade.

Segundo Mortari (1994), as análises de estabilidade e os perfis de umidade de voçorocas do Distrito Federal mostram a influência do período chuvoso, com o avanço de uma frente de saturação, gerando queda nos parâmetros de resistência dos solos e, muitas vezes, instabilizando os taludes das voçorocas.

- Geologia: as principais características litológicas que podem condicionar a erosão são o grau de fraturamento das rochas, a intensidade do intemperismo e a natureza do material alterado, especialmente no que se refere à textura (Jesus, 2013).

Mortari (1994) destaca que as erosões no Distrito Federal apresentam um quadro evolutivo particularizado dos processos ocorrentes em outras regiões do país, resultantes das condicionantes geológico-geotécnicas que refletem uma geologia estrutural regional complexa. No estudo, o autor definiu a evolução destas erosões segundo um Modelo “Encaixado” sob a influência das condições geológicas existentes, principalmente da orientação, mergulho das camadas dos saprólitos e metassedimentos do domínio geológico local e fluxo d’água orientado. Por este modelo, no início do processo erosivo, as voçorocas apresentam geralmente a forma em “V” e evoluem em profundidade, largura e extensão em função dos condicionantes hídricos e características geotécnicas do solo.

Na Figura 2, tem-se a geologia da área em estudo composta por dois grupos litológicos distintos, o Canastra e o Paranoá, formados por rochas metassedimentares de baixo grau, ambos de idade Neoproterozóica. O contato entre ambos ocorre por meio de falha de empurrão. O grupo Canastra tipifica-se por um conjunto amplo de filitos variados com uma restrita quantidade de quartzo, calcifilitos, mármore finos e filitos carbonosos. O grupo Paranoá é formado por unidades de metarrimitos com predominância de corpos arenosos e quartzos finos a médios.

- Geomorfologia: as formas do relevo influenciam os processos erosivos principalmente no que tange à declividade, ao comprimento e à forma de vertente, ou seja, é um fator que modula a ação erosiva. Quanto maior o declive, maior a velocidade do escoamento (Jesus, 2013). No presente estudo, tem-se a ocorrência de chapadas com topografias planas, conforme a Figura 3.

As declividades não ultrapassam a 5% nos primeiros 3,5 km da DF-250 que caracteriza como uma região de baixo risco geotécnico, correspondendo a uma área com condições geotécnicas favoráveis a duplicação. Porém no trecho restante (1,8 km), a declividade aumenta significativamente, e o risco geotécnico aumenta, tanto que o processo erosivo neste trecho é intenso.

- Solo: a composição químico-mineralógica, presença de matéria orgânica, textura, estrutura e umidade do solo são características que intervêm diretamente na estabilidade estrutural do solo e na sua drenabilidade (permeabilidade), responsáveis diretos quanto aos fatores resistentes à erosão pela maior ou menor resistência dos solos frente aos processos erosivos (Jesus, 2013).

Para o Distrito Federal, há a predominância, em sua maior parte, de um solo poroso com espessura que chega a ser superior a 10 m. Por meio dos diversos processos ocorridos desde a sua gênese, o solo apresenta características peculiares e comportamento geotécnico bastante distinto, sendo um solo muito susceptível à erosão, contribuindo para o aparecimento de ravinas e voçorocas em assentamentos urbanos, rodovias e áreas de empréstimo (Lima, 2003).

Mortari (1994) destaca que as áreas afetadas por processos erosivos no Distrito Federal são constituídas por perfis de solo residuais ou transportados, fisicamente bastante homogêneos, porosos, estruturados e colapsíveis e isentos de trincas e fissuras. Dessa forma, as tensões de sucção têm um efeito importante na resistência dos solos não saturados e as frentes de saturação geram nesses solos diminuição significativa da resistência, resultando em processos de instabilização de taludes das ravinas e voçorocas. Uma vez instalada a ravina ou voçoroca, os maciços próximos aos taludes, em função das condições de drenagem, se submetem a processos de intemperização acelerada propiciando novas rupturas de taludes (Lima, 2003).

Na área em estudo, o tipo de solo predominante compreende o latossolo (vermelho e vermelho-amarelo), conforme Figura 4. A laterização é o processo pedogenético que controla basicamente toda a formação destes solos e pode capacitar a formação de agregações. A erosão pode ocorrer por colapso químico, variação de umidade e consequente colapso progressivo colaborado pela condição de metaestabilidade.

