

As características dos solos e a ocorrência de voçorocas na Rodovia BR-174, entre Manaus e Presidente Figueiredo (AM), norte do Brasil

Soil characteristics and gully formation along BR-174, between Manaus and Presidente Figueiredo (AM), Northern Brazil.

Las características de los suelos y la ocurrencia de cárcavas en la Carretera BR-174, entre Manaus y Presidente Figueiredo (AM), norte de Brasil.

Daniela Paiva Carvalho

Universidade Federal do Amazonas

dani-paivacarvalho@hotmail.com

Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira

Universidade Federal do Amazonas

fabiovieira@ufam.edu.br

Resumo

Este estudo teve como objetivo principal caracterizar o solo na área de ocorrência de voçorocas ao longo da rodovia federal BR-174, no trecho entre Manaus e a sede do município de Presidente Figueiredo. Para tanto, foram realizados os seguintes procedimentos: revisão bibliográfica, levantamento de campo com descrição do solo, testes de infiltração e de resistência à penetração, além da coleta de amostras de solo por meio de trado, com subsequente análise física em laboratório. O tipo de solo predominante na área de estudo é o Latossolo Amarelo. Em perfis de solo realizados em áreas com floresta primária, esse solo apresentou uma textura variando de argilosa a muito argilosa, o que geralmente favorece uma boa retenção de água e maior estabilidade. Já em área degradada, as amostras indicaram uma composição heterogênea, com texturas que variavam de argilo-siltosa a argilo arenoso-siltosa, refletindo o impacto das mudanças no uso do solo. Essa variação na textura é um fator importante, pois influencia diretamente na forma como o solo se comporta diante de um período de chuva. Solos mais argilosos tendem a ser mais resistentes à erosão do que solos com teores mais elevados de areia e silte.

Palavras-chave: Erosão. Degradação do solo. Impacto ambiental.

Abstract

This study aimed primarily to characterize the soil in the area of gully occurrence along the federal highway BR-174, in the section between Manaus and the municipal seat of Presidente Figueiredo. To this end, the following procedures were carried out: literature review, field survey with soil description, infiltration and penetration resistance tests, as well as soil sample collection using an auger, followed by physical analysis in the laboratory. The predominant soil type in the study region is Yellow Latosol. In soil profiles conducted in areas with primary forest, this soil exhibited a clayey to very clayey texture, which generally promotes good water retention and greater stability. In degraded areas, the samples indicated a heterogeneous composition, with textures ranging from clayey-silty to clayey-sandy-silty, reflecting the impact of changes in land use. This variation in texture is an important factor, as it directly influences how the soil behaves during a rainy period. More clayey soils tend to be more resistant to erosion than soils with higher sand and silt content.

Keywords: Erosion. Soil Degradation. Environmental impact.

Resumen:

Este estudio tuvo como objetivo principal caracterizar el suelo en el área de ocurrencia de cárcavas a lo largo de la carretera federal BR-174, en el tramo entre Manaus y la sede del municipio de Presidente Figueiredo. Para ello, se llevaron a cabo los siguientes procedimientos: revisión bibliográfica, levantamiento de campo con descripción del suelo, pruebas de infiltración y de resistencia a la penetración, además de la recolección de muestras de suelo mediante barreno, con posterior análisis físico en laboratorio. El tipo de suelo predominante en la región de estudio es el Latosol Amarillo. En perfiles de suelo realizados en áreas con bosque primario, este suelo presentó una textura arcillosa a muy arcillosa, lo que generalmente favorece una buena retención de agua y mayor estabilidad. En áreas degradadas, las muestras indicaron una composición heterogénea, con texturas que varían de arcillo-limosa a arcillo-arenoso-limosa, reflejando el impacto de los cambios en el uso del suelo. Esta variación en la textura es un factor importante, ya que influye directamente en cómo se comporta el suelo durante un período de lluvia. Los suelos más arcillosos tienden a ser más resistentes a la erosión que los suelos con mayores contenidos de arena y limo.

Palabras clave: Erosión. Degradación del suelo. Impacto ambiental.

Introdução

As estradas/rodovias são consideradas intervenções na paisagem que causam grandes modificações nos ambientes naturais. Associadas a elas existem problemas ligados tanto às questões ambientais quanto às questões socioeconômicas (Guerra, 1999). Assim, através da caracterização das feições do tipo voçorocas e das modificações na paisagem da rodovia BR-174, principalmente no que tange aos aspectos geomorfológicos, este trabalho visa contribuir ao debate em torno do entendimento dos fatores controladores naturais e antrópicos envolvidos na deflagração e evolução desse tipo de feição erosiva em rodovias.

De acordo com Guerra (1999), os desequilíbrios ambientais frequentemente resultam de uma visão fragmentada dos elementos que compõem a paisagem. A degradação ambiental possui causas e consequências sociais, não podendo ser analisada apenas sob a perspectiva dos aspectos físicos. Intervenções como cortes para construção de estradas, deposição de material em encostas e plantio em terrenos de alta declividade são fatores cruciais para o surgimento de feições erosivas.

As rodovias, como a BR-174, representam intervenções significativas na paisagem, promovendo alterações expressivas nos ambientes naturais. Esses empreendimentos estão associados a impactos ambientais e socioeconômicos (Guerra, 1999). Inicialmente, o que se percebe referente a esta via de acesso é que seu traçado apresenta muitos trechos retilíneos, os quais “cortam” vários divisores de água, consequentemente formando trechos com forte declividade.

Por conta disso, as voçorocas, os movimentos de massa e os assoreamentos de canais, surgem com mais frequência nesses trechos. Particularmente, no caso das voçorocas a drenagem da pista para o talude desprotegido de vegetação ou com o sistema de drenagem pluvial com falhas na

sua concepção, propicia o surgimento dessas feições erosivas e de outras menores, como sulcos e ravinas.

Em mapeamentos realizados anteriormente (Vieira; Albuquerque, 2004; Vieira et al., 2005), foram cadastradas 31 voçorocas na BR – 174. Em 2013, foram verificadas a existência de apenas 24 voçorocas (Carvalho, 2013), pois 7 delas haviam recebido obras de contenção pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte - DNIT. Em 2017, verificou-se que esse número havia caído para 21, localizadas em sua maior parte entre o km 5 e o km 56. Diante disso, a presente pesquisa teve como objetivo principal o monitoramento dessas incisões juntamente com a descrição do solo e impactos ambientais relacionados.

Procedimentos Metodológicos

Essa etapa comprehende a caracterização dos aspectos físicos da área em que se encontra cada voçorocas. Para isso, utilizou-se de fontes secundárias (revisão da bibliografia, geoprocessamento e mapas temáticos já produzidos sobre área) e primárias (envolvendo levantamentos de dados em campo).

