



Environmental Diagnosis Map of two degraded áreas: Capoeira and Older Pasture in Porto Velho – RO.

José Rafael Pimentel Barata¹ Eliomar Pereira da Silva Filho²

¹ Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Rondônia; Bacharel em Gestão Ambiental pela Faculdade Interamericana de Porto Velho (UNIRON); Técnico em Agrimensura pelo Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Tem experiência na área de Ciências Ambientais, com ênfase em Ciências Ambientais, atuando principalmente nos seguintes temas: Processos Erosivos, Erodibilidade, Geoprocessamento e Análise Física dos solos.

² Professor Titular da Universidade Federal de Rondônia. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Pedologia, Processos Geomorfológicos e Hidrologia, atuando principalmente nos seguintes temas: Compactação e erosão de solos, Meio Ambiente com Ênfase na Qualidade de Água, Mudança de Uso da Terra e Implicações Fluviais, Bacias Hidrográficas e Planejamento Ambiental.

Artigo recebido em 06/01/2022 e aceito em 05/07/2022

ABSTRACT

Compaction is a question that makes the soil environmentally fragile, preventing root growth, due to soil erosion, which causes both reduced water absorption and soil degradation. Through the compaction study of two areas in the municipality of Porto Velho (here, it is RO) – being an area of unmodified scrub for approximately 30 years and a pasture area – an environmental fragility map was drawn, analyzing the parameters of density, porosity, RSP (Soil Resistance to Porosity) and organic material (OM). With this parallel, the difference between the two areas was inferred, in order to verify the processes and differences of the soil in each terrain.

Mapa de diagnostico ambiental de duas áreas degradadas: Capoeira e Antiga pastagem em Porto Velho- RO.

RESUMO

A compactação é um problema que fragiliza ambientalmente o solo, impedindo o crescimento radicular, em decorrência da erosão do solo, que causa tanto a redução de absorção de água quanto a degradação do terreno. Através do estudo de compactação de duas áreas no município de Porto Velho (RO) – sendo uma área de capoeira não modificada por aproximadamente 30 anos e uma área de pastagem – traçou-se um mapa de fragilidade ambiental analisando os parâmetros de densidade, porosidade, RSP (resistência do solo à porosidade) e concentração de material orgânico (MO). Com este paralelo, inferiu-se a diferença entre as duas áreas, a fim de verificar os processos e as diferenças do solo em cada terreno.

Introdução

Nos últimos 60 anos a cidade de Porto Velho passou por diversos períodos de expansão urbana, resultantes de grandes períodos de migrações de pessoas para a cidade. Somente entre as décadas de 1980 e 2010, houve três *booms* de crescimento populacional, relacionados à exploração mineral e à construção das usinas hidrelétricas do rio Madeira.

Este processo resultou em uma expansão desordenada, associada à falta de planejamento do poder público quanto ao assentamento destes indivíduos. Tal despreparo, somado ao manejo inadequado do uso do solo urbano, influenciou a degradação deste. Segundo Alves (2021), a degradação do solo é um conjunto de processos que resultam na perda da qualidade química, física e biológica, oriundo de causas naturais ou por uso

intenso da leiva em questão, superando a capacidade de sua resiliência do às pressões externas.

Para Guerra et al. (2018 e 2020), a degradação do solo no Brasil tem origem na relação direta de complexos processos que vão da erosão hídrica e/ou eólica até questões geomorfológicas variações climáticas, manejo inadequado do solo e como este aparato de fatores influi no uso.

Este trabalho visa perscrutar a degradação do solo relacionar a influência da microtopografia e dos parâmetros avaliados na perda da qualidade física do solo de duas áreas: a primeira, uma Antiga Pastagem; e a segunda uma área de Capoeira.

Entende-se por *microtopografia* as microvariações topográficas na superfície do solo, possuindo dimensões menores que a sequência da vertente, formando microdepressões e

microelevações, podendo ser resultante de diversas variáveis que alteram a superfície do solo como o pisoteio, a erosão hídrica e as práticas agrícolas (Yong, 1972; Allmaras et al. 1966; Castro et al., 2006; Paz-Ferreiro et al., 2008; Vidal Vázquez et al., 2010; Abrantes; Lima, 2014; Rangel & Guerra, 2018).

A microtopografia foi relacionada com os seguintes índices dotados na pesquisa: Densidade Aparente do Solo, Porosidade Total, Resistência do Solo a Penetração (RSP) e Matéria Orgânica (MO).

Os resultados foram divididos em duas seções – enquanto a primeira descreve a morfologia das áreas, a segunda, mediante correlação dos atributos analisados com a topografia por meio de estatística descritiva. Essa correlação gerou dois mapas de degradação ambiental, modelados em uma superfície de tendência através da interpolação das variáveis, pelo método de interpolação IDW (*Inverse Distance Weighting* – em brasileiro, Inverso da Potência das Distâncias).

Descrição Fisiográfica das Áreas de Estudo

As localidades tomadas como objetos de pesquisa estão localizadas a sul da malha urbana da cidade de Porto Velho, em uma zona rural na bacia hidrográfica do Igarapé Bate Estaca. Nas proximidades da estrada da “Coca-Cola”, há o predomínio de pequenos sítios e chácaras.

O estudo foi realizado no loteamento Terra Nova, na Gleba Candeias, na Chácara Macadâmia, lote 19, quadra 5, localizada no paralelo 8° 50' 20”, latitude sul e o meridiano 63° 53' 51” longitude oeste. Para a pesquisa foram selecionadas duas áreas: uma Antiga Pastagem e uma área de Capoeira. A primeira é situada em 8° 50' 27” latitude sul e 63° 53' 58” longitude oeste, enquanto a área de capoeira é situada nas coordenadas 8° 50' 29” latitude sul e 63° 53' 54” longitude oeste (Figura 1).

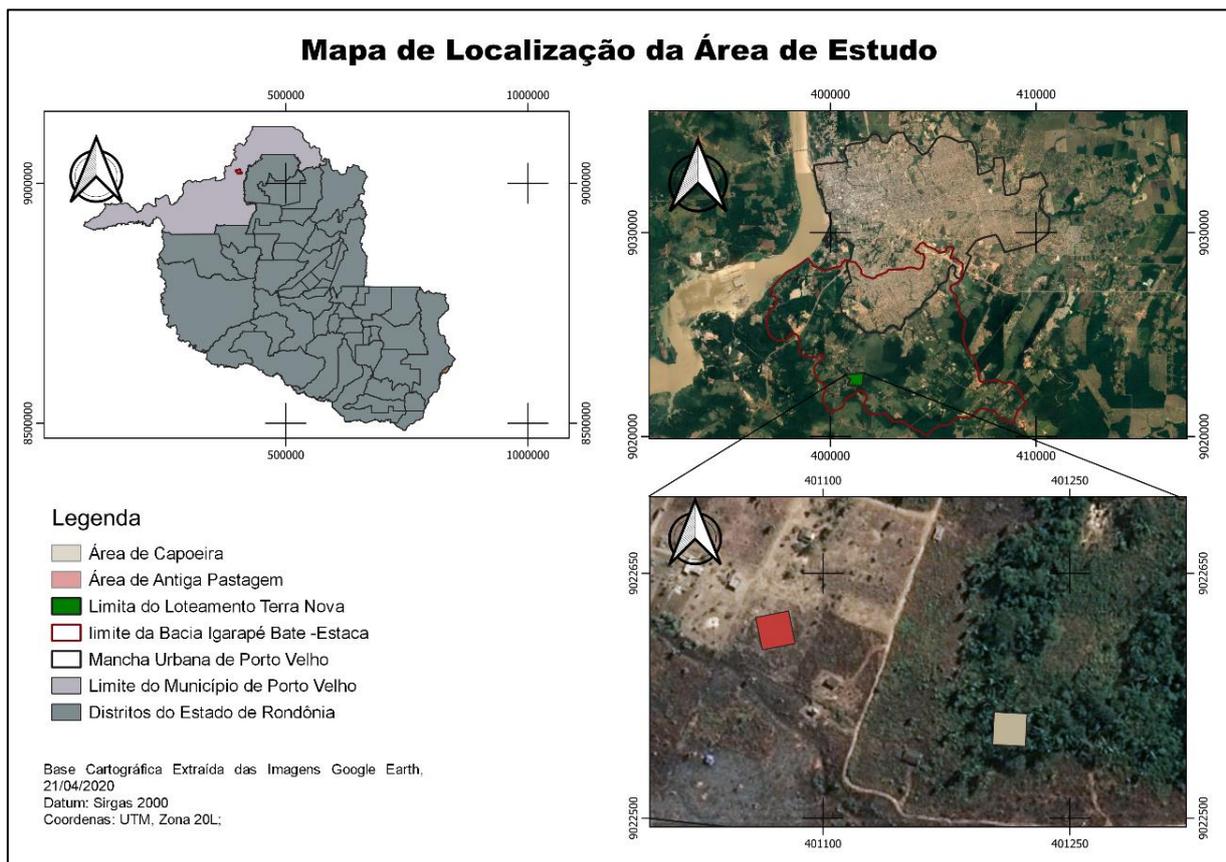


Figura 1. Mapa de localização.