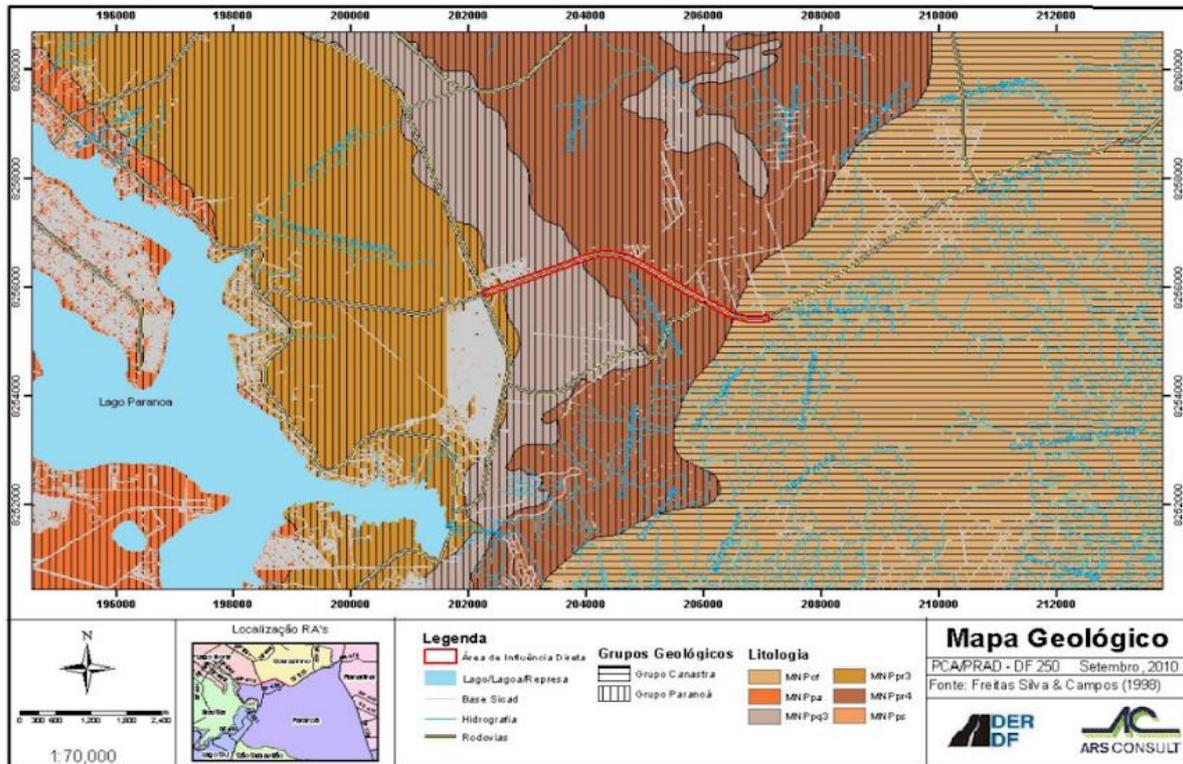


Figura 2. Mapa geológico da localidade DF-250. Fonte: DER-DF, 2018.

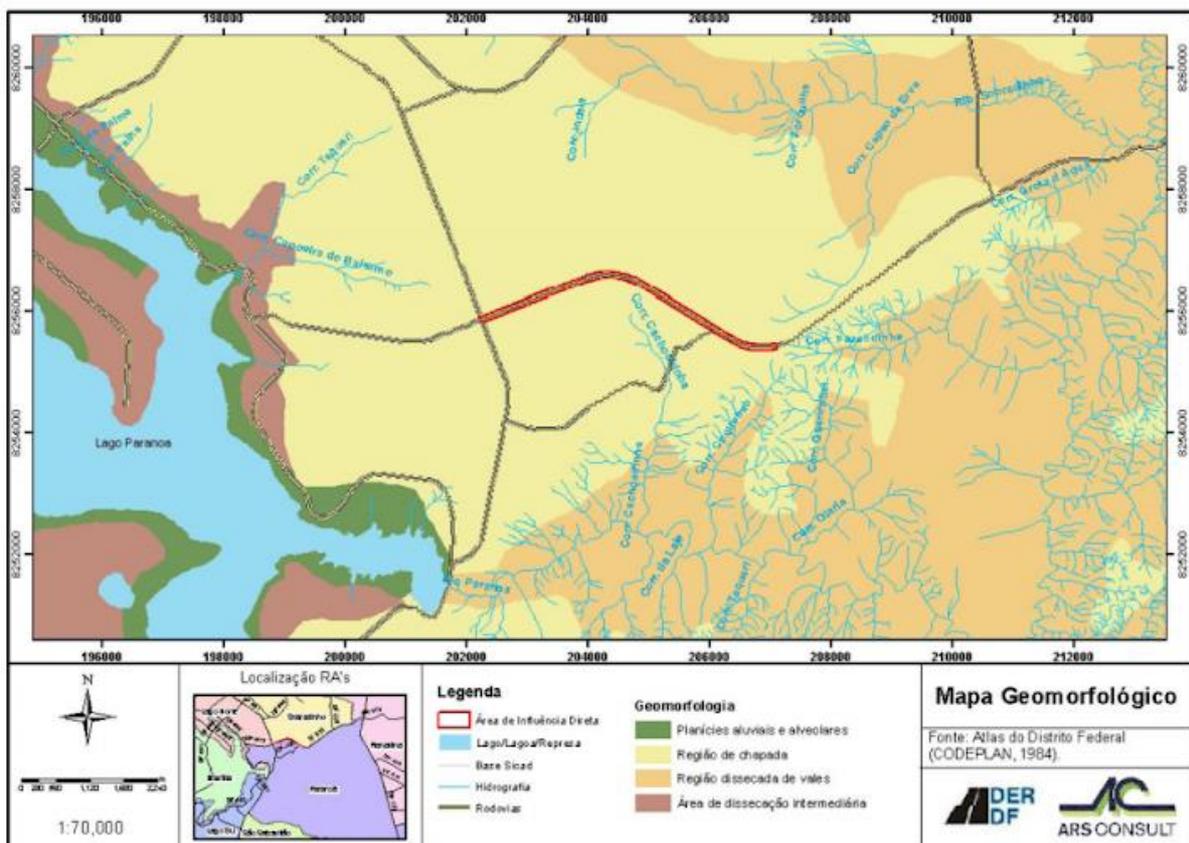


Figura 3. Mapa geomorfológico da localidade DF-250. Fonte: DER-DF, 2018.