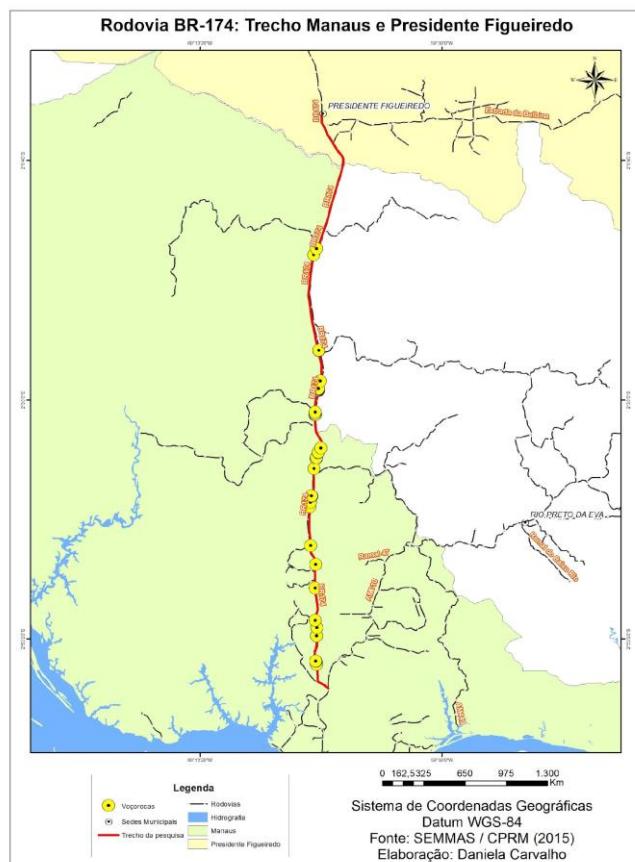
Área de estudo

A área de estudo desta pesquisa comprehende o trecho entre o km 01 e o km 107 da rodovia BR 174 (Figura 1), que liga a capital amazonense (Manaus) à cidade de Presidente Figueiredo (AM). A geologia da área de estudo é caracterizada pela Formação Alter do Chão que pertence ao Grupo Javari (Muller; Carvalho, 2005). As unidades geomorfológicas são descritas em Platôs areníticos e Platôs lateríticos (Dantas; Maia, 2010). A temperatura média varia de 28°C a 31°C, apresentando médias pluviométricas superiores a 2.000 milímetros por ano (CLIMATEMPO, 2024). O clima é caracterizado do tipo Af, segundo a classificação de Köppen (1948), pois apresenta Clima tropical úmido, com maior incidência de chuvas no período de dezembro a maio. Predominam solos bem profundos e drenados, em geral os Latossolos (CPRM, 2010). No que se refere à vegetação da área de estudo, predominantemente é classificada como Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, apresentando ainda pequenas manchas de Campinarana (IBGE, 2010), além de vegetação secundária e áreas de plantio e pastagens. As bacias hidrográficas que têm contato com a BR 174 no trecho estudado, comprehendem a Bacia do rio Tarumã Açu, Bacia do rio Branquinho e a Bacia do rio Urubu (IBGE, 2010).

Caracterização física do solo

Foram coletados em campo amostras de solo através do trado, as quais foram tratadas do ponto de vista da granulometria, no Laboratório de Análise e Tratamento de Sedimentos e Solos – LATOSOLO, do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, tendo por base o Manual de Métodos de Análises de Solo da EMBRAPA (1997). Como complemento para a caracterização do solo, foram realizados testes de infiltração e de resistência à penetração do solo, determinação da densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total.

Figura 1 – Trecho da rodovia BR - 174 ligando Manaus a Presidente Figueiredo (AM).



Elaboração: Daniela Carvalho (2024).

Densidade do Solo (Ds)

A densidade do solo corresponde à massa por unidade de volume de uma amostra de solo seco, ou melhor, a medida da densidade de todas as partículas do solo, sem considerar os espaços porosos (LEPSCH, 2011, p. 253). Utilizou-se o procedimento já consolidado pela EMBRAPA (1997), aplicando-se a seguinte fórmula:

$$Ds = (Ms/Vs) \quad (1)$$

Onde:

D_s , Densidade do solo em g/cm³

M_s , Massa do solo seco (g)

V_s , Volume do solo contido no balão volumétrico (cm³)

Densidade de Partículas (D_p)

De acordo com Lepsch (2011), a densidade mais útil às aplicações práticas é a de partículas, porque inclui o espaço poroso, ou seja, aquele que corresponde a massa de solo seco por volume. Realizou-se por meio do método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997), conforme fórmula de densidade de partículas:

$$dp = \frac{a}{50 - b} \quad (2)$$

Onde:

D_p , Densidade de partículas (real), em g/cm³

a, Peso da amostra seca a 105° C

b, Volume de álcool gasto (20 ml + álcool da bureta).

Capacidade de Infiltração do solo

A taxa de infiltração (f), que se refere ao volume infiltrado *versus* unidade de tempo (mm/min) foi obtida através da equação segundo Reichardt (1990), a qual é descrita como sendo:

$$F(t) = f.(t) \quad (3)$$

t

Onde:

F , Total Infiltrado (infiltração acumulada ou total infiltrado)

f , taxa de infiltração

t , tempo

Para este trabalho, o equipamento utilizado foi o infiltrômetro tipo *Turf-Tec* (Figura 2). Para isso, a metodologia incide em colocar água no coletor do instrumento (1000 ml) e para cada intervalo de tempo medido, obtém-se a quantidade de milímetros infiltrados. Para efeito de cálculo, utilizou-se a (Tabela 1) a seguir, onde os resultados deste foram expressos em gráfico de correlação linear simples.

Figura 2 - Infiltrômetro.



Fonte: Autores (2017).

Tabela 1 - Teste de Infiltração (modelo).

Tempo (min.)	Volume infiltrado (mm)	Volume Acumulado (mm)	Taxa de Infiltração (mm/min) ¹
1	10	10	10
2	8	18	9
3	6	24	8
4	6	30	7,5
...

Elaboração: Autores (2024).

Resistência à penetração do solo

Essa etapa foi realizada com o penetrômetro de impacto (Figura 3), que auxilia na caracterização do solo quanto à resistência à penetração. Constitui-se de uma haste de ferro de 1 metro, sendo que a porção inferior é graduada de 5 em 5 centímetros num total de 50 centímetros. A aplicação deste consiste em soltar um peso de 1 Kg a uma altura de 50 cm, que faz com que a haste de metal seja penetrada no solo. Então é contado quantas batidas são necessárias para cada 5 centímetros que adentra. Repete-se esse procedimento até que tenha penetrado 50 cm. Esse procedimento é realizado em 3 pontos na área do entorno do teste de infiltração e próximo de onde foram coletadas as amostras. Os dados obtidos foram lançados em uma planilha no *Excel*, que resultou num gráfico de linhas que representa as variações em profundidade da resistência à penetração, incluído os valores médios, representados em MPa (Mega Pascal; **MPa** = 1 milhão de Pascal = 10,1972 Kgf/cm², que é igual a 1 newton: N).

Figura 3 - Penetrômetro de Impacto.



Fonte: Autores (2017).