O material de origem da região é constituído de rocha metafóricas do complexo Jamari, comuns a todo o estado de Rondônia, como: granitoides folheados, gnaisses, migmatitos,

anfíbolitos e granulitos (Isotta et al., 1978; Quadros, 2007). A área de estudo se situa em uma zona de contato geológico entre as suítes intrusivas de Santo Antônio e a da Serra da Providência. A

suíte intrusiva de Santo Antônio é composta por biotita monzogranito, sieno granito com textura rapakivi e anti-rapakivi, quartzo monzonito, pegmatito e aplito subordinados e diques de diabásio contemporâneos (CPRM, 2012a).

A suíte intrusiva *Serra da Providência* apresenta-se a sudeste da cidade de Porto Velho, estendendo-se até o município de Cadeias do Jamari com discretas ocorrências nas margens do médio curso do rio Madeira (Tassinari et al., 2004; Della Justina, 2009; CPRM, 2007). Composta por granitóides pós-orogênicos a anorogênicos, que são granitos rapakivi (anfíbólio-biotita monzogranito, biotita sienogranito) xenólitos de ortognaises tonalíticos do complexo Jamari (CPRM, 2012a).

O relevo em questão é formado por um modelado dissecado em uma região caracterizada por apresentar tabuleiros de baixa amplitude; em algumas regiões aparecem colinas e morros dissecados de topo planos. A área de estudo possui um relevo bem dissecado com a presença de um morro residual com topo mamelonar. Com altitude média variando entre as cotas 87 e 95 m, com uma declividade classificada como suavemente ondulada e ondulada variando entre 2° e 15° respectivamente.

A composição dos solos da cidade de Porto Velho teve influência de dois agentes naturais. O primeiro é a dinâmica fluvial do Rio Madeira, cuja variação de níveis d'água e carga de sedimento são responsáveis pela formação de solos jovens, por meio das deposições sedimentares a partir do quaternário; O segundo abrange os solos formados em regiões de terra firme, de gênese composta por processos mais complexos de intemperismos, influenciado por alterações climáticas nos últimos

15.000 anos, resultante de alternâncias climáticas interglaciais e glaciais. O solo é bem drenado, profundos e intemperizados como é o caso da latossolo vermelho amarelo presente em todo o núcleo urbano da cidade de Porto Velho. Rondônia (2002).

Segundo Adamy (2010), os latossolos vermelho e amarelo são solos de em a matriz de cor variando entre 2,5YR e mais vermelhas que o matiz 7,5 YR na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). O autor destaca, ainda, que são solos de boa drenagem interna, boa aeração e ausência de impedimentos físicos à mecanização e à penetração de raízes.

O clima da cidade de Porto Velho é classificado como Aw (Clima Tropical Chuvoso), com precipitação anual variando entre 2.200 a 2.300 mm, com estação seca entra os meses de junho a setembro, e seus maiores índices pluviométricos de novembro a março. Bezerra, Dantas e Trindade (2010) notam que estes meses têm uma sazonalidade rígida devido ao sistema atmosférico de meso-escala, concentrando o período chuvoso entre os meses de dezembro a março de estiagem nos meses de junho a agosto, com precipitação mensal inferior a 50 mm.

Referencial teórico

Metodologia

Foram selecionadas duas áreas de posições iguais na paisagem, localizadas no terço médio de uma vertente, com uma diferença de nível de 8 metros. Em cada área foi delimitado um "gride" com vinte e cinco pontos georeferenciados. A dimensão dos grid's é uma malha de 25 x 25 m com espaçamento regular de 5 m (Figura 2).

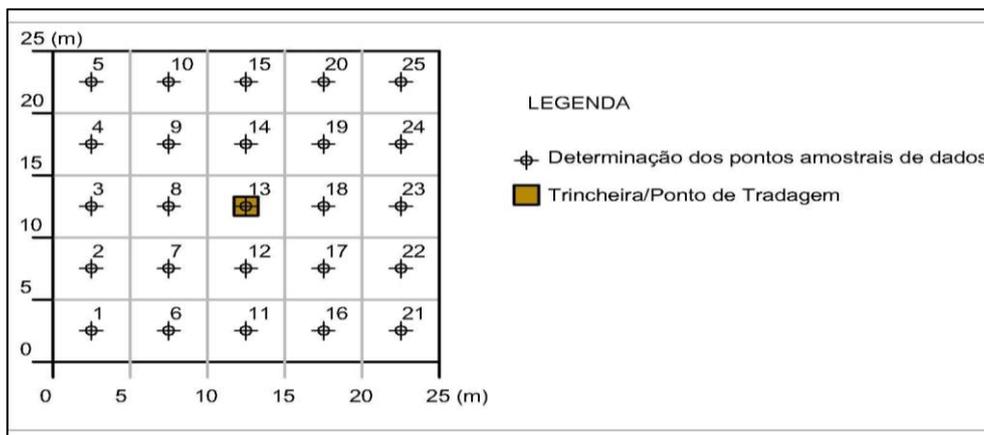


Figura 2. Determinação dos pontos amostrais de dados e dimensão dos grids utilizados nas áreas tomadas como objetos de estudo.

Utilizou-se, para o georeferenciamento, o GPS Garmim eTrex 20x, no qual foram cadastrados os dois pontos. A partir dessas coordenadas desses pontos foi calculada a distância, pelo método de interseção linear normalizada pelo INCRA (2013b); já o rumo

magnético e o azimute entre os pontos, segundo as equações descritas em Veiga et al. (2012), com o intuito de diminuir a margem de erro dos aparelhos GPS.

Primeiro calculou-se a distância entre dois pontos registrados no GPS, vide Equação 1:

$$DH = \sqrt{(E2 - E1)^2 \times (N2 - N1)^2}$$

Em seguida foi calculado o rumo magnético e a partir do rumo. Como visto na equação 2, usada para o cálculo do azimute entre os pontos de referência:

$$\text{Rumo magnético} = \text{TAN}^{-1} \frac{(E2 - E1)}{(N2 - N1)}$$

Calculo do Azimute:

1. 1º Quadrante = Rumo Magnético;
2. 2º Quadrante = 180º - Rumo Magnético;
3. 3º Quadrante = 180º + Rumo Magnético;
4. 4º Quadrante = 360º - Rumo Magnético.

Usando como referência a coordenada do ponto A1, foram recalculadas as coordenadas dos demais pontos da linha, aplicando as seguintes fórmulas apresentadas nas equações 3 e 4:

$$E_A = \text{SENAZ} \times DH + E/A1'$$

$$N_A = \text{COSAZ} \times DH + N/A1'$$

Nas duas áreas foram abertas trincheiras conforme método de IBGE (2015), de dimensão 100 x 100 x 60 cm, e no centro foram tradados mais 40 cm, até atingir a profundidade de 100 cm. Os perfis de solos foram caracterizados morfologicamente e amostras de camadas a cada 20 cm foram coletadas, e nelas foram realizadas análises granulométrica e posteriormente classificadas quanto a textura das camadas.