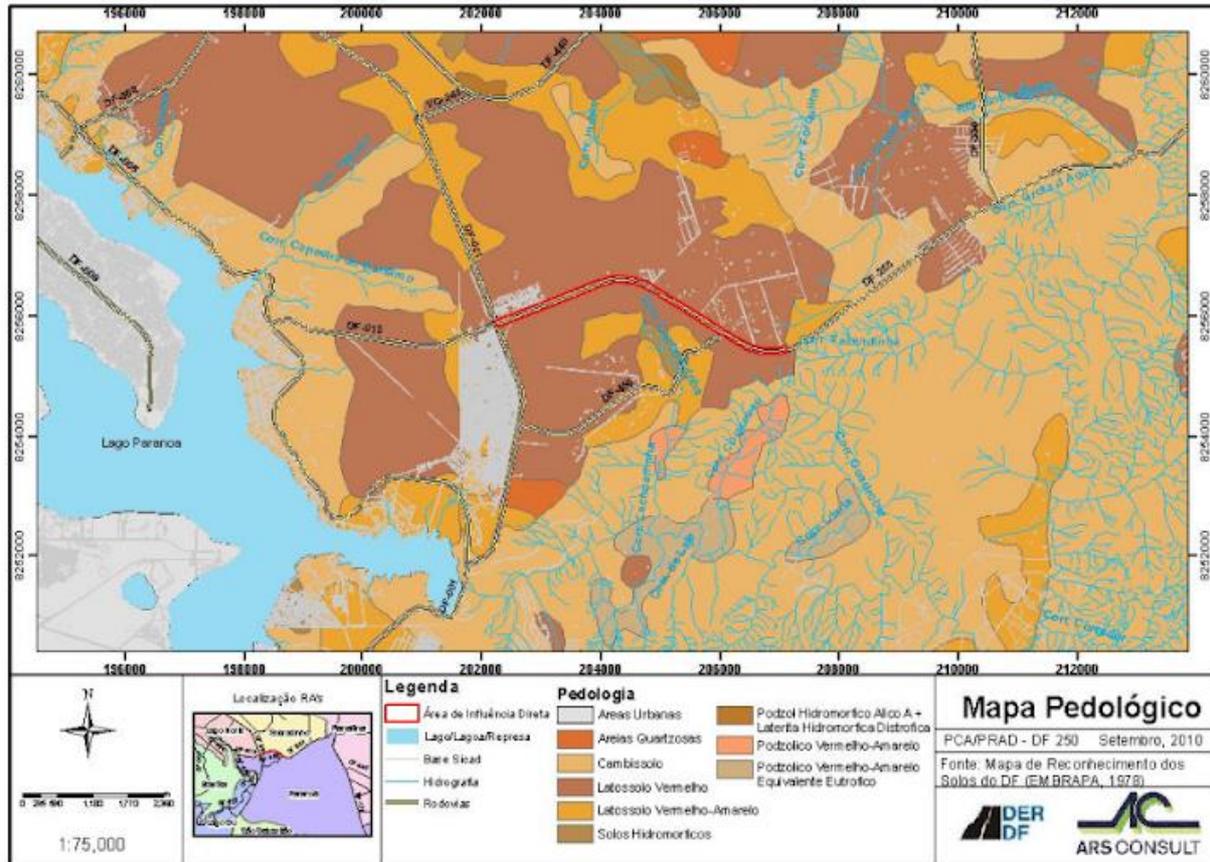


Figura 4. Mapa pedológico da localidade DF-250. Fonte: DER-DF, 2018.

Os latossolos, segundo Lima (2003), originam-se de um alto grau de intemperismo e lixiviação, formando uma estrutura bastante porosa, metaestável, com alto índice de vazios e conseqüentemente baixo peso específico. Incorporam a maior área do Distrito Federal, com cerca de 54,47 % (sendo 38,63 % de Latossolo Vermelho (LE) e 15,84 % de Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)), com mantos de muitos metros de espessura, profundos e bem drenados, formados a partir de rochas metamórficas, como ardósias, metarritmitos e quartzitos. Esses solos são famosos por serem pouco suscetíveis à erosão. Entretanto, a ação do escoamento concentrado e/ou declive acentuado das encostas facilitam o surgimento de ravinas e voçorocas. Apresentam um horizonte B que consiste de uma mistura de óxidos hidratados de ferro e alumínio, com variável proporção de argilominerais 1:1 e minerais silicatados altamente resistentes, principalmente o quartzo.

- Cobertura Vegetal: importante para a proteção do solo frente ao impacto direto da chuva.

No Distrito Federal, prevalece a vegetação de cerrado constituído desde gramíneas a árvores predominantemente de pequeno a médio porte, recobrando aproximadamente 90% do território. Este é o tipo de vegetação presente nos latossolos da região, onde o relevo é geralmente plano ou suave ondulado, de grande continuidade (Lima, 2003).

No presente estudo, observa-se, in loco, que a erosão está situada em áreas urbanizadas, onde já houve uma grande perda da vegetação natural, porém com a paisagem do cerrado no entorno próximo. Ao observar o mapa da Figura 5, verifica-se que a região urbanizada fica ao lado das ocorrências das erosões aceleradas, estas devido a impermeabilização do solo que formam caminhos preferenciais de água para o entorno da rodovia agravando o processo de erosão.

- Uso do Solo: é de amplo e recorrente conhecimento que a ocupação humana é um fator decisivo na intensificação dos processos erosivos.

Camapum de Carvalho et al. (2006) destacam que, em obras de engenharia como barragens, linhas de transmissão e rodovias, o lançamento inapropriado de águas e o abandono de áreas de empréstimo

exploradas sem os cuidados técnicos adequados também podem estar relacionados à gênese de processos erosivos. Na Figura 5, tem-se o mapeamento de uso e ocupação do solo da área em estudo.