Como parâmetros para determinar o grau de compactação do solo na área estudada, foram utilizados dados da United States Department of Agriculture (1993) que classifica a resistência do solo à penetração em sete níveis (Tabela 02):

Tabela 2 - Resistência à penetração

MPa	Descrição	MPa	Descrição
< 0,01	Extremamente baixa	2,0 – 4,0	Alta
0,01 – 0,1	Muito baixa	4,0 – 8,0	Muito alta
0,1 – 1,0	Baixa	>8,0	Extremamente alta
1,0 – 2,0	Moderada	-----	-----

Fonte: USDA, 1993. Elaboração: os autores.

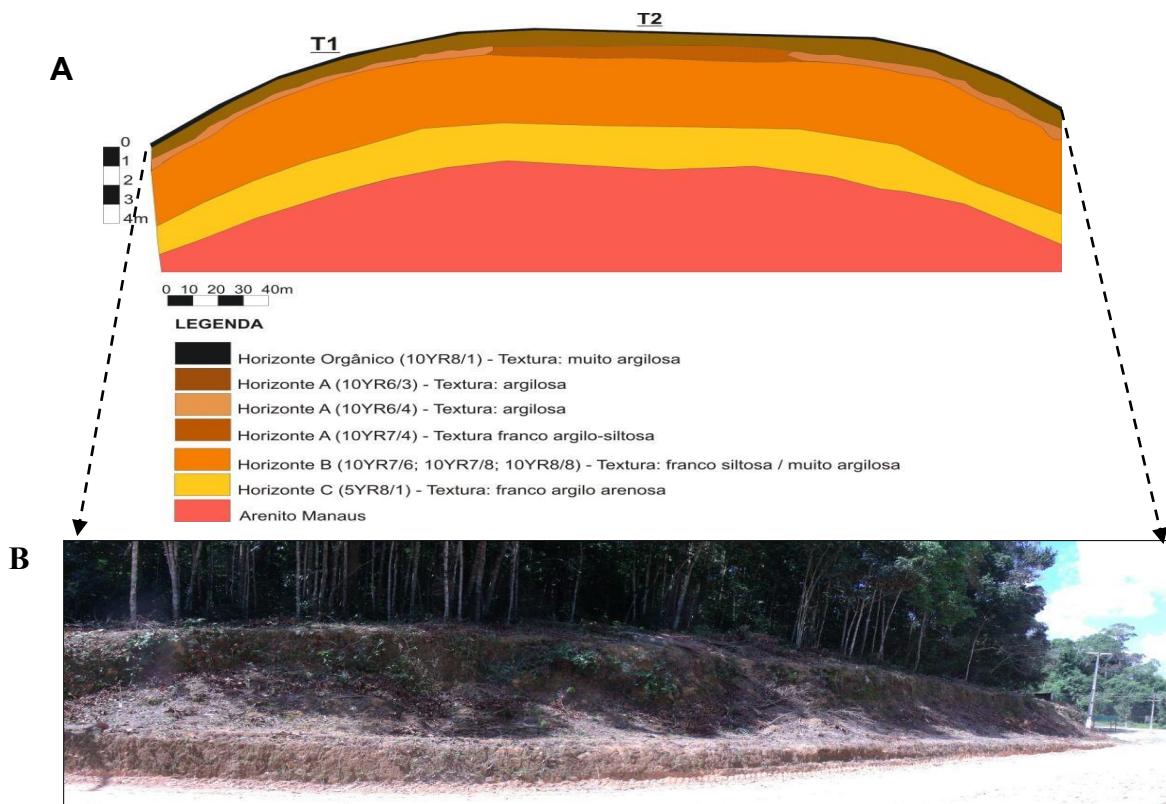
Resultados e discussão

Foram realizadas 4 tradagens em diferentes pontos da BR-174 para coleta de amostras de solo para análise granulométrica, determinação da Ds, Dp, PT e para realização de testes de infiltração e de resistência à penetração.

Análise da Topossequência

O ponto escolhido para a realização da toposequência (Figuras 4 A e B) está localizado à margem da rodovia, do Km 39, na entrada do ramal da Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas. As tradagens foram de 1,50 m de profundidade, onde amostras de solos foram coletadas e testes de infiltração e de resistência à penetração foram realizados. A classe de solo encontrada nesse ponto, refere-se ao Latossolo Amarelo, classe predominante na região.

Figuras 4 – A) Topossequência e pontos de tradagem (T1 e T2) e B) Vista da borda da área onde foi realizada a topossequência.

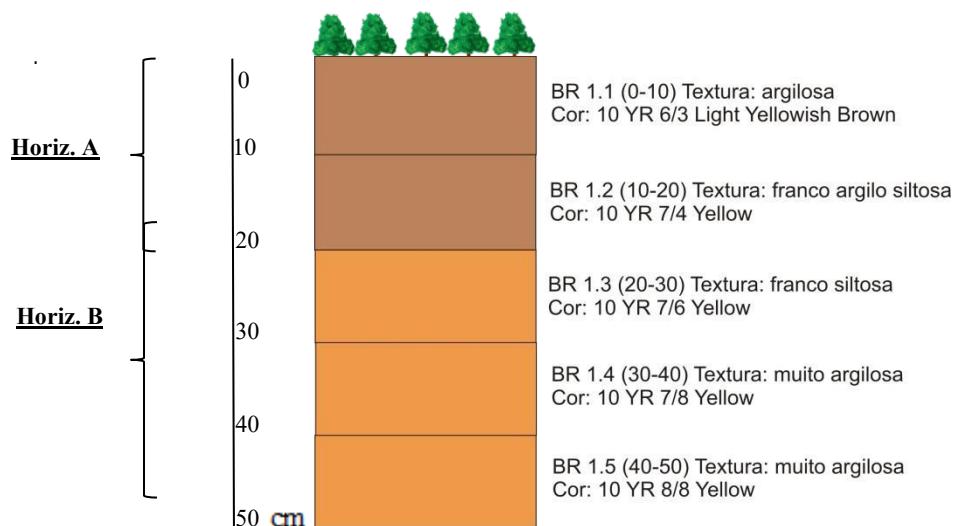


Fonte: Autores (2017).

Pontos 1 e 2 - Tradagem (T1 e T2)

A caracterização textural do solo da 1^a área com voçorocamento (Tradagem 1 – T1), seguiu a classificação da United States Department of Agriculture - USDA e apresentou texturas variando de argilosa a muito argilosa (Figura 5).

