

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL



**INFLUÊNCIA DO MANEJO NOS ATRIBUTOS DO SOLO EM
ÁREAS SOB CONVERSÃO FLORESTA/PASTAGENS NUMA
TOPOSSEQUÊNCIA EM RONDÔNIA, BRASIL**

ALAN FERREIRA LEITE DE LIMA

Manaus – AM

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

**INFLUÊNCIA DO MANEJO NOS ATRIBUTOS DO SOLO EM
ÁREAS SOB CONVERSÃO FLORESTA/PASTAGENS NUMA
TOPOSSEQUÊNCIA EM RONDÔNIA, BRASIL**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Mestrando: Alan Ferreira Leite de Lima

Orientador: Prof. Dr. Milton César Costa Campos

Coorientador: Prof. Dr. Luís Antônio Coutrim dos Santos

Manaus – AM

2020

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lima, Alan Ferreira Leite de
L732i Influência do manejo nos atributos do solo em áreas sob conversão floresta/pastagens numa topossequência em Rondônia, Brasil / Alan Ferreira Leite de Lima. 2020
116 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Milton César Costa Campos
Coorientador: Luís Antônio Coutrim dos Santos
Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Classificação de solos. 2. Indicadores da qualidade. 3. Variabilidade espacial. 4. Estatística multivariada. 5. Zonas de manejo. I. Campos, Milton César Costa. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

ALAN FERREIRA LEITE DE LIMA

**INFLUÊNCIA DO MANEJO NOS ATRIBUTOS DO SOLO EM
ÁREAS SOB CONVERSÃO FLORESTA/PASTAGENS NUMA
TOPOSSEQUÊNCIA EM RONDÔNIA, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Aprovado em 14 de agosto de 2020.

Banca examinadora

Milton César Costa Campos

Prof. Dr. Milton César Costa Campos
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

FERNANDO GOMES DE SOUZA

Prof. Dr. Fernando Gomes de Souza
Universidade Federal de Roraima – UFRR

Edivan Uchôa Cavalcanti da Costa

Prof. Dr. Edivan Uchôa Cavalcanti da Costa
Universidade Federal do Amazonas – UFAM/PNPD/IEAA

Dedicatória

A minha mãe Ezilna Maria Ferreira Leite.

Minha avó Adelaide Ferreira Leite.

Meu pai Raimundo Nonato Rocha de Lima.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pela graça da vida e pelas oportunidades que tem me proporcionado.

À Universidade Federal do Amazonas, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, por possibilitar a realização desse trabalho e a Capes, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Milton César Costa Campos, pela confiança, orientação e conselhos passados durante toda graduação e período do curso de Pós-Graduação em Agronomia Tropical.

Ao Prof. Dr. Luís Antônio Coutrim dos Santos, pela coorientação, apoio e conselhos durante a realização do projeto.

À toda minha família, em especial tios Eneide Ferreira Leite e Lindonir Rodrigues, pelo apoio e confiança, por ter cedido a área de estudo e ter acolhido toda a equipe de coleta de solos, tio Wanderlei Ferreira Leite, Irmãs Alana Ferreira Souza e Aline Leite de Lima, pelo apoio e incentivo a nunca desistir dos meus sonhos;

A Minha Companheira Thalita Silva Martins, que teve sempre ao meu lado me dando forças, me ajudando e incentivando a continuar.

Aos meus amigos Elilson Gomes de Brito Filho, Elyenayra Nogueira Pinheiro, Wildson Benedito de mendes Brito, Lucivânia Izidoro da Silva, Bruna Enck, Guilherme Abadia e Eduardo Antônio Neves dos Santos, pela ajuda, incentivo e apoio durante a coleta e análises de laboratório.

A toda a equipe que integra ou fizeram parte do Grupo de Pesquisa Solos e Ambientes Amazônicos do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA) da UFAM, em especial Prof. José Mauricio, Douglas Marcelo, Wenner, Érika, Raquel, Abdul, Chayanny, Henrique, Juliana e Simone pelas contribuições.