A granulometria foi realizada pelo método da pipeta (Embrapa, 1997). Este método utiliza a solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico, que aumenta a velocidade de decantação das partículas de solo dispersas em água, após a agitação mecânica. A argila é separada por sedimentação, a areia por tamisação e o silte é determinada pelo cálculo da diferença entre o peso total o volume de argila e da areia. Também foi de terminada a argila dispersa em água e calculado o grau de floculação, segundo o método da Embrapa (idem).

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, conforme, segundo Embrapa (ibidem). A porosidade total foi calculada por meio dos dados o anel volumétrico, que é dada pela diferença entre o peso da massa de solo saturado com água e o peso da massa do solo seco em estufa a 105º C por 24 horas (Op. Cit.).

Para determinação do teor de umidade, a metodologia empregada foi a de secagem em estufa, a 105º C, por 24 para secar as amostras (Op. Cit.). Para a determinação da resistência do solo à penetração foi utilizado o aparelho “Penetrômetro de impacto” (modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF), segundo método Stolf et al. 1983 e Stolf e Faganello (1983). Os valores da resistência do Solo a Penetração (RP), se deu pela transformação da penetração (cm/impacto) da haste do aparelho no solo em resistência a penetração, obtidos pela aplicação da equação desenvolvida por Stolf (1991):

$$RP = \{ \{ 5,581 + 6,891 \times \left[\frac{N}{P-A} \right] \times 10 \} \} \times 0,0981 \}$$

Onde:

RP = resistência do solo a penetração (Mpa);

N = número de impactos efetuados como martelo do penetrômetro para obtenção da leitura;

A e P = leituras antes e depois da realização dos impactos (cm). (STOLF et al., 2014; COSTA, 2022).

Após a obtenção dos dados em campo foi avaliada a variabilidade das características descritas acima por meio de estatística descritiva pelo método Tukey. Todas as camadas foram mapeadas e ajustadas ao modelo matemático de interpolação, pelo já citado método da Ponderação do Inverso das Distâncias usando o método da formulação de média ponderada, sugestão de avaliação ambiental. O algoritmo funciona em uma estrutura de matriz, onde cada célula da matriz (ponto de campo) corresponde a uma unidade de avaliação ambiental, Xavier da Silva (1993), Dias et. al. (2011), Zaidan et. al. (2013) e Silva et. al. (2014).

Hernandez et.al. (2020) notam que, no referido procedimento, pesos são atribuídos aos pontos amostrados, variando de acordo com distância em que estão a um ponto de valor

desconhecido. A partir da interpolação dos dados de campo, foram confeccionados os mapas adotando os seguintes parâmetros: (a) a densidade e RSP estimadas usando como parâmetro do índice de restrição ao crescimento radicular considerado por Doran et al. (1996); (b) a porosidade aferida segundo os valores considerados por Andrade & Stone (2009) em diagnóstico da qualidade física de solos do cerrado; (c) MO avaliada conforme os valores estipulados pelo laboratório de solos da Embrapa/RO, conforme tabela 1. Portanto, estabeleceram-se 3 classes a partir da combinação destes parâmetros.

Por fim serão apresentados os mapas de degradação resultantes da vetorização das imagens Raster resultante da interpolação por IDW, por meio do programa Qgis.

Tabela 1. Indicadores Ambientais.

Indicador	Ds (g/cm ³)	Pt (%)	RSP (Mpa)	MO (g/kg)
Baixa degradação	≤ 1,0	> 52	≤ 2	≤ 17
Média degradação	1,0 a 1,4	40 a 52	2 a 3,6	17 a 35
Alta Degradação	>1,4	≤ 40	> 3,6	>35

Resultados e discussão dos Atributos Morfológicos

Constatou-se que as duas áreas analisadas apresentam características de solos compactados e ou adensados com valores considerados restritivos para o crescimento radicular nas camadas 0 a 40 cm.

Na área de antiga pastagem o solo é bem drenado, de origem autóctone de consistência consolidada, de característica não pedregosa e sem a presença de afloramentos rochosos, o relevo da propriedade possui 7,5% de inclinação, sendo classificado como suavemente ondulado.

Esta área possui coloração úmida de tons Brunados de matriz 7,5YR, de valor oscilante entre 4 e 5, e a croma variando entre 4 e 8. Nenhuma das camadas analisadas apresenta mosqueados, com macroestruturas em blocos granulares e subangulares; apresentando uma coesão de grau moderada. A umidade natural variou entre 18 e 24% em todas as camadas. A classe textural das

camadas 0-20 e 21-40 cm foi a argiloarenosa, enquanto as camadas subsequentes foram classificadas como argilosa, o que corrobora com a classificação apresentada em Rondônia (2002) e CPRM (2012b) que classificam a área como solo de textura argilosa.

Na Figura 3 identificou-se, em campo, a presença de pelo menos quatro horizontes na trincheira, de transição clara e de topografia ondulada nos dois primeiros horizontes, e de topografia plana e transição abrupta entre os horizontes A e B. A fração argila predomina em todo o perfil, apresentando um incremento de 16% entre as camadas 0-20 cm e 80-100 cm. apresentando uma tendência é inversamente proporcional no referente a fração de areia que tem uma redução de 16% na sua concentração, em comparação com as duas camadas supracitadas. A fração silte encontra-se praticamente constante no perfil, exceto na camada 41-60 que apresenta o menor índice de silte entre as camadas analisadas.

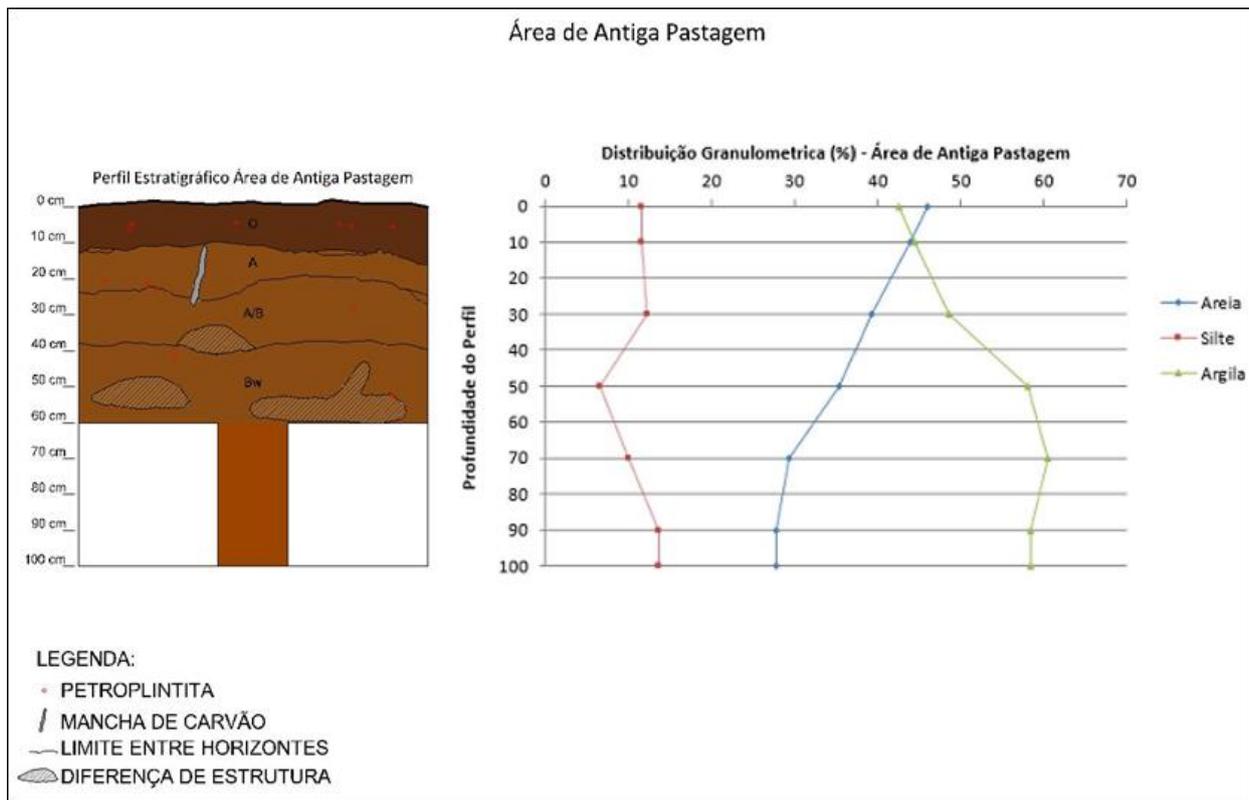


Figura 3. Porcentagem de distribuição granulométrica na área da Antiga Pastagem.