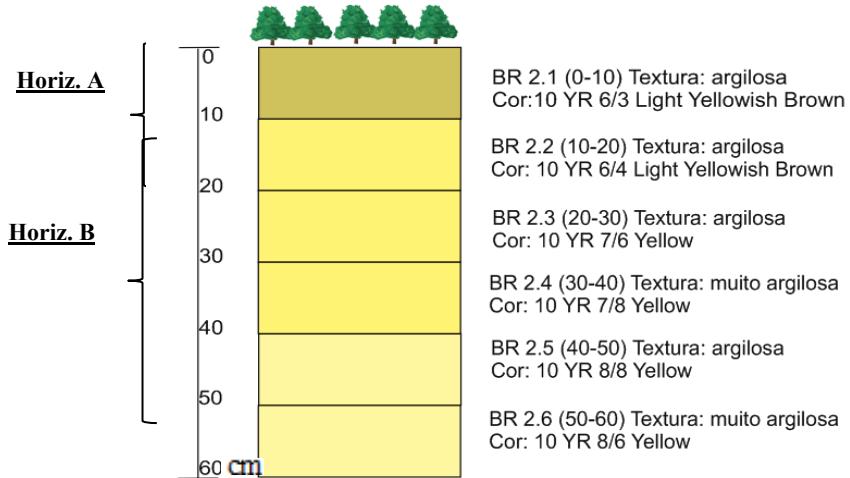
Figura 5 - Perfil de solo (Latossolo Amarelo), Tradagem 1 (T1).



Fonte: Autores (2017).

A descrição do perfil de solo do Ponto T2 configura-se por apresentar textura variando entre argilosa a muito argilosa (Figura 6). Apresentou após a camada de matéria orgânica (Horizonte O), o horizonte A, com variações de cor entre 10YR6/3 e 10YR6/4, ambas de textura argilosa.

Figura 6 - Perfil de um Latossolo Amarelo, Tradagem 2 (T2).



Fonte: Autores (2017).

As amostras (Tabela 3) variaram com taxas mais elevadas entre argila e silte, respectivamente. Nas amostras BR 1.1, 1.4 e 1.5 o teor de argila é mais significativo. Nas amostras BR 1.2 e 1.3, as texturas correspondem a maiores teores de silte e menores de areia nas amostras BR 1.4 (14,20%) e BR 1.5 (12,7%).

Tabela 3 - Amostragem de solo – (T1).

Prof. (m)	Amostra	Areia %	Silte %	Argila %
0,10	BR 1.1	18,90	22,65	58,45
0,20	BR 1.2	15,92	55,70	28,37
0,30	BR 1.3	16,63	62,39	20,98
0,40	BR 1.4	14,20	19,93	65,87
0,50	BR 1.5	12,70	15,80	71,50

Fonte: Autores (2017).

As amostras (Tabela 4) variaram com taxas mais elevadas entre argila e silte, respectivamente. Em todas as amostras, o teor de argila é mais significativo, sendo o último ponto (BR 2.6, 50-60cm), onde se verifica a porcentagem de argila mais elevada (75,05%), denota-se um

solo característico da classe de Latossolo, profundo e de boa drenagem. Quanto aos índices de areia, os menores valores oscilaram entre 7,1% a 7,675%.

Tabela 4 - Amostragem de solo – (T2).

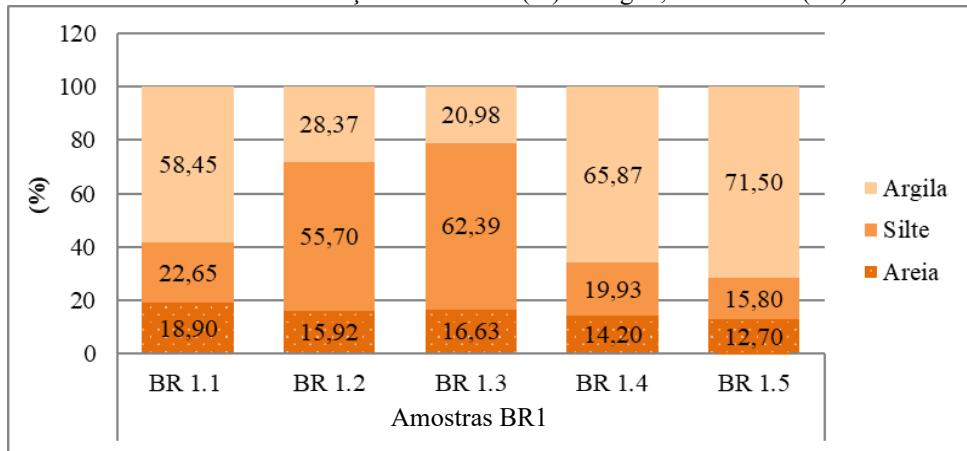
Prof. (m)	Amostra	Areia %	Silte %	Argila %
0,10	BR 2.1	20,05	36,92	43,02
0,20	BR 2.2	14,40	26,77	58,82
0,30	BR 2.3	16,63	34,20	54,60
0,40	BR 2.4	7,67	28,65	63,67
0,50	BR 2.5	7,75	34,10	58,15
0,60	BR 2.6	7,10	17,85	75,05

Fonte: Autores (2017).

As taxas de argila são quase proporcionais com as de silte, destoando nas amostras 1, 4 e 5, enquanto as amostras 2 e 3, apresentam a textura franco argilo-siltosa e franco siltosa, respectivamente (Gráfico 1). Nesta perspectiva, Cantalice et al. (2005) propõem que a fração de silte, não possui alta capacidade de agregação, o inverso da argila, que é fração mais difícil de remoção, pois possui maior capacidade de agregação. O silte é extremamente suscetível à erosão ao passo que a argila é importante para a manutenção da coesão dos solos (Guerra, 2008).

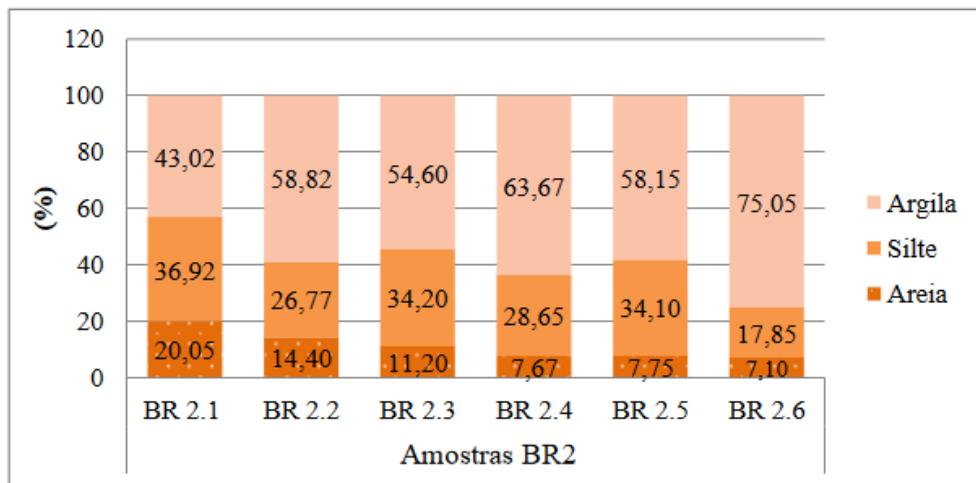
No (Gráfico 2), as taxas de argila são mais elevadas em todas as amostras. Com relação à profundidade, o percentual de argila no ponto BR 2.6 (75,05%), demonstra que quanto mais profundo, maior o valor de argila.