Aos demais professores, pesquisadores da Universidade Federal do Amazonas e amigos do mestrado, que sempre estiveram direta ou indiretamente acreditando ou contribuindo para que o objetivo final deste trabalho fosse alcançado.

Sumário

Resumo geral	9
Abstract	10
Introdução	11
Referências bibliográficas	13
1. Capítulo I: Caracterização e classificação de solos em áreas de pastagem e floresta numa toposequência, no município de Porto Velho, Rondônia	16
1.1. Introdução.....	17
1.2. Material e métodos	18
1.2.1. Caracterização das áreas estudadas	18
1.2.2. Metodologia de campo	20
1.2.3. Análises de laboratório	21
1.2.4. Análise estatística dos dados	22
1.3. Resultados e discussão	22
1.3.1. Atributos Morfológicos	22
1.3.2. Atributos físicos.....	24
1.3.3. Atributos químicos	27
1.3.4. Classificação dos solos	31
1.3.5. Análise multivariada.....	32
1.4. Conclusões	35
1.5. Referências bibliográficas	35
2. Capítulo II: Atributos químicos do solo em áreas sob conversão floresta/pastagem em Porto Velho, Rondônia	41
2.1. Introdução.....	42
2.2. Material e métodos	43
2.2.1. Caracterização da área de estudo.....	43
2.2.2. Metodologia de campo	45
2.2.3. Análise de laboratório.....	45
2.2.4. Análises estatística uni, bi e multivariada	46
2.2.5. Análise geoestatística	47
2.3. Resultados e discussão	48
2.3.1. Conversão floresta em pastagens.....	48
2.3.2. Interações ambientes e atributos químicos do solo	54
2.3.3. Variabilidade espacial.....	58
2.3.4. Zonas de manejo do solo	67

2.4. Conclusões	71
2.5. Referências bibliográficas	71
3. Capítulo III: Atributos físicos do solo em áreas sob conversão floresta/pastagem no norte de Rondônia, Brasil.....	77
3.1. Introdução.....	78
3.2. Material e métodos	79
3.2.1. Caracterização da área de estudo.....	79
3.2.2. Metodologia de campo	80
3.2.3. Análise de laboratório.....	81
3.2.4. Análises estatística uni, bi e multivariada	83
3.2.5. Análise geoestatística	83
3.3. Resultados e discussão	85
3.3.1. Conversão floresta em pastagens.....	85
3.3.2. Interações ambientes e atributos físicos do solo.....	92
3.3.3. Variabilidade espacial.....	97
3.3.4. Zonas de manejo do solo	107
3.4. Conclusões	111
3.5. Referências bibliográficas	111

Resumo geral

Rondônia possui um dos maiores rebanhos bovinos do Brasil, entretanto maior parte das pastagens encontra-se em algum estágio de degradação do solo, diminuindo assim a capacidade de suporte e conseqüentemente a taxa de lotação. Objetivo dessa pesquisa foi avaliar a influência do manejo nos atributos do solo em áreas sob conversão floresta/pastagem numa topossequência em Porto Velho, Rondônia, Brasil. Em campo foram selecionadas áreas com floresta, braquiária e mombaça, nas áreas com pastagens foram delimitadas malhas de 90 m x 60 m e na área com floresta malha de 90 m x 50 m, com espaçamento regular de 10 m entre os pontos amostrais. Foram coletadas amostras nos pontos de cruzamento das malhas, nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, perfazendo um total de 70 pontos amostrais em cada área com pastagem e 60 pontos amostrais na área de floresta. Para obtenção das amostras de solos, foram coletadas em cada área, amostras de solos com estrutura preservada em forma de torrões e anéis volumétricos. Essas amostras foram utilizadas para a determinação das propriedades químicas e físicas do solo. Além disso, foi selecionado in situ uma topossequência representativa dos ambientes, onde foram abertas trincheiras para caracterização e classificação do solo. Após a determinação dos atributos do solo os dados foram submetidos às análises univariada, bivariada e multivariada, sendo que as comparações das médias das variáveis dentro de cada ambiente foram analisadas pelo teste de Tukey a 5 % probabilidade. Para complementar o trabalho foi realizada análise geoestatística, a qual será usada para identificar a distribuição e o padrão espacial das variáveis estudadas e dos fatores da análise multivariada. Como resultado temos que, ao longo da topossequência foram observadas duas ordens de solos, sendo Latossolos e Plintossolos. Os Latossolos estão relacionados aos ambientes planos, bem drenados enquanto os Plintossolos aos ambientes com relevo mais ondulado, moderadamente drenado, próximo aos rios. A conversão de floresta em pastagens utilizando fogo é mais sensível próximo a superfície do solo. Proporciona incremento nos valores de pH e bases trocáveis, reduzindo os teores de alumínio trocável e acidez potencial, entretanto, induz perdas de fósforo e carbono orgânico do solo. A conversão de floresta em pastagens, impactou negativamente nos agregados, compactação, porosidade e acúmulo de carbono orgânico do solo. Dentre as pastagens, a área cultivada com mombaça, não degradou tanto em relação aos atributos físicos, se aproximando ao ambiente de floresta.