A área apresenta cobertura vegetal de médio porte. O solo é bem drenado de origem autóctone de consistência consolidada, de característica não pedregosa e sem a presença de afloramentos rochosos. O relevo possui declividade de 8,3% de inclinação, sendo classificado também como suavemente ondulado

Já a área de Capoeira apresenta cores. Quando úmida, vê-se uma coloração bruna de matriz 7,5YR; os índices quanto ao valor variaram entre 3 e 6 e a croma variando entre 3 e 8. Além de não apresentar mosqueados nas camadas analisadas, sua macroestrutura variou entre granular grumosa e subangular. A umidade natural variou entre 24 e 27 % em todas as camadas. As classes texturais foram argiloarenosa na camada superficial e argilosa nas camadas subjacentes –

também em acordo com Rondônia e CPRM (Op. Cit.).

Na Figura 4 revela-se a presença de, pelo menos, três horizontes. Entre os horizontes “O e A” uma transição Clara e topografia Ondulada. A transição entre os horizontes “A e B” é classificada como Abrupta e de topografia ondulada. Com relação à análise granulométrica, a área de capoeira apresenta uma maior concentração de areia em superfície, mantendo uma tendência do aumento da concentração de argila conforme o aprofundamento do perfil, com um incremento de 21% entre as camadas 0-20 cm e 81-100 cm. O comportamento da fração areia também se demonstra similar ao da área de antiga pastagem, com uma redução de 20% na sua concentração com aprofundamento do perfil. A fração silte mantém-se constante no perfil.

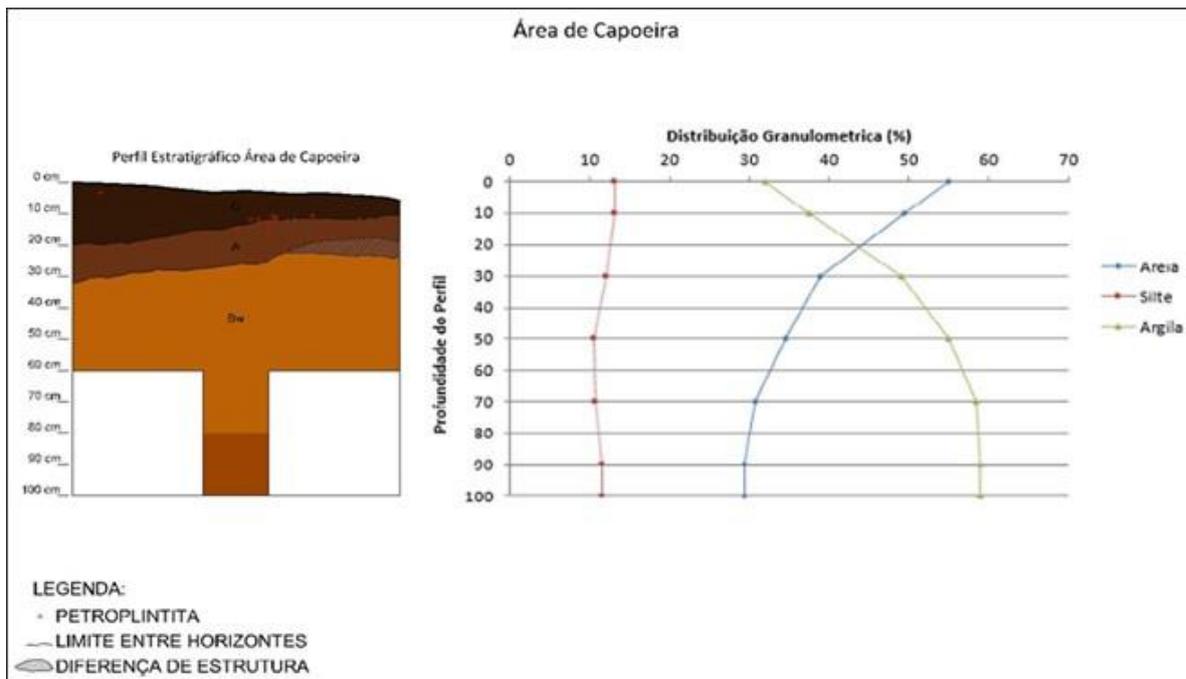


Figura 4. Porcentagem de distribuição granulométrica na área de Capoeira.

Atributos Físicos

Os resultados da estatística descritiva dos atributos físicos do solo analisados nos grid's serão apresentados na tabela 2. Os valores de tendência central média e mediana apresentam valores próximos.

Os valores médios de Ds encontrados nas áreas de antiga pastagem e de capoeira foram 1,27 g/cm³ e 1,26 g/cm³, respectivamente, em superfície. Na camada 21-40 os índices foram de 1,48 g/cm³ na área de antiga pastagem e 1,46 g/cm³ na capoeira.

Esses identificadores de densidade divergem dos encontrados por Silva Filho (2009) que, analisando a degradação em um latossolo amarelo em área de floresta e pastagem, encontrou valores médios de 1,148 g/cm³ na floresta e 1,585 g/cm³ no pasto. Brito (2021), perscrutando as alagações em uma área piloto na cidade de Porto Velho, analisou um latossolo vermelho amarelo, com densidade média correspondente a 1,21 g/cm³.

Não existe um consenso a respeito do valor da densidade como restritivo ao crescimento radicular. Doran et al. (1994), por exemplo, estipulam um valor de densidade aparente mínima de 1,40 g/cm³, como sendo o índice restritivo ao crescimento radicular em solos de textura argilosa. Entretanto, De Maria et. al. (1999) e Guimarães e Moreira (2001) pontuam índices de Ds acima de 1,2 g/cm³ como restritivos para crescimento radicular. Portanto, os valores encontrados nas duas áreas já apresentam uma tendência restritiva ao desenvolvimento de raízes.

Os índices médios de Pt encontrados na área de antiga pastagem foram 30% em superfície e 18% na camada 21-40 cm; na área de antiga pastagem esses valores foram de 34% e 19% respectivamente. Andrade & Stone (2009) estimaram que, para solos do Cerrado, a Pt deve ser de 53% para solos de textura muito argilosa e 51% para solos argilosos, o demonstra a baixa Pt das áreas pesquisadas.

Segundo Doran et al. (1994), o RSP equivalente a 3,6 MPa ocasiona em restrições para o crescimento radicular em solo cultivável, e em solos não cultiváveis esse índice é de 5 Mpa. Os valores médios de RSP na camada superficial variaram entre 3,34 MPa na área de antiga pastagem e 4,79 MPa na área de capoeira. Os valores médios de RSP na camada 21-40 cm variaram entre 2,72 MPa na área de antiga pastagem e 4,84 Mpa na área de capoeira. No mais, os autores ainda ressaltam que, em algumas culturas anuais, esse valor gira em torno de 2 MPa e culturas com restrições abaixo de 1 Mpa podem ser consideradas pequenas.

A compactação do solo pode não afetar diretamente o crescimento radicular, mas impacta em outras estruturas da planta, tais como: a diminuição do número de folhas, altura da planta, massa de matéria seca de raízes e caule, Silva et al. (2021) citando Queiroz-Voltan et al. (2000).