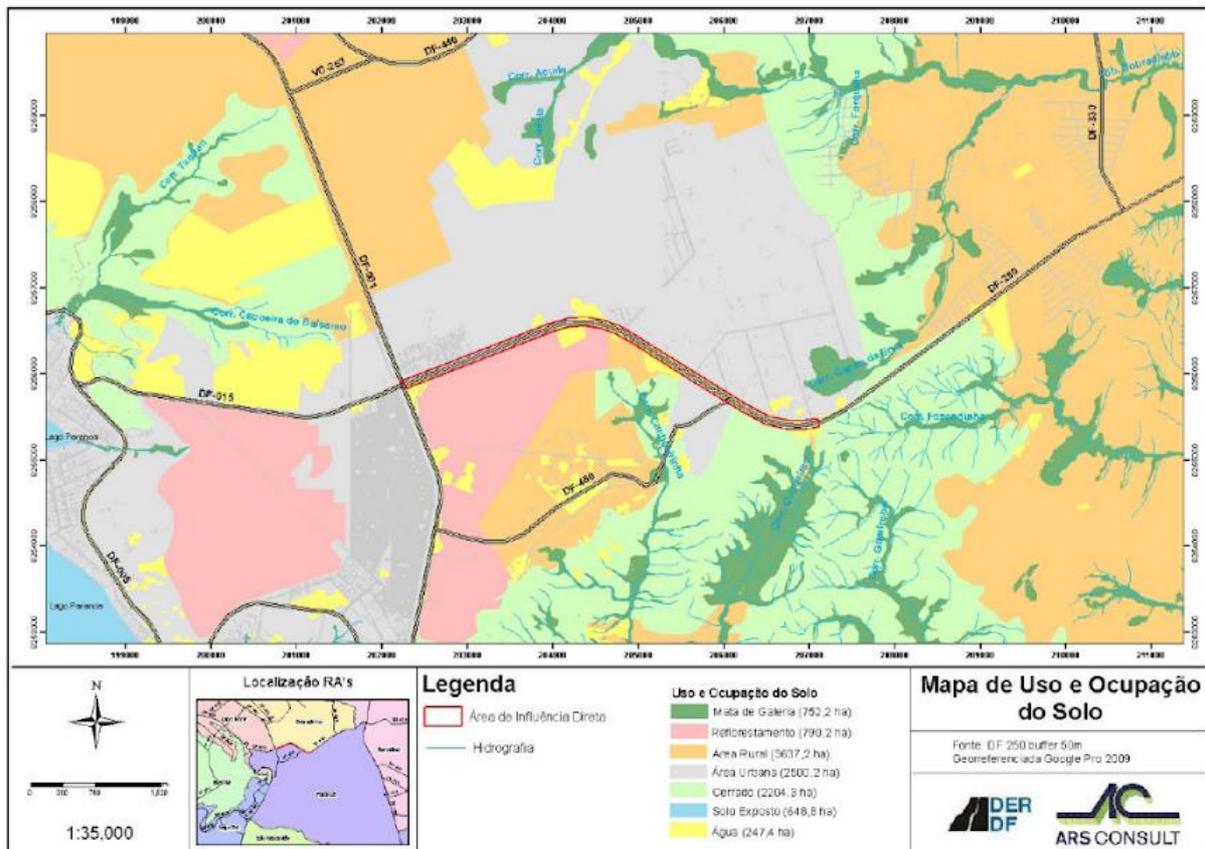


Figura 5. Mapa de uso e ocupação do solo da localidade DF-250. Fonte: DER-DF, 2018.

#### 4.1.2. ENSAIOS

De acordo com os relatórios do DER/DF (2018), foram coletadas 10 (dez) amostras deformadas dentro da voçoroca e uma amostra indeformada e determinados os ensaios de granulometria com uso de defloculante, classificação textural do solo, infiltração e SPT, este com coleta de dados em 11 (onze) pontos. Por meio da granulometria, o solo foi classificado como franco-argilo-siltoso, segundo o triângulo textural de solos desenvolvido por Lemos & Santos (1984), conforme Figura 6.

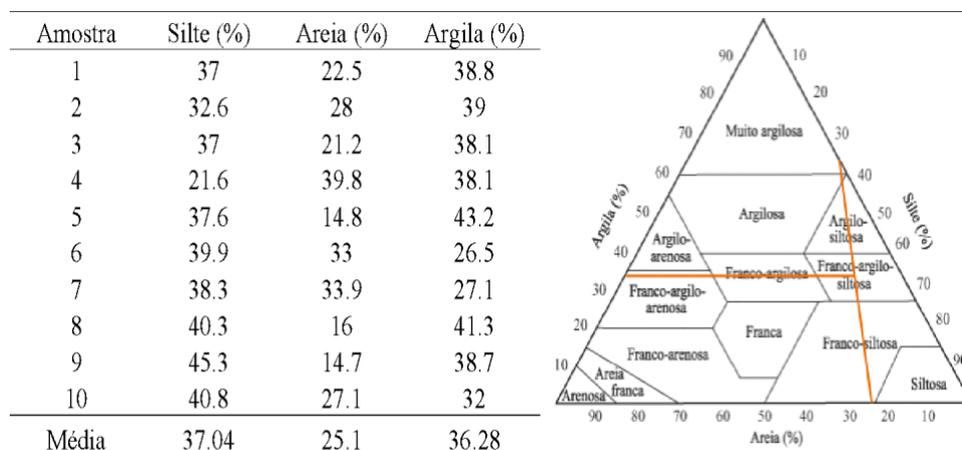


Figura 6. Granulometria e classificação do solo. Fonte: DER-DF, 2018.

Os ensaios de infiltração foram realizados no local em cinco pontos ao longo do processo erosivo, que coincidem com pontos onde foram realizadas sondagens SPT, a saber: dois (2), quatro (4), seis (6), oito (8) e dez (10). Em cada ponto, foram executados dois ensaios de infiltração nas profundidades de um e dois

metros, respectivamente e foi verificada a média entre estes resultados, que evidenciaram valores de permeabilidade obtidos na ordem de grandezas de  $10^{-4}$  cm/s, de acordo com os Quadros 2 e 3.