Palavras-Chave: Classificação de solos, Indicadores da qualidade, Variabilidade espacial, Estatística multivariada, Zonas de manejo.

Abstract

Rondônia has one of the largest cattle herds in Brazil, however most of the pastures are in some stage of soil degradation, thus reducing the carrying capacity and consequently the stocking rate. The objective of this research was to evaluate the influence of management on soil attributes in areas under forest / pasture conversion in a toposequence in Porto Velho, Rondônia, Brazil. In the field, areas with forest, brachiaria and mombaça were selected, in the areas with pastures 90 m x 60 m meshes were delimited and in the forest area 90 m x 50 m mesh, with regular spacing of 10 m between the sampling points. Samples were collected at the crossing points of the meshes, at the depths of 0.00-0.10 and 0.10-0.20 m, making a total of 70 sample points in each area with pasture and 60 sample points in the forest area. To obtain soil samples, soil samples with preserved structure in the form of clods and volumetric rings were collected in each area. These samples were used to determine the chemical and physical properties of the soil. In addition, a toposequence representative of the environments was selected in situ, where trenches were opened for soil characterization and classification. After determining the soil attributes, the data were submitted to univariate, bivariate and multivariate analyzes, and comparisons of the means of the variables within each environment were analyzed by the Tukey test at 5% probability. To complement the work, geostatistical analysis was performed, which will be used to identify the distribution and spatial pattern of the studied variables and the factors of the multivariate analysis. As a result, two soil orders were observed along the toposequence, being Latossolos and Plintossolos. The Latossolos are related to the flat, well-drained environments while the Plintossolos are related to the more undulating, moderately drained environments close to the rivers. The conversion of forest to pasture using fire is more sensitive close to the soil surface. It provides an increase in pH values and exchangeable bases, reducing the levels of exchangeable aluminum and potential acidity, however, it induces losses of phosphorus and organic carbon in the soil. The conversion of forest to pasture, had a negative impact on aggregates, compaction, porosity and accumulation of organic carbon in the soil. Among the pastures, the area cultivated with mombaça, did not degrade so much in relation to the physical attributes, approaching the forest environment.

Key-words: Soil classification, Quality indicators, Spatial variability, Multivariate statistics, Management zones.

Introdução

A pecuária de corte brasileira é caracterizada pelo sistema extensivo de criação, aliada aos baixos índices produtivos, vem sofrendo pressões de mercados internacionais e ambientais diante da necessidade do uso eficiente das áreas de pastagens já exploradas (Paula Neto et al., 2014). Na região amazônica, as pastagens são pouco desenvolvidas e mostram redução de produtividade nos primeiros anos de cultivo, principalmente por causa do sobrepastoreio, ausência ou reposição insuficiente de nutrientes e inadequação de espécies forrageiras para as condições edafoclimáticas locais (Neves Junior et al., 2013). O custo global anual de perdas na produção de leite e carne devido a pastagens degradadas é de cerca de 7 bilhões de dólares, chegando a 1 bilhão de dólares nos países da América Latina (Kwon et al., 2016).