A MO apresenta valores de baixa concentração em ambas as áreas com as médias de 8,6% em superfície e 8,9% na camada 21-40 cm.

Na área de antiga pastagem, esses índices foram 9,52% em superfície e 9,72% na camada 21-40 cm.

Mapa de Diagnóstico Ambiental.

Para a avaliação usamos os dados da densidade, porosidade, RSP e concentração de MO. Outros possíveis indicadores, como a textura e a infiltração, não entraram no diagnóstico por não ter sido analisados em os pontos. A apreciação das variáveis foi feita inicialmente através da análise individuais dos atributos, onde cada um possui o peso de 0,25 – ou seja, 25% da nota final.

Na Tabela 2, são listados os resultados da análise da área de antiga pastagem.

A área de antiga pastagem possui um solo de textura argiloarenosa e argilosa. Solos mais argilosos possuem menor densidade e menor porosidade, esse efeito reflete na presença de solos impermeáveis e suscetíveis compactação. A consistência do solo analisado foi quando seca ela é dura e quando úmida é firme, podendo ser um indicativo do grau de coesão e adesão do solo, o que é comum em solos com uma alta concentração de argila.

A estrutura em superfície foi classificada como granular, o que é comum em solos de maior

concentração de MO. As camadas 21-40 cm e 41-60 cm apresentaram uma estrutura de blocos subangulares, classificados quanto à coesão como de grau moderada, de tamanhos variando entre médios a grandes. Martins et al. (2006) definem que solos com fraco desenvolvimento estrutural estão associados a uma baixa permeabilidade, geralmente é um indicativo para solos adensados.

Na densidade média do solo nas camadas de 0-20 cm foi de 1,45 g/cm³ e na camada 21-40 cm esse índice foi de 1,48 g/cm³. Acima de 1,40 g/cm³ estipulados por Doran et.al. (1994) como restritivo ao crescimento radicular. A porosidade total média na área de antiga pastagem foi de 30% na camada superficial, reduzindo para 18% na camada 21-40 cm. Esses fatores influenciam no resultado da resistência do solo à penetração.

Montinari et al. (2010) e Tezolin et al. (2021) ressaltam que a diminuição da Pt, associada ao aumento dos índices da Ds, indicam a compactação do solo devido a modificação em sua estrutura. No Gráfico 1 serão demonstrados os índices médios de RSP.

Tabela 2. Resultados da análise da área de Antiga Pastagem.

Ponto	Ds (g/cm ³)	Nota	Pt (%)	Nota	RSP (Mpa)	Nota	MO (g/kg)	Nota	NDA
A1	1,49	10	31	10	2,82	8,80	8,80	10	7,51
A2	1,52	10	18	10	3,11	9,05	9,05	10	7,74
A3	1,44	10	28	10	2,62	9,75	9,75	10	7,36
A4	1,56	10	24	10	3,46	9,70	9,7	10	8,01
A5	1,40	10	29	10	3,64	10,0	8,65	10	8,12
B1	1,43	10	34	10	2,45	6,42	8,75	10	7,23
B2	1,51	10	16	10	3,09	8,42	9,55	10	7,73
B3	1,48	10	24	10	3,22	8,81	10,50	10	7,83
B4	1,54	10	28	10	2,90	7,81	9,80	10	7,56
B5	1,34	9,08	30	10	3,69	10	8,10	10	7,89
C1	1,48	10	22	10	2,51	6,61	8,55	10	7,28
C2	1,43	10	19	10	3,00	8,12	9,75	10	7,66
C3	1,52	10	21	10	2,48	6,50	9,80	10	7,25
C4	1,56	10	18	10	3,19	8,72	8,80	10	7,80
C5	1,56	10	23	10	3,32	9,12	8,20	10	7,90
D1	1,55	10	26	10	3,12	8,51	8,20	10	7,75

D2	1,43	10	29	10	2,88	7,76	9,20	10	7,57
----	------	----	----	----	------	------	------	----	------

Tabela 2. Resultados da análise da área de Antiga Pastagem.

Ponto	Ds (g/cm ³)	Nota	Pt (%)	Nota	RSP (Mpa)	Nota	MO (g/kg)	Nota	NDA
D3	1,53	10	22	10	3,07	8,34	9,10	10	7,71
D4	1,55	10	26	10	2,39	7,76	9,25	10	7,57
D5	1,39	9,94	28	10	3,41	9,42	8,80	10	7,96
E1	1,56	10	21	10	3,07	8,34	8,40	10	7,71
E2	1,52	10	26	10	2,69	7,17	9,00	10	7,42
E3	1,47	10	25	10	3,04	8,25	8,45	10	7,69
E4	1,46	10	20	10	2,13	8,54	9,05	10	6,76
E5	1,48	10	16	10	2,94	7,95	8,40	10	6,61

A Ds na área de antiga pastagem apresentou valores médios superiores a 1,4 g/cm³, significando que há restringência ao crescimento de raízes. Esse índice influenciou na Pt que apresenta em todos os pontos analisados valores inferiores a 40%. A RSP apresenta valores médios na maioria dos pontos, o que influenciou a classificação da degradação. A MO apresenta valores baixos em todos os pontos. Na figura 5 apresenta-se o mapa da área de pastagem.

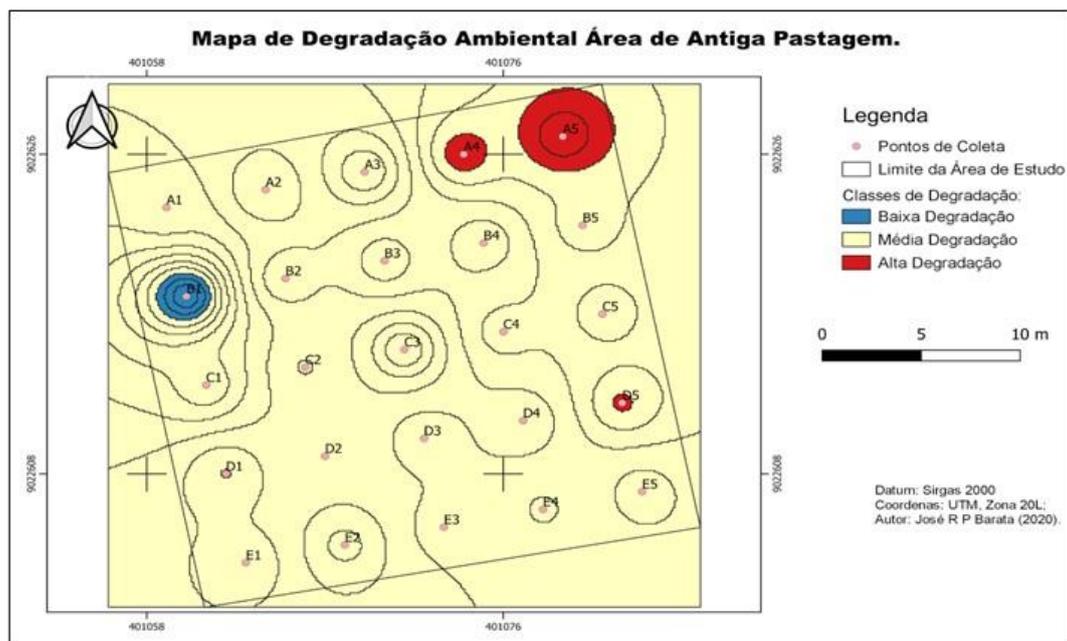


Figura 5. Mapa da degradação ambiental na área da Antiga Pastagem.