Gráfico 1 - Distribuição dos valores (%) de argila, silte e areia (T1).



Fonte: Autores (2017).

Gráfico 2 - Distribuição dos valores (%) de argila, silte e areia (T2).



Fonte: Autores (2017).

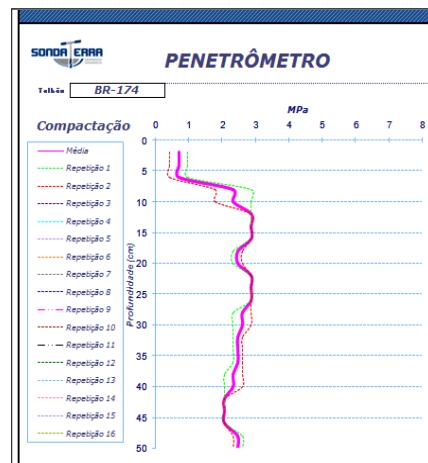
Na região, a classe de solo predominante é o Latossolo Amarelo, formada em condições de relevos bem drenados, variando de plano a ondulado, geralmente compostos por material argiloso a argilo-arenoso, de coloração amarelada à ocre, tendendo serem mais argilosos no topo dos platôs dos perfis lateríticos, atestando conforme encontrado em campo e posterior análise granulométrica.

Entre as propriedades físicas do solo, a infiltração é uma das mais importantes quando se estudam fenômenos que estão ligados ao movimento de água entre estes a infiltração. O conhecimento da taxa de infiltração é muito importante também para quantificar a parcela de chuva que não infiltra no solo, ocasionando o escoamento superficial (Gallo *et al.*, 2015, p.5).

O gráfico da infiltração (Gráfico 3 – T1) de água no solo mostra uma média de volume infiltrado com picos no intervalo de 1-3 minutos. A determinação da taxa de infiltração do solo, conforme (IBGE, 2007), consiste na determinação da velocidade de entrada de água no solo e, portanto, mede a capacidade do solo de absorver água.

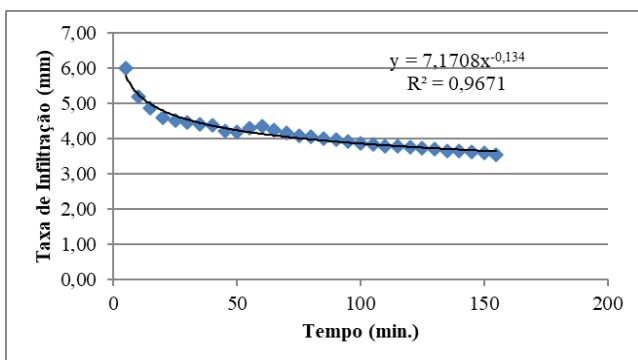
Conforme o Gráfico 4, para o Ponto de Tradagem (T1), na profundidade de 0 a 5 cm, a superfície é caracterizada por ser compactada e solo menos coeso. De acordo com o nível de resistência aplicado, oscila entre 2 e 3 MPa, considerada alta resistência.

Gráfico 4 - Resistência à penetração (T1).



Fonte: Autores (2017).

Gráfico 3 - Taxa de infiltração ponto de tradagem (T1).



Fonte: Autores (2017).

No ponto de Tradagem (T2), não foram gerados os resultados quanto aos testes de infiltração e penetração, devido a erro na leitura, aferidos em campo. Considerando os valores de porosidade total no solo, das amostras BR 1 e BR 2 (Tabelas 5 e 6), tanto em superfície de 0-10 cm, quanto em subsuperfície (10-20; 20-30; 40-50 cm; 50-60), os resultados foram baixos e homogêneos: BR 1 (31,74%), BR 2 (20,18%). A importância da porosidade está relacionada na permeabilidade e da capacidade de retenção da água. Ressalta-se que em comparação ao estudo realizado por Silva (2010) em solos argilosos, a porosidade possui grande importância para o adequado funcionamento do solo, permitindo a infiltração da água em subsuperfície, o que viabiliza o abastecimento do lençol freático e fornece água para os vegetais.

Os resultados de densidade de solo (Tabelas 5 e 6) apresentaram valores inversos em todas as profundidades, em torno de 1,88 g/cm³ (BR 1); 1,9 g/cm (BR 2), caracterizando um ambiente compactado, uma vez que a relação da massa com o volume que o solo ocupa em um determinado espaço se encontra próximo ao limite de um solo denso (2g/cm³). Associa-se aos valores à presença de vegetação, uma vez que as raízes ajudam na reestruturação dos solos e na formação de poros (Pereira *et al.* 2016).

A densidade de partículas procura representar a verdadeira relação entre a massa (peso do solo) e o seu volume, ou seja, representa o peso das partículas do solo e o volume ocupado exclusivamente pelas mesmas, independentemente de seu arranjoamento. É um reflexo da natureza química e mineralógica de seus constituintes. Pode ser dispensada para solos minerais ricos em sílica ou em quartzo (areias), utilizando-se o valor universal de 2,65g/cm³, com isto, inclui-se a seguinte média para as amostras: BR 1 = 2,77 g/cm³; BR 2 = 2,36 g/cm³.

Tabela 5 - Análise da amostra BR 1.

Profundidade (cm)	Amostr a	Porosidade total (%)	Densidade Real (g/cm³)	Densidade aparente (g/cm³)
0--10	BR 1.1	36,50	2,98	1,89
10--20	BR 1.2	33,10	2,81	1,88
20--30	BR 1.3	23,80	2,43	1,85
30--40	BR 1.4	33,80	2,81	1,86
40--50	BR 1.5	31,50	2,85	1,95
Média		31,74	2,77	1,88

Fonte: Autores (2017).

Tabela 6 - Análise da amostra BR 2.

Profundidade (cm)	Amostr a	Porosidade total (%)	Densidade Real (g/cm³)	Densidade aparente (g/cm³)
0--10	BR 2.1	5,80	2,06	1,94
10--20	BR 2.2	31,50	2,46	1,87
20--30	BR 2.3	22,70	2,46	1,90
30--40	BR 2.4	26,90	2,63	1,92
40--50	BR 2.5	20,90	2,43	1,92
	BR 2.6	13,30	2,17	1,88
Média		20,18	2,36	1,90

Fonte: Autores (2017).