**Quadro 2.** Ensaio de infiltração realizado pelo DER-DF.

Permeabilidade de 0,0 a 2,0 m de profundidade										
Furo de infiltração	CA 01 (1,0 m)	CA 01 (2,0 m)	CA 02 (1,0 m)	CA 02 (2,0 m)	CA 03 (1,0 m)	CA 03 (2,0 m)	CA 04 (1,0 m)	CA 04 (2,0 m)	CA 05 (1,0 m)	CA 05 (2,0 m)
Diâmetro do furo (cm)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Altura da coluna d'água no furo – L (cm)	100,0	200,0	100,0	200,0	100,0	200,0	100,0	200,0	100,0	200,0
$\Delta h$ (cm)	35,0	75,0	32,0	68,0	27,0	58,0	32,0	71,0	44,0	77,0
Tempo total – $\Delta t$ (s)	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0
Permeabilidade – k (cm/s) x $10^{-4}$	8,47	6,42	7,75	5,82	6,54	4,96	7,75	6,08	1,07	6,58
Taxa de infiltração (min/m)	29	13	31	15	37	17	31	14	23	13
Taxa de aplicação ( $m^3/m^2$ x dia)	0,24	0,36	0,23	0,33	0,21	0,30	0,23	0,34	0,26	0,35

**Quadro 3.** Valores médios para a área estudada.

Valores médios para a área estudada	
Permeabilidade – k (cm/s) x $10^{-4}$	6,14
Taxa de infiltração (min/m)	22
Taxa de aplicação ( $m^3 / m^2$ x dia)	0,28

Os valores de permeabilidade definem as características de um solo bastante permeável, característico do solo “poroso” do Distrito Federal, os quais são propícios à erosão interna, pois o aumento da taxa de infiltração ou do gradiente hidráulico corresponde a possível formação de canais de fluxo no interior do maciço do solo podendo ainda dar margem a ocorrência do processo de eluviação ou esqueletização do maciço. Dessa forma, as erosões podem ocorrer por dois processos: arraste (induzido pela ação de percolação) e alargamento de macroporos (comuns em materiais granulares e coesivos não saturados) (Lima, 2003).

Os dados de resistência do solo foram definidos a partir do ensaio “Standard Penetration Test” (SPT) por meio de sondagens a percussão simples, sem circulação de água, em 11 (onze) localidades próximas ao km 5,00. Cabe destacar que este ensaio não permite uma boa avaliação dos solos porosos, pois quebra a estrutura do mesmo durante a execução. Na Figura 7, está representado o perfil do solo obtido a partir da análise tátil visual.

Destaca-se que conforme aumenta a numeração do SPT há proximidade com a erosão, e assim os ensaios 9, 10 e 11 estão dentro da voçoroca. Dessa forma, verifica que por ser um solo da base da voçoroca de característica de silte pouco arenoso e também ao acompanhar o desenvolvimento do perfil, observa-se que o solo da base da voçoroca se encontra em substrato saprolítico, por constituírem minerais primários o processo de erosão pode ser mais intenso principalmente se exposto a água com tendência a deslizamentos.

#### 4.2. SEGUNDA ETAPA: ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA E FORMA E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO

De acordo com os dados do DER/DF (2018), para determinar os locais com maior suscetibilidade à erosão, utilizou-se cálculos de volume de perda média anual de solo e de sedimentos por erosão laminar nas áreas a serem recuperadas. Para tanto, foi utilizada a Equação (1) empírica denominada Equação Universal de Perda de Solos (USLE) por Whischmeier (1978).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

onde: A é a perda de solo média anual (t/ha.ano); R é o fator de erosividade da chuva (MJ.mm).(ha.h.ano) $^{-1}$ ; K é o fator de erodibilidade do solo (t hah/ha MJ mm); L é o fator de comprimento da rampa (adimensional); S é o fator declividade; C é o fator uso/manejo (adimensional); P é o fator de práticas conservacionistas (adimensional).

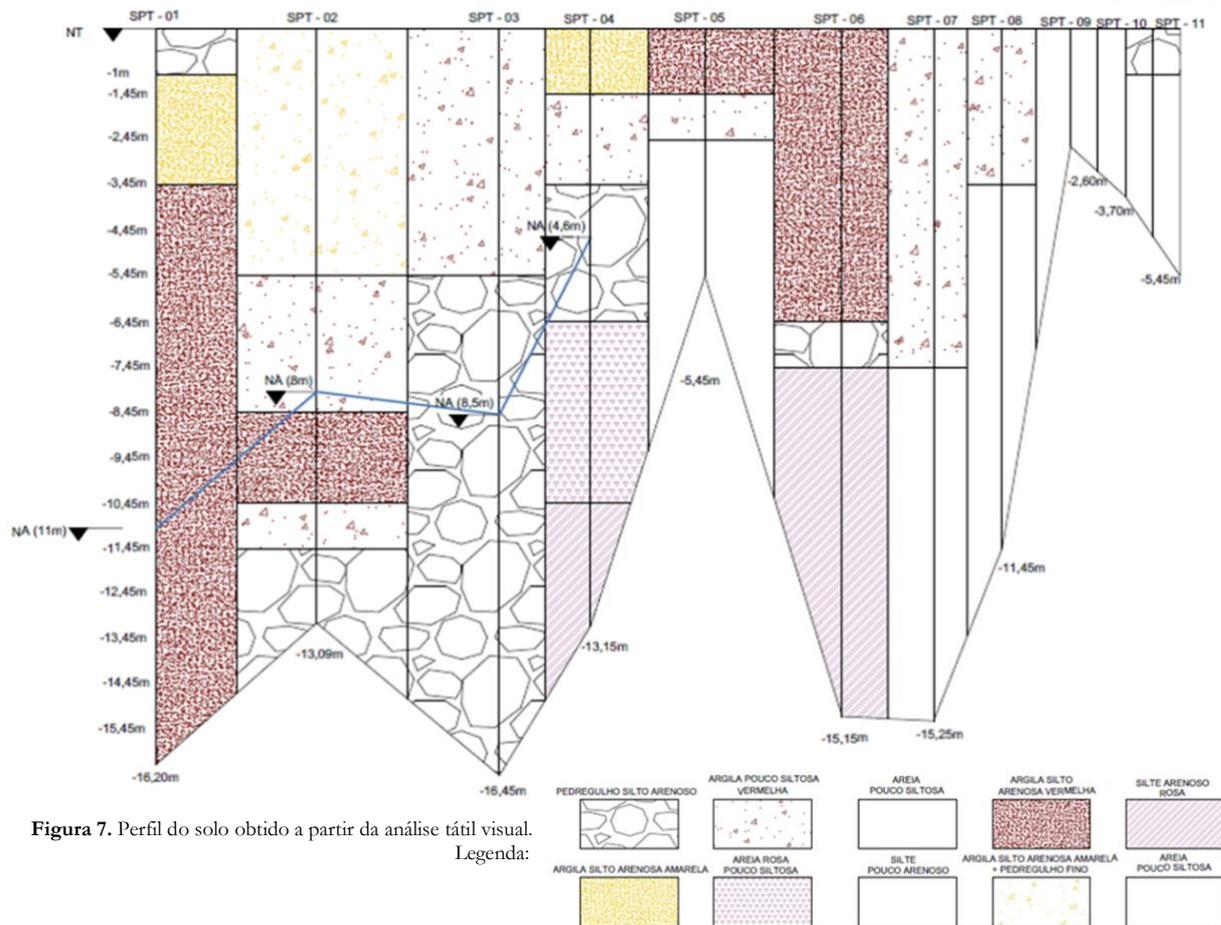


Figura 7. Perfil do solo obtido a partir da análise tática visual. Legenda:

O fator R (erosividade da chuva) é obtido por meio da Equação (3), que é o produto da multiplicação da energia cinética de chuvas erosivas (E) pela intensidade máxima em 30 minutos (I30). Consegue-se assim o EI30 de uma chuva. Contudo, a soma dos EI30 de cada chuva erosiva em um mês resulta no EI30mensal, e, por conseguinte, a soma dos EI30mensais resulta na EI30anual (R). Para a determinação dos cálculos, foram utilizados dados pluviométricos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

$$EI30mensal = 68,7 \times r^2 \times P_{0,85} \tag{2}$$

onde: EI é a chuva erosiva mensal, r é a precipitação média mensal, em mm; P a precipitação média anual, em mm.

$$R = 112 \times EI30mensal \tag{3}$$

A erodibilidade (K) de um solo relaciona a sua resistência ou susceptibilidade de ser erodido pelos fatores do intemperismo inerente do material. Dessa forma, a determinação do fator K foi realizada a partir da obtenção da curva granulométrica e definição do tipo de solo e o fator K determinado por estudos da base de dados de Brandy (1989).

Os fatores L e S foram primeiramente calculados separadamente a partir do mapa do Sistema Cartográfico do Distrito Federal (SICAD) e com auxílio do software Arcgis 9.3. Esses fatores foram calculados para 18 setores. Em seguida, a partir da tabela fornecida por Wischmeier & Smith (1978), foi realizada uma interpolação e foram encontrados os valores de L e S. Os valores C foram determinados por estudos de Lyle Jr (1987) e o fator P adotado foi de 1 pois é um solo bastante erodível.

A Equação Universal de Perda de Solos (USLE) por ser um método empírico revela-se geralmente inadequada na previsão de perdas de solos no processo erosivo em voçorocas. Segundo Jesus (2013), a análise da erosão acelerada é complexa por ser localizada e ocorrer principalmente durante eventos de chuva intensa.

A partir da Equação (1), a rodovia foi dividida em 18 setores separadamente com o auxílio do software Arcgis 9.3 e assim foi elaborado um mapa de perda de solo, com indicações de estimativas de perda de solo entre 348,12 t/ha.ano a 8.709,10 t/ha.ano, conforme a Figura 8, onde se verifica que a região com maiores valores de perda de solo anual é a região definida pela baixa altitude indicando os fluxos de canais de água e justamente o trecho de maiores erosões onde está inserida a voçoroca.

Ressalta-se que constam nos relatórios a informação sobre a realização de ensaios de cisalhamento direto e análise da estabilidade de taludes os quais indicaram a instabilidade das encostas ao longo do processo erosivo. Porém, tais ensaios e análises não foram encontrados nos relatórios disponibilizados.

Por fim, com o entendimento da problemática, foram analisadas as soluções de reparação e diminuição da erosão por parte do DER/DF (2018) e adicionadas, nas considerações finais, outras possíveis análises como sugestão para a melhor compreensão das propriedades e comportamento do solo deste processo erosivo.

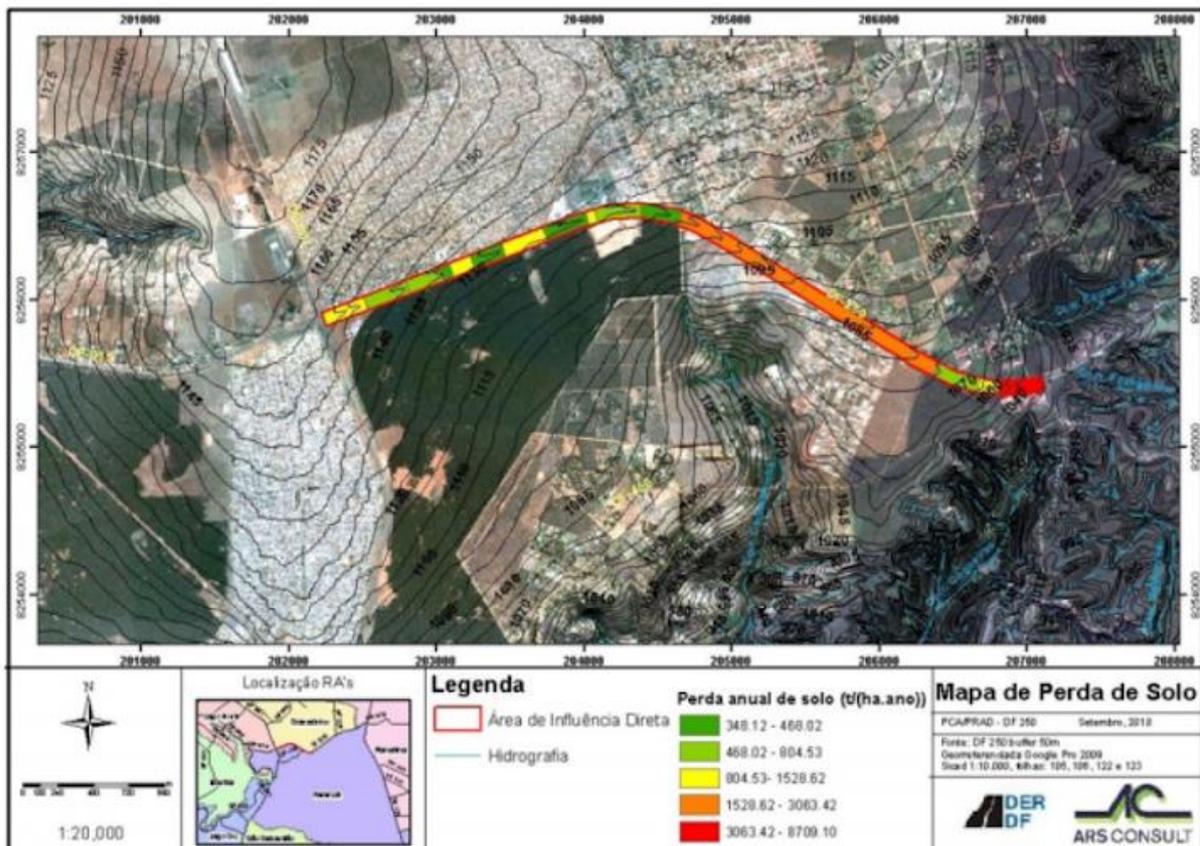


Figura 8. Mapa de perda de solo do processo erosivo na faixa de domínio (margem norte) da DF-250. Fonte: DER-DF, 2018.

### 4.3. TERCEIRA ETAPA: SOLUÇÕES DE REPARAÇÃO E DIMINUIÇÃO DA EROSIÃO

Como mencionado anteriormente, o processo erosivo em estudo é resultado de intensa ocupação humana sistemática e desordenada (um problema marcante na história de uso e ocupação do solo urbano e rural do Distrito Federal) durante mais de 20 anos em trecho ao longo da rodovia distrital DF-250.

Por meio de desmatamento, construção de obras civis, concentração do fluxo das águas pluviais, lançamentos inapropriados de lixo e dos sistemas de drenagem sem atenção às condições ambientais naturais e sem o papel legislador e atuação eficaz do Poder Público, as atividades do homem juntamente com a erosão pluvial e, acredita-se também a erosão da água subterrânea, foram fundamentais para intensificar as mudanças ocorridas na área em estudo.

A seguir, são apresentados os passivos ambientais existentes no trecho em estudo com extensão aproximada de 3,30 km (do km 1,96 ao km 5,25, a partir da DF-001) e área igual a 22.058,85 m<sup>2</sup>, bem como as propostas preliminares de recuperação dos mesmos, segundo informações apresentadas pelo DER/DF.

Conforme as Figuras 9 e 10, a desagregação e arraste de solo caracterizam processos de erosão laminar e em sulcos, com transporte de massa mais intenso a partir do km 3,68, pelo aumento da declividade do relevo. Do km 4,33 em diante, observa-se que a desagregação e transporte das partículas de solo, consorciado com o incremento da declividade, resultam em agravamento dos processos erosivos, com sulcos mais profundos.

A partir do km 4,91 até o km 5,25, devido ao intenso escoamento pluvial e carreamento de sedimentos, verifica-se a formação de voçorocas, onde a erosão atinge o leito rochoso e, em alguns pontos, o nível d'água subsuperficial, em uma área de 5.446,17 m<sup>2</sup>.

As ações recomendadas para a recuperação deste trecho compreendem a limpeza da área, reconformação dos taludes, escarificação do solo e plantio de grama/capim. Os “caminhos” de escoamento das águas entre uma bacia de retenção e outra deverão também ser reconformados e vegetados. Para o trecho das voçorocas, o processo erosivo deverá receber tratos para “canalização”, com retaludamento, aplicação de paliçadas, escarificação manual e plantio de mudas com sistema radicular profundo para dar sustentação e reter os sedimentos. Recomenda-se, ainda, a recuperação das bacias de retenção por meio de retaludamento e plantio de grama/capim, com execução de paliçadas onde se fizer necessário.



Figura 9. Processo erosivo na faixa de domínio (margem norte) da DF-250, km 4,61 – km 5,25. Fonte: DER-DF, 2018.

Na Figura 10 apresentam-se algumas imagens do processo erosivo em estudo.



Figura 10. Processo erosivo ao longo da faixa de domínio (margem norte) da DF-250. Fonte: DER-DF, 2018.

## 5. Conclusões

Primeiramente, depreende-se do estudo realizado, que o conjunto dos fatores climáticos, geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, tipos de solos, proteção superficial e a própria ação humana é determinante para o processo erosivo. Como este assunto é abrangente e envolve várias áreas do conhecimento, é um problema que deve ser pesquisado a nível interdisciplinar.