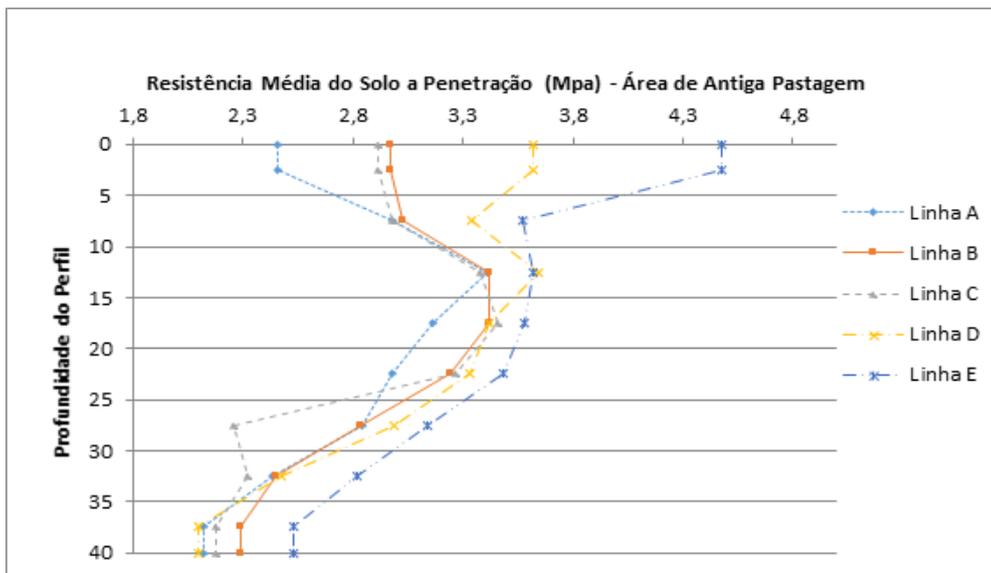


Gráfico 1. Diagrama de resistência média do solo à penetração (Mpa) na Área de Antiga Pastagem.

Este gráfico apresenta os valores médios por linha da área de antiga pastagem. Os pontos de 1 a 15 apresentam valores a baixos de 3 MPa em superfície; esse índice aumenta de forma gradual entre a profundidade 10 cm e 20 cm, ficando com um RSP acima de 3,6 MPa, que Doran et. al. (1994) estipulam como restritivo para o crescimento radicular. A camada 21-40 cm apresenta uma diminuição da RSP com uma média de 2,63 MPa. Os pontos 16 a 25 possuem valores acima de 3,6 Mpa em superfície, apresentando a diminuição desse índice até a profundidade de 10 cm, porém mantém a tendência da alta RSP até a profundidade 20 cm, como nas outras linhas a camada 21-40 cm demonstra uma diminuição RSP com uma média de 2,86 Mpa.

Na Tabela 3 serão apresentados os resultados da análise da área de capoeira.

Esta localidade apresenta melhoria nos índices de DS, PT e MO. Porém, o elevado valor da RSP influenciou o resultado da avaliação. A área apresenta uma densidade média de 1,36 g/cm, classificada como média degradação; a Porosidade Total possui um índice médio de 27%, também muito abaixo de 40% que é considerado como indicativo de alta degradação. A RSP apresenta um valor médio de degradação de 4,82 Mpa, índice restritivo ao crescimento radicular; a MO possui um valor baixo de concentração, sendo considerado com de alta degradação.

Tabela 3. Resultados da análise da área de Capoeira.

Ponto	Ds (g/cm ³)	Nota	Pt (%)	Nota	RSP (Mpa)	Nota	MO (g/kg)	Nota	NDA
A1	1,345	9,31	26	10	6,46	10	9,00	10	7,95
A2	1,420	10	27	10	5,04	10	8,50	10	8,12
A3	1,355	9,44	28	10	5,33	10	9,00	10	7,98
A4	1,355	9,44	34	10	5,73	10	9,00	10	7,98
A5	1,350	9,38	28	10	4,25	10	8,50	10	7,97
B1	1,445	10	14	10	4,45	10	8,50	10	8,12
B2	1,350	9,38	30	10	7,50	10	8,50	10	9,97
B3	1,320	9,00	28	10	3,51	10	8,50	10	7,80

Tabela 3. Resultados da análise da área de Capoeira.

Ponto	Ds (g/cm ³)	Nota	Pt (%)	Nota	RSP (Mpa)	Nota	MO (g/kg)	Nota	NDA
B4	1,325	9,06	23	10	4,05	10	9,50	10	7,89
B5	1,330	9,13	25	10	3,54	10	9,00	10	7,86
C1	1,400	10	25	10	4,65	10	9,00	10	8,12
C2	1,410	10	32	10	4,73	10	10,00	10	8,12
C3	1,300	8,75	20	10	5,43	10	10,00	10	7,81
C4	1,310	8,88	24	10	5,06	10	9,50	10	7,84
C5	1,445	10	13	10	4,31	10	9,00	10	8,12
D1	1,390	9,88	27	10	4,04	10	8,50	10	8,09
D2	1,355	9,44	30	10	4,60	10	10,00	10	7,98
D3	1,400	10	29	10	5,52	10	10,00	10	8,12
D4	1,410	10	25	10	5,49	10	10,00	10	8,12
D5	1,335	9,19	29	10	4,68	10	9,50	10	7,92
E1	1,370	9,63	26	10	3,40	9	9,50	10	7,87
E2	1,345	9,31	23	10	5,26	10	9,00	10	7,95
E3	1,320	9,00	28	10	4,64	10	10,50	10	7,87
E4	1,315	8,94	32	10	3,48	10	10,50	10	7,76
E5	1,385	9,81	24	10	5,19	10	10,00	10	8,08

A densidade na área de Capoeira apresenta valores melhores em relação à área de Antiga pastagem, a maioria dos pontos analisados não apresentam valores restritivos ao crescimento radicular. O índice de porosidade total se mantém baixo, com todos os pontos possuindo valores inferiores a 40%. A RSP apresenta seus maiores

valores na área de capoeira, demonstrando que mesmo em período de pouso a vegetação de capoeira não foi capaz de restabelecer melhoras na compactação do solo. A MO apresenta uma leve melhora na sua concentração devido ao acúmulo de serapilheira da vegetação local. Na Figura 6 tem-se o mapa da área de Capoeira.

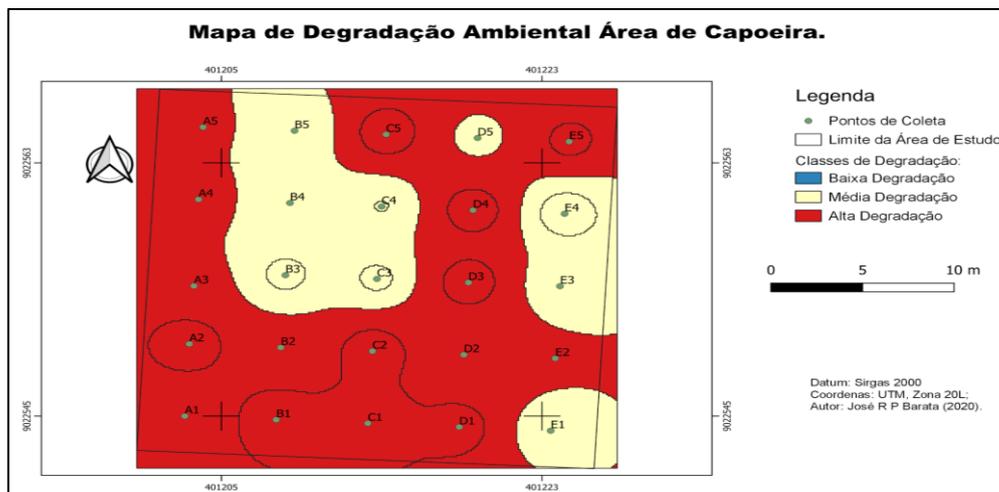


Figura 6. Mapa da degradação ambiental na área da Capoeira.

Conclusão

O solo da área de Capoeira foi classificado como de textura argiloarenosa em superfície e argilosa com aprofundamento do perfil. São solos de consistência quando seca dura, e quando úmida firme, podendo, assim como na área de antiga pastagem, ser um indicativo do grau de coesão e adesão do solo. Mostrar-se como uma estrutura granular grumosa na camada 0-20 cm com uma forte presença de MO influenciado pela serapilheira depositada em superfície. Nas camadas 21-40 cm e 41-60 cm as estruturas são de blocos subangulares de tamanho grande com forte grau de coesão.