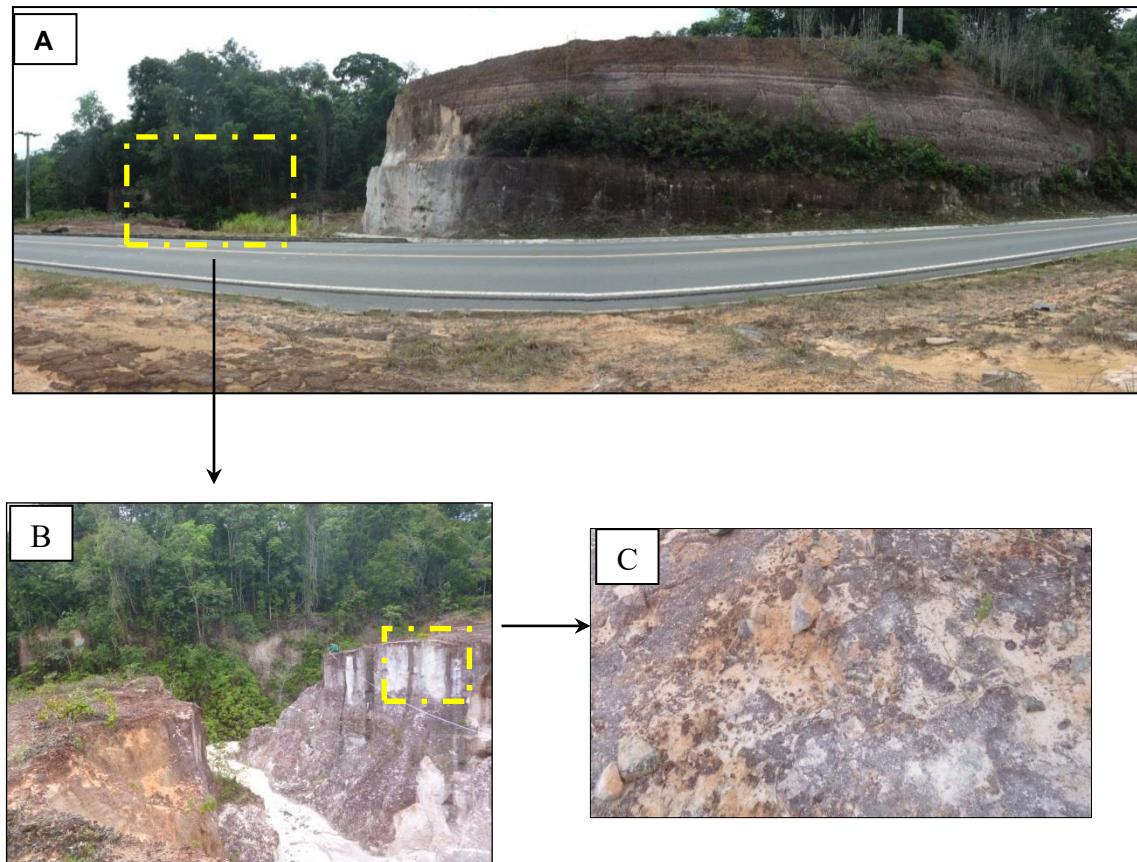
Ponto de Tradagem 3 (Área degradada)

Além do comportamento do solo e relevo, através da toposequência foram realizados ainda coleta de amostras, 1 teste de infiltração e outro de penetração, em ambiente próximo à uma borda de voçoroca localizada no Km 34 (Figuras 7 A, B e C).

A comparação entre o ambiente de floresta (toposequência) com o ambiente degradado (voçoroca) foi analisado *in situ* e em laboratório (análises física e granulométrica) assim como a verificação da capacidade de infiltração e resistência do solo a penetração.

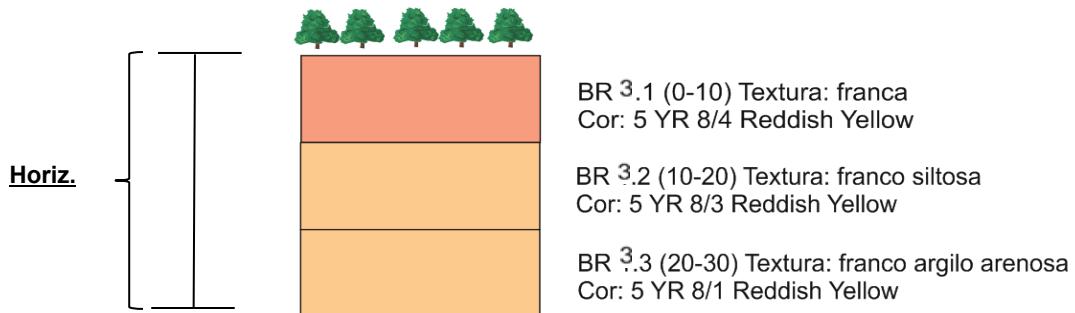
Quanto ao perfil de solo do Ponto 3 do Km 34 (voçoroca), a configuração da textura é franca a franco argilo-arenosa (Figura 8). Ao relacionar solos de classificação franco-argilo-arenosa com as taxas de escoamento superficial e o processo de desagregação do mesmo, pode-se considerar como sendo uma das causas para o surgimento desta incisão erosiva. Isso deve-se pela combinação entre o aumento da concentração do fluxo de escoamento com a superfície do solo mais friável e a ausência de cobertura vegetal que afeta a agregação do solo, deixando-o menos resistente aos agentes exógenos, como a erosão (Morgan, 2005; Pereira *et al.*, 2016).

Figuras 7 - A) Perfil através de talude na rodovia; **B)** Voçoroca e **C)** Solo encrustado em uma das bordas da incisão.



Fonte: Autores (2017).

Figura 8 - Perfil do solo – Ponto de tradagem T3.



Fonte: Autores, 2017.

Essa área, por apresentar o horizonte C exposto, tem elevada facilidade à erosão de solo e interfere diretamente no processo de drenagem da água. Conforme Pereira *et al.* (2016), esses fatores culminam na rápida saturação do solo em face da porosidade ser rapidamente preenchida após eventos chuvosos. Assim, em função da textura superficial mais arenosa, verifica-se o aumento dos processos erosivos em face da fragilidade textural e estrutural existente nesse horizonte exposto (EMBRAPA, 2015).

As amostras (Tabela 7) variaram com taxas mais elevadas entre areia e silte, respectivamente. Em todas as amostras, o teor de areia é mais significativo. Este perfil de solo corresponde ao horizonte C, mais friável, apresentando grandes porcentagens de areia (BR 3.1=43,4%) e (BR 3.3=69,55%).

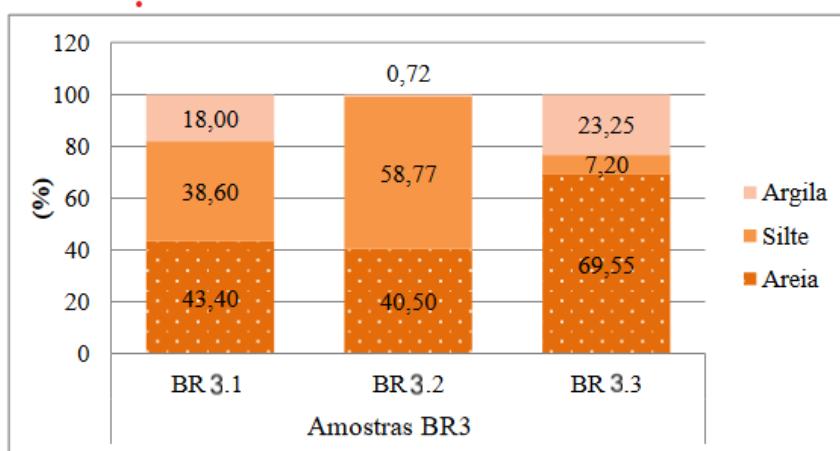
Tabela 7 - Amostragem de solo – Ponto de tradagem (T3).