A queima é a opção mais barata para limpar áreas de floresta e introduzir a pastagem na Amazônia (Navarrete et al., 2016). Quando não manejada adequadamente, causa mudanças drásticas nos atributos químicos e físicos do solo, podendo até degradá-lo (Costa e Drescher, 2018). A degradação das pastagens pode ser mais bem retratada por meio de alterações nos indicadores de qualidade do solo (Pessoa et al., 2012; Lisbôa, et al., 2016). Eles são propriedades mensuráveis que indicam a capacidade do solo de sustentar e promover a qualidade ambiental, e podem ser divididos em físicos, químicos e biológicos (Murphy et al., 2006). Esses indicadores permitem distinguir os efeitos proporcionados pelos diferentes sistemas de manejo nos solos e contribuem para o monitoramento do manejo (Ferreira et al., 2010).

Com exceção da densidade de partículas, as características físicas do solo são modificadas quando se converte floresta em pastagem (Braz et al., 2013). Em pastagens, a degradação física do solo pode ocorrer principalmente pela compactação originada pelo pisoteio dos animais, comprometendo mais diretamente as camadas superficiais. Essas modificações dependem da intensidade do pisoteio, da umidade e do tipo de solo (Torres et al., 2014). Há trabalhos que mostram alterações nos atributos químicos do solo, como observado por, Araújo et al. (2011) e Lisbôa, et al. (2016), que analisaram solos de pastagem, e observaram que os indicadores químicos mais sensíveis são Ca, Mg, K e P.

A dependência espacial da fertilidade no ecossistema solo é influenciada pelos fatores de formação (material de origem, relevo, organismo, clima e tempo) e, ao manejo empregado (Zanão Júnior et al., 2010). Áreas de pastagens, por mais bem manejadas que sejam, costumam apresentar heterogeneidade espacial na conformação estrutural como

reflexo das características químicas do solo, podendo este problema ser ainda mais acentuado quando as pastagens são estabelecidas em áreas declivosas (Artur et al., 2014). O declive potencializa o deslocamento de nutrientes e partículas de solo, que são conduzidos pelo deflúvio encosta abaixo resultando em maior estratificação da fertilidade e submetendo o solo, em algumas situações, a um processo de rejuvenescimento (Lybrand e Rasmussen, 2018; Valtera et al., 2015).

Vários estudos têm aplicado a estatísticas multivariadas, nas investigações de variáveis do solo em áreas com pastagem (Soares et al., 2016; Couto et al. 2016; Rodrigues et al., 2016; Dias et al., 2019; Assunção et al., 2019; Zenero et al. (2019). De acordo com Sena et al. (2002), uma das vantagens dessas técnicas é a formação de agrupamento de populações com características similares, permitindo um melhor entendimento das variações dos processos que ocorrem no solo. Na análise simultânea de muitas variáveis, a estatística multivariada é uma ferramenta eficiente (Aquino et al., 2016), que pode auxiliar na tomada de decisão sobre o uso e manejo adequado do solo, com base nas variações dos atributos do solo, e indicar os atributos que mais sofrem mudança pela ação antrópica, além de servir de base para o planejamento agrícola, visando a sustentabilidade ambiental (Oliveira et al., 2015; Aquino et al., 2016).

Afim de estudar a variabilidade espacial dos solos, tem-se utilizado como ferramenta a geoestatística. Ela é o ramo da estatística aplicada que desenvolve e aplica modelos para representar fenômenos naturais cujas propriedades variam em função da localização espacial dos pontos de observação (Matheron, 1962). Ela permite quantificar a magnitude e o grau de dependência espacial e descrever, detalhadamente, a variabilidade espacial dos atributos estudados (Uchôa et al., 2011, Santi et al., 2012). Assim, permite a interpretação e