Este terreno apresenta índices inferiores de densidade influenciados, provavelmente, pela maior concentração de serapilheira, detectadas pelo índice de densidade na camada 0-20 cm, que apresentou uma densidade média 1,27g/cm³, ficando acima do índice de densidade indicado por

Silva (2001) para solos argilosos que varia entre 1,0 e 1,25 g/cm³. A camada 21-40 cm apresentou uma densidade média de 1,46 g/cm³, média tida como restritiva para o crescimento radicular, Doran et.al. (1994), Ferreira et al. (2010) e Tezolin et al. (2021) corroboram, em estudos sobre pastagem, que os valores críticos de densidade em solos de pastagem são responsáveis pela restrição ao crescimento radicular.

A Pt média foi 34% em superfície, apresentando um resultado melhor que em comparação da área de antiga pastagem, isso ocorreu devido há maior concentração de areia total associada à maior concentração de MO na camada. Com o aprofundamento do perfil, há um incremento de 12% de argila na camada 21-40 cm, deixando a camada mais impermeável, resultando na diminuição Pt média da camada 21-40 cm, que foi 19%.

Tem-se, no Gráfico 2, os índices RSP.

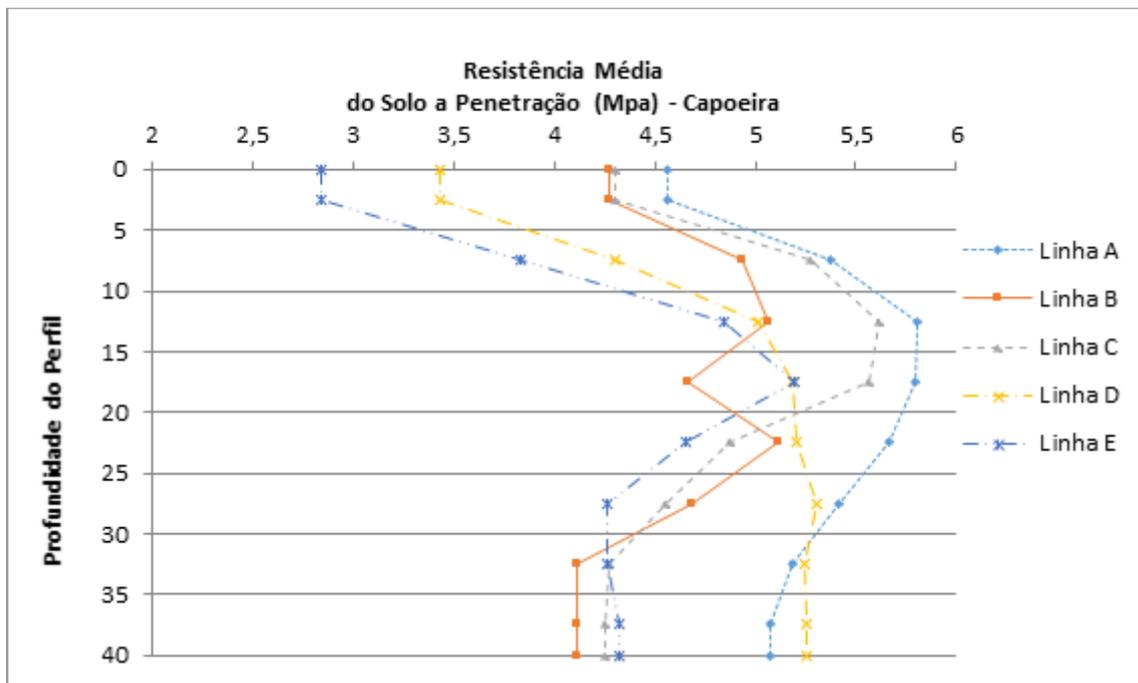


Gráfico 2. Demonstrativo da relação entre a Resistência Média do solo a penetração x Profundidade.

A área de Capoeira apresenta valores médios de RSP superiores a 4 Mpa em todas as linhas na alisadas. Observa-se, neste gráfico, que em todas as linhas, a partir da profundidade 10 cm, a RSP é superior a 3,6 Mpa, valor relacionado como sendo restritivo para o crescimento radicular. Entre as profundidades 10 e 30 cm esse índice chega a 4,5 Mpa em todos os pontos – todavia, os pontos de 1 a 10 e de 16 a 20 apresentam um leve melhoramento com o aprofundamento do perfil, e

os pontos 11 a 15 e 21 a 25 mantêm a RSP acima de 5 Mpa.

As áreas estudadas apresentam indícios de adensamento/compactação do solo. As características como densidade e RSP apontam que, nestas glebas, ocorrem restrições ao crescimento radicular.

A porosidade total na área de Antiga pastagem apresenta baixos índices em ambas as camadas investigadas. Na área de Capoeira a camada 0-20 cm apresentou os melhores valores de

porosidade total. Todavia, a camada 21-40 cm demonstrou uma maior impermeabilidade resultante da maior RSP, conforme visto no gráfico 2.

Os índices de MO são baixos em ambas as áreas, solos com maior concentração de MO apresentam valores menores de densidade devido ao baixo peso específico da MO que é próximo de 0,90 g/cm³ a 1,00 g/cm³ (Torres & Saraiva, 1999). Outra propriedade da MO a ser levada em consideração, é sua capacidade cimentante resultando em uma maior estabilidade dos agregados (Baver et al., 1973; Torres & Saraiva, 1999). A presença destes agregados facilita a circulação hídrica no solo, diminuindo a suscetibilidade dos solos a processos erosivos, além de uma menor resistência do solo à penetração o que auxilia no desenvolvimento radicular. Com isso destaca-se que a baixa concentração de MO influenciou em todos os parâmetros analisados.

O modelo de avaliação ambiental proposto por Xavier da Silva (1993) vale-se do método IDW, comumente associado a grandes extensões de áreas, que se mostrou eficiente em trabalhos em escalas de detalhes. O modelo de superfície criado pela interpolação por meio do método IDW cria uma superfície composta por planos e arestas, gerando um MDE mais realista em mapas diagnósticos em escala de detalhes. Essa forma de análise requer baixo custo e, em áreas pequenas, pode indicar uma maior acurácia no diagnóstico ambiental.

Referências

- Abrantes, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P. Termografia a para determinação da microtopografia da superfície do solo em diferentes condições de cobertura morta. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 9,445-453, 2014.
- Allmaras, R. R.; Burwell, R. E.; Larson, W. E.; Holt, R. F. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. Washington: Agricultural Research Service, 1966. 22p. Disponível em: <https://archive.org/details/totalporosityran07all> m. 29 mai. 2016.
- Alves, R. E. A Relação Entre Agricultura, Degradação Do Solo E Tempestades De Areia. *Revista Ayika*. 01, 50-66. Dez-2021.
- Andrade, R. S.; Stone, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)*, 13, 382-388, 2009.
- Bezerra, R. B.; Dantas, R. T; Trindade, A. G. Caracterização Temporal da Precipitação Pluvial do Município de Porto Velho/RO no Período de 1945 a 2003. *Sociedade & natureza (UFU. Online)*, 22, 609-623, 2010.
- Brito, Denis Lopes De. Estudo do risco de alagações em uma área piloto no bairro Lagoinha em Porto Velho – Rondônia / Denis Lopes de Brito – Porto Velho, RO, 2021.
- Castro, L. G.; Cogo, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30,-352, 2006.
- CPRM, Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. FOLHA SC.20 V-B-V PORTO VELHO. PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASILECARTA GEOLÓGICA - ESCALA 1:100.000. 2012a.
- CPRM, Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. FOLHA SC.20 V-B-V PORTO VELHO. PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO - ESCALA 1:100.000. 2012b.
- Costa, Carlos Matheus Santos da. Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo sob a cultura da soja no cerrado em sistema de plantio direto / Carlos Matheus Santos da Costa. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022 32 f.
- DE Maria, I.C.; Castro, O.M; DIAS, H.S. Atributo físico do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 23:703-709, 1999.
- Della Justina, E. E. Zoneamento Geoambiental da Zona de Amortecimento da Reserva Biológica do Jarú - RO, como Subsídios ao seu Plano de Manejo. Tese de Doutorado. UNESP, Instituto de Geociências e Ciências. 2009.
- Dias, J. E.; Goes, M. H. B. ; Silva, J. X. ; Gomes, O. V. O. . Geoprocessamento Aplicado à Análise Ambiental: O Caso do Município de Volta Redonda-RJ. In: Jorge Xavier -da- Silva; Ricardo Tavares Zaidan. (Org.). Análise Ambiental por Geoprocessamento: Aplicações. 5ed.Rio de Janeiro: BERTRAND BRASIL, 2011, v. , p. 143-177.
- Doran, J.W. & Parkin, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, SSSA, 1994. p.1-20. (Special, 35).
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de

- levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997.
- Ferreira, R. R. M., Tavares Filho, J., & Ferreira, V. M. (2010). Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. *Semina: Ciências Agrárias*, 31(4), 913-932.
- Guerra, A. J. T.; Fullen, M. A.; Bezerra, J. F. R.; Jorge, M. C. O. Gully Erosion and Land Degradation in Brazil: A Case Study from São Luís Municipality, Maranhão State. In: Dagar, J. C.; SINGH, A. K. (Org.). *Ravine Lands: Greening for Livelihood and Environmental Security*. 1ed. Cingapura: Springer Singapore, v. 1, p. 195-216, 2018.
- Guerra, A. J. T. ; Jorge, Maria do Carmo Oliveira ; Rangel, L. A. ; Bezerra, J.F.R. ; Loureiro, H.A.S. ; Garritano, F. N. . Erosão dos Solos, Diferentes Abordagens E Técnicas Aplicadas em Voçorocas E Erosão em Trilhas. *William Morris Davis Revista de Geomorfologia*, v. 1, p. 75-117, 2020.
- Guimarães, C.M.; Moreira, J.A.A. Compactação do solo na cultura do arroz de Terra Alta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36:703-707, 2001.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Manual técnico de pedologia / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 3. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p.
- Hernandez, Paula Gabriela Leal; Athayde, Gustavo Barbosa ; Athayde, Camila De Vasconcelos Muller ; Licht, Otavio Augusto Boni . Efeito da interpolação de dados hidrogeológicos em aquíferos sedimentares: estudo de caso no estado do Paraná. *ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 35, 1-11, 2020.
- INCRA. Manual técnico de posicionamento: georreferenciamento de Imóveis Rurais. 1ed. Brasília: INCRA, 2013b.
- Isotta, C.A.L.; Carneiro, J.M.; KATO, H.T.; BARROS, R.J.L. Projeto Província Estanífera de Rondônia. Relatório Final. Porto Velho: CPRM, 1978. 16v., il. (Convênio DNPM/CPRM).
- Martins, G. C.; SWAMI, Sundari Narayan ; MACEDO, Rodrigo S . Resistência a penetração como indicador da qualidade física do solo na província petrolífera de Urucu-Coarim. In: II Workshop de avaliação técnica e científica - Rede CT-Petro, 2006, Manaus. II Workshop de avaliação técnica e científica - Rede CT-Petro, 2006.
- Montanari, R., de Passos, M., Andreotti, M., Dalchiavon, F. C., Lovera, L. H., & DE Oliveira Honorato, M. A. (2010). Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(6), 1811-1822.
- Paz-Ferreiro, J.; Bertol, I.; Vidal Vázquez, E. Quantification of tillage, plant cover, and cumulative rainfall effects on soil surface microrelief by statistical, geostatistical and fractal indices. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v.15, n.4, p.575-590, 2008.
- Quadros, Marcos Luiz Do Espírito Santo. Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia: Sistema de Informações Geográficas – SIG: Texto Explicativo do Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia/Organizado por Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros [e] Gilmar José Rizzotto. – Escala 1:1.000.000. – Porto Velho: CPRM, 2007. 153p.: (il.).
- Queiroz-Voltan, R. B.; Nogueira, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. de. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 35, 929-938, mai., 2000.
- Rangel, L. A.; Guerra, A. J. T. . Microtopografia e Compactação do Solo em Trilhas Geoturísticas no Litoral do Parque Nacional da Serra da Bocaina - Estado Do Rio De Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 19, p. 391-405, 2018.
- RONDÔNIA, Secretaria de Estado do Planejamento. Plano Agroflorestal e Pecuário de Rondônia – PLANAFLORO (banco de dados geográfico). Porto Velho, 2002.
- Silva F. Eliomar P. S. Estudo da degradação de solos em áreas de pastagens no município de Porto Velho (RO) / Eliomar Pereira da Silva. – Rio Claro : [s.n.], 2009 159 f. : il., fots., tabs., figs., grafs., mapas.
- Silva, N. M. F. ; Marino, T. B. ; Goes, M. H. B. . Geoprocessamento no Apoio à Avaliação da Qualidade de Vida no Município de Seropédica (RJ). In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2014, Gramado - RS. Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2014.
- Silva, S. M. A. ; Locatelli, M. ; Nunes, ADRIANA ; Oliveira, C. P. ; Sampaio, F. A. R. ; Mandu, T. S. . Resistência mecânica do solo à penetração associado à umidade, densidade, Granulometria e Macronutrientes em Ji-Paraná-RO. *Brazilian*

- Journal of Development, v. 7, p. 5629-5647, 2021.
- Stolf, R; Fernandes, J. & Furlani Neto, V.L. Penetrometro de Impacto IAA/PLANALSUCAR – Stolf; recomendacao para seu uso. STAB, Piracicaba, 1 (3): p18 – 23. 1983.
- Stolf, R. & Faganello, B. F. Utilizacao do penetrometro de impacto IAA/PLANALSUCAR – STOLF, na recomendacao do preparo do solo na Usina Nossa Senhora Aparecida, (Pontal, S.Paulo). STAB, Piracicaba 1(6): 11 – 23. 1983.
- Stolf, R. Teoria e teste experimental de formula de transformacao dos dados de penetrometro de impacto em resistencia do solo. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 15; set/dez; p.229 – 235. 1991.
- Stolf, R.; Murakami, J.H.; Brugnaro, C.; Silva, L.G.; Silva, L.C.F.; Margarido, L.A.C. Penetrômetro de impacto Stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 38, 774-782, 2014.
- Tassinari C. C. G., Macambira M. J. B. A Evolução Tectônica do Cráton Amazônico. In: Geologia do Continente Sul-Americano. São Paulo, Ed. Beca, 2004.
- Tezolin, Thiara De Azevedo ; Monteiro, Felipe Das Neves ; Falcão, Karina dos Santos ; Menezes, Roniedison da Silva ; Ximenes, Thiago Sandim ; Panachuki, Elói ; Carvalho, Laércio Alves de . Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de produção agropecuária. RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, 10, p. e5110111278, 2021.
- Veiga, Luis A.K.; Zanetti, Maria A.Z.; FAGGION, PEDRO L. – Fundamentos de Topografia, 2012.
- Xavier-da-Silva, J., Carvalho Filho, L.M. Sistemas de informação geográfica: uma proposta metodológica. IV Conferência latino-americana sobre sistemas de informação geográfica. 2o Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 7 a 9/07/1993. Anais. São Paulo, 1993, p. 608-629.
- Vidal Vázquez, E.; Vivas Miranda, J. G.; PAZ-Ferreiro, J. A multifractal approach to characterize cumulative rainfall and tillage effects on soil surface micro-topography and to predict depression storage. Biogeosciences, v.7, n.10, p.2989-3004, 2010.
- Yong, A. Slopes. Logman Londres, 1972, 201-204p.
- Zaidan, R. T.; Xavier DA Silva, J. . Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento de Áreas com Necessidade de Proteção: O Caso do Parque Estadual do Ibitipoca - MG. In: Jorge Xavier-da-Silva; Ricardo Tavares Zaidan. (Org.). Geoprocessamento e Análise Ambiental: aplicações. 7ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013,1, 31-65.