Prof. (m)	Amostra	Areia	Silte %	Argila
0,10	BR 3.1	43,40	38,60	18,00
0,20	BR 3.2	40,50	58,77	0,72
0,30	BR 3.3	69,55	7,20	23,25

Fonte: Autores (2017).

No Gráfico 5, as taxas de areia são mais elevadas em todas as amostras. Em BR 3.1 (43,4%) e BR 3.3 (69,55%) são mais expressivos, atestando ser de horizonte mais profundo (C), típico da região de estudo.

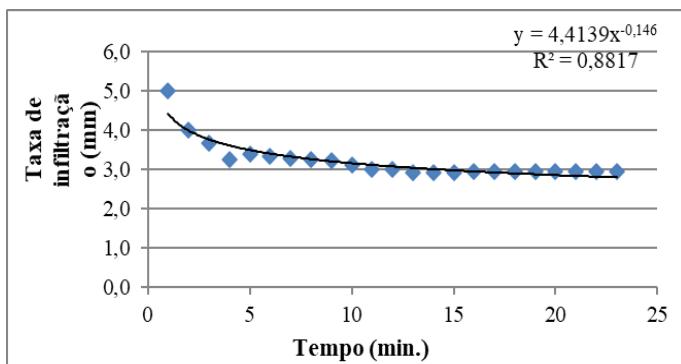
Gráfico 5 - Distribuição dos valores (%) de argila, silte e areia (T2).



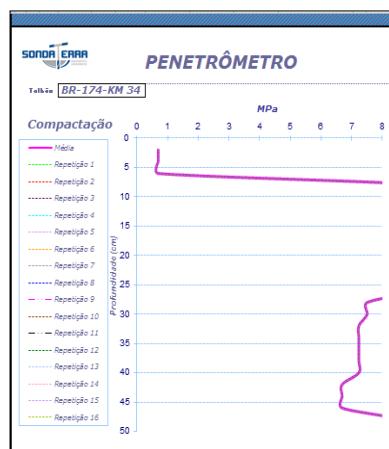
Fonte: Autores (2017).

Entre as propriedades físicas do solo, a infiltração é uma das mais importantes quando se estudam fenômenos que estão ligados ao movimento da água no solo. Com isto, o gráfico da infiltração (Gráfico 6) de água no solo mostra uma média de volume infiltrado com picos no intervalo de 1-3 minutos, estabilizando em 5 minutos. A duração do teste foi de 7 minutos, com média de infiltração 1,57 mm/min. Em consoante, considera-se que a condição da superfície é fator determinante no processo de infiltração. Gallo *et al.* (2015) descreve que a classe textural do solo influência nos resultados, ao passo que os solos argilosos apresentam valores mais elevados de resistência à penetração, corroborando para o que foi verificado através das baixas taxas de argila (18%, 0,725% e 23,25%) (Gráfico 7).

Gráfico 6 - Taxa de infiltração na Voçoroca Km 34 – Ponto BR 3. **Gráfico 7** - Resistência do solo – Ponto de tradagem (BR 3-T3).



Fonte: autores (2017).



Fonte: autores (2017).

A penetração neste ambiente articulada com a superfície do solo compactado, mostra no teste de penetração, o maior número de batidas em todos os intervalos, evidenciando um solo mais resistente. Os valores dos lances ultrapassam a unidade de medida (8 MPa) nos intervalos (10-25 cm).

No entanto, verificou-se que através das amostras, em ambiente degradado e não degradado que os valores de porosidade e densidade do solo, ajudam a analisar a capacidade da funcionalidade ambiental do solo (Tabela 7), como a influência do desempenho do ciclo hidrológico, podendo acelerar o processo de formação do escoamento superficial, bem como aumentar a sua concentração, velocidade e força, intensificando a desagregação e o transporte de suas partículas. (EMBRAPA, 1997; Pereira *et al.* 2014, 2016).

Os percentuais de argila foram maiores no ambiente de floresta primária, apresentando as classes texturais de argilosa a muito argilosa; no ambiente degradado, os percentuais de areia e silte exibiram taxas acima de 50%. A relação silte / argila variou nos ambientes, tendo as taxas no ambiente degradado (sem vegetação) maiores de silte que no ambiente com floresta, proporcionalmente iguais.

Tabela 7 - Análise da amostra BR 2.

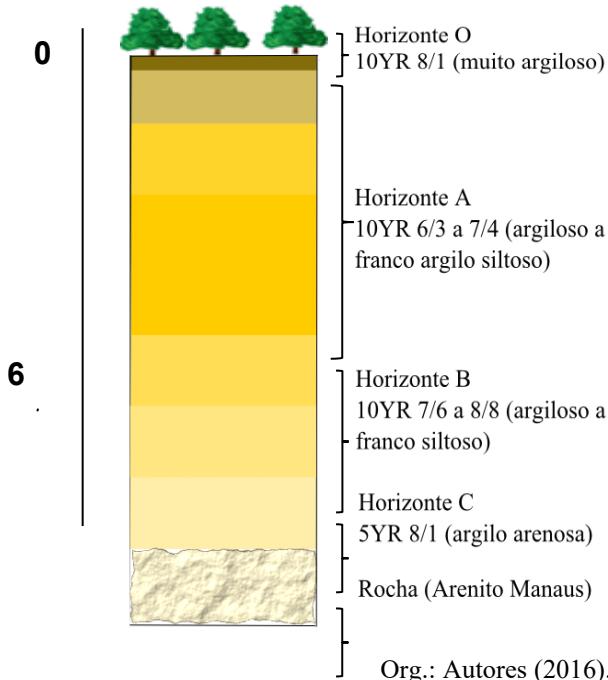
Profundidade (cm)	Amostra	Porosidade total (%)	Densidade de Partículas (g/cm³)	Densidade do solo (g/cm³)
0--10	BR 3.1 – Km 34	31,1	3,12	2,15
10--20	BR 3.2 – Km 34	28,7	3,03	2,16
20-30	BR 3.3 – Km 34	24,5	3,01	2,09
Média		28,1	3,05	2,13

Fonte: Autores (2017).

Perfil esquemático do solo

Fazendo uma reprodução dos perfis de solo num único perfil (média), verificou-se que no horizonte O, A e B, o solo apresentou texturas variando de argilosa a muito argilosa, com horizontes variando ainda de franco-argilo-siltoso a franco-siltoso, ao passo que à medida que se aproxima do horizonte C, a textura vai variando para o argilo-arenosa (Figura 9).

Figura 9 - Perfil esquemático do solo.



Org.: Autores (2016).