Lima (2003) destaca que em regiões tropicais, a maioria dos solos, em função das suas características físico-químicas originárias do processo de formação, apresenta alta porosidade e grande sensibilidade das ligações cimentícias em presença de água. A atuação diferenciada do intemperismo aliada aos aspectos geológicos, entre outros fatores, propicia uma grande variabilidade das propriedades destes solos. Assim, surge a necessidade de estudos regionalizados. Além disso, é essencial fixar critérios que definam a metaestabilidade e a estabilidade das microagregações existentes nos solos tropicais na avaliação da erodibilidade.

Como não foram detalhados ensaios laboratoriais que melhor representassem as propriedades e comportamento do solo em estudo, de maneira a se obter maiores conhecimentos dos aspectos físicos, químicos e

meccânicos deste solo, não foi possível promover uma contextualização mais pormenorizada dentro do ambiente dos solos tropicais e processos de intemperismo.

Destacam-se como sugestões de ensaios e análises relevantes para o entendimento mais acurado das propriedades e do comportamento do solo do processo erosivo em estudo, a completa caracterização física e classificação do solo, tais como índices físicos, sedimentação sem o uso de defloculante que propicia a obtenção da granulometria real do solo e a classificação Miniatura Compactado Tropical (MCT) com destaque para a perda de massa por imersão a qual fornece uma ideia da erodibilidade do solo. Na perspectiva da engenharia, estes ensaios têm como objetivo a estimativa do provável comportamento do solo ou, pelo menos, o de orientar um programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema, já que todos os trabalhos posteriores dependem da qualidade dos resultados de uma boa identificação e classificação dos solos (Sousa Pinto, 2006). Para o comportamento hidromecânico, tem-se o ensaio da curva característica solo-água e ensaios de resistência para a medida da influência da sucção em função da variação da umidade, já que para o potencial de evolução do processo erosivo, pequenas variações de umidade podem provocar relevantes variações na resistência do solo. E, por fim, as análises mineralógicas e microestrutural que possuem uma relação direta com muitas propriedades físicas do solo, bem como com seu comportamento hidromecânico.

O uso e cobertura do solo do processo erosivo pesquisado mostra a grande influência da ocupação urbana desordenada da região no seu surgimento e evolução, bem como a fundamental importância da atuação preventiva e, em certos casos, mitigadora desses problemas por parte do Poder Público. Segundo Jesus (2013), esta atuação do Poder Público deve iniciar-se quando da elaboração do Plano Diretor e continuar por meio da elaboração de normas apropriadas de ocupação e uso do solo que inclusive prevejam a implantação de obras básicas de infraestrutura. Para a efetividade dessas normas, faz-se necessário intensificar as ações voltadas para a educação ambiental formal e não formal da população e a prática de atos de fiscalização, de maneira que a conscientização e a educação cidadã previnam danos socioambientais futuros.

## 6. Agradecimentos

Ao DER/DF pelo fornecimento das informações relativas ao presente estudo, ao aluno de mestrado André Rodrigues pelo acompanhamento do grupo Erosões, objeto deste estudo, e à Universidade de Brasília (UnB) pelo conhecimento científico compartilhado na disciplina de Geotecnia dos Solos Tropicais, ministrada pelo Prof. PhD José Camapum de Carvalho, do Programa de Pós-graduação em Geotecnia (PPGGeo).

## 7. Referências

- Barros, J. R., & Zavattini, J. A. (2004). O regime e as excepcionalidades do ritmo pluviométrico no Distrito Federal. *Sociedade e natureza na visão da Geografia*. Disponível em [http://www.rc.unesp.br/igce/geografia/pos/downloads/2004/o\\_regime.pdf](http://www.rc.unesp.br/igce/geografia/pos/downloads/2004/o_regime.pdf). Acesso em 11/11/2020.
- Brady, N. C. (1989). *Natureza e propriedades dos Solos* (7a ed.). Rio de Janeiro: Freitas Bastos.
- Camapum de Carvalho, J., Sales, M. M., Mortari, D., Fázio, J. A., Motta, N. O., & Francisco, R. A. (2006). Processos erosivos. In J. Camapum de Carvalho, et al. (Orgs.). *Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro*. Finatec: Brasília, DF, 464p.
- Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal (2018). *Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD DF-250*. Disponível no Sistema Eletrônico de Informações (SEI), Governo do Distrito Federal, número do processo: 00113-00005459/2018-79, Brasília, DF. Acesso em 21/09/2020.
- Farias, R., Ribeiro, R. M. N., Paranhos, H., & Bezerra, I. S. (2016). Análise e proposta de recuperação para um processo erosivo localizado no município de Planaltina/GO. *Anais... XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Belo Horizonte, MG, 8 p.
- Jesus, A. S. (2013). *Investigação multidisciplinar de processos erosivos lineares: estudo de caso da cidade de Anápolis-GO*. Tese de Doutorado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 367 p.
- Lemos, R. C.; Santos, R. D. (1984). *Manual de descrição e coleta de solo no campo* (2a.ed.). Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Embrapa-SNLCS, 46p.
- Lima, M. C. (2003). *Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas*. Tese de Doutorado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, UnB, Brasília, DF, 364 p.



- Lyle Jr., E. S. (1987). *Surface mine reclamation manual*. School of Forestry, Auburn University. Elsevier: NY, 266p.
- Massocco, N. S. (2019). Interpretação preliminar da geologia e pedologia do Município de Gaspar [SC] para a formação de um mapeamento geotécnico. *Labor & Engenho*, 13, e019006. <https://doi.org/10.20396/labore.v13i0.8651558>
- Mortari, D. (1994). *Caracterização Geotécnica e Análise do Processo Evolutivo das Erosões no Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 217p.
- Sousa Pinto, C. (2006). *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. Ed. Oficina de Textos: São Paulo, SP, 356 p.
- Wischmeier, W. H.; smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington, D. C., United States Department of Agriculture. 58 p. (Agriculture handbook, 537).