No horizonte C, verifica-se uma textura argilo-arenosa, com coloração mais clara e material mais erodível. Logo, atestou-se que esse horizonte enquanto exposto, combinado com a declividade e o escoamento concentrado oriundo da pista, tornam o ambiente propício para o surgimento de incisões erosivas (sulcos, ravinas e voçorocas).

Conclusões

Ao longo da rodovia BR-174, os aspectos ambientais indicaram a predominância do Latossolo Amarelo, com textura variando de argilosa a muito argilosa em áreas de floresta primária, e de argilo-siltosa a argilo arenoso-siltosa em área degradada. A textura do solo influenciou diretamente sua capacidade de reter água e sua susceptibilidade à erosão. Os altos teores de argila confirmam a presença de Latossolos (solos profundos, bem drenados, com boa estrutura e estabilidade). Observa-se ainda que, com o aumento da profundidade, o percentual de argila tende a aumentar, o que torna os horizontes mais profundos, mais agregados e menos suscetíveis à erosão.

Nas áreas degradadas, foi constatada a exposição do horizonte C e que por ser menos consolidado e apresentar maior teor de areia, torna-se mais vulnerável à erosão. A análise das amostras de solo, tanto em áreas preservadas quanto degradadas, mostrou que a densidade e a porosidade são essenciais para avaliar a funcionalidade ambiental do solo. Solos compactados ou com baixa porosidade perdem a capacidade de absorver adequadamente a água da chuva, aumentando o escoamento superficial e, consequentemente, o aumento do processo erosivo e a geração de produtos como as voçorocas.

Agradecimentos

Agradecemos a FAPEAM (Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas) e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio no financiamento desta pesquisa.

Referências

- CANTALICE, J. R. B.; CASSOL, E. A.; REICHERT, J. M.; BORGES, A. L. O. Flow hydraulics and sediment transport in rills of a sandy clay loam soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.1, p. 597-607, 2005.
- CARVALHO, D. P.; MOLINARI, D. C. Caracterização das voçorocas na BR 174: Trecho Manaus – Presidente Figueiredo (Amazonas). **Revista Geográfica Acadêmica**, Roraima: Editora da UFRR (Universidade Federal de Roraima), v.8, n.2, p. 5-19, 2014.
- CARVALHO, D. P. **Caracterização geológica geomorfológica da BR 174 (trecho Manaus-Presidente Figueiredo), (AM)**. 2013. 47f. Relatório (Projeto de Pesquisa). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.
- CARVALHO, D. P. **Ocorrência de voçorocas na BR-174, trecho Manaus -Presidente Figueiredo- AM:** gênese, morfologia e previsão de riscos. 2017. 131f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

CLIMATEMPO. Clima e Previsão do Tempo, Climática, Climatologia de Manaus e Presidente Figueiredo, BR, 2024. Disponível em <https://www.climatempo.com.br/climato_logia/25/manaus-am>. Acesso em: 23/08/2024.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Programa Geologia do Brasil. Levantamento de Geodiversidades. In: MAIA, M. A. M. (org.). **Geodiversidade do Estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010, nº1, p. 1-282.

DANTAS, M.; MAIA, M. A. M. Compartimentação Geomorfológica. In: MAIA, M. A. M. (org.). **Geodiversidade do Estado do Amazonas**, Manaus: CPRM, 2010, nº 1, p. 28-44.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Rio de Janeiro: Editora do Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS), 1997, 2^a ed., p. 1-212.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. **Solos frágeis:** caracterização, manejo e sustentabilidade. Brasília: Editora Embrapa, 2015, p. 1-370.

GALLO, A. S.; GUIMARÃES, N. F.; FONTANETTI, A.; STOLF, R. Resistência à penetração em solo sob diferentes coberturas vegetais. **Cadernos de Agroecologia**, Pernambuco, vol.10, nº 3, p. 1-7, 2015. Disponível em <<https://revista.abaaagroecologia.org.br/cad/article/download/18250/>>. Acesso em 09/08/2024.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In.: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1999, n.8, p. 1-340.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: Guerra, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia:** uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 7. ed., 2008, p. 1-474.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia (2^a edição)**. Rio de Janeiro: Editora IBGE, 2007, p.1-316.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa do estado do Amazonas: Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em <https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/geomorfologia.html>. Acesso em 10 jul. 2024

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa do estado do Amazonas: Vegetação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/vegetacao.html>. Acesso em: 9 ago. 2024.

KOPPEN, W. **Climatología:** con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948, p. 1-479.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de pedologia**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2011, p. 1-310.

LIMA, L. S. da. **Caracterização dos canais incisos da BR-174:** trecho Manaus a Presidente Figueiredo (AM). 2013. 47f. Relatório (Projeto de Pesquisa). Universidade Federal do Amazonas, 2013.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. England: Blackwell, 2005, p. 1-208.

MULLER, A. J.; CARVALHO, A. S. Uso de Produtos CERBS para o Zoneamento Geoambiental de Presidente Figueiredo – Amazonas. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia, 2005. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia: INPE, 2005, p. 1035-1043.

PEREIRA, L. S.; JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T.; LAGO, T. Diagnóstico de processo hidro-erosivo em área degradada por meio de monitoramento de estação experimental em Ubatuba/SP. **Revista GEONORTE, Edição Especial 4**, Manaus, v.10, n.10, p. 228– 234, 2014. Disponível em < <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revistageonorte/article/view/1717>>. Acesso em: 14/07/2024.

PEREIRA, L. S.; RODRIGUEZ, A. M. JORGE, M. C.; GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A. Processos hidro-erosivos em solos degradados em relevo de baixa declividade. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 17, n.2, p. 299-316, 2016. Disponível em < <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/877>>. Acesso em 10/08/2024.

REICHARDT, K. **Água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Editora Manole, 1990, p. 1-188.

SILVA, A. S. da. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2010, cap. 2 (6^a ed.), p. 1-188.

TAVARES, J. S. **Análise da ocorrência de voçorocas na BR – 174**: trecho Manaus – Presidente Figueiredo. 2010. 21f. Relatório (Projeto de Pesquisa). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2010.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Rio de Janeiro: Editora Contexto, 2001, p. 1-944.

VIEIRA, A. F. G.; ALBUQUERQUE, A. R. da C. Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: BR-174. In: V SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA e I ENCONTRO SUL-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, Santa Maria (RS), 2004, Santa Maria - RS. **Anais do V Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2004. p. 50-65.

VIEIRA, A. F. G.; MOLINARI, D. C. Dinâmica Erosiva em estradas: BR-174 e Urucu (Amazonas). In: II SIMPÓSIO DE SOLOS E EROSÃO DO CENTRO-OESTE, Goiás, 2005. **Anais do II Simpósio de solos e erosão do Centro-Oeste**. Goiás: Departamento de Engenharia Civil da UFG, 2005, p. 1-25.

USDA - United States Department of Agriculture. **Soil survey manual**. Washington, DC, USA, Soil Survey Division Staff, (Handbook, 18), p. 1-437, 1993. Disponível em < <https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/soil-survey-manual>>. Acesso em: 01 mar. 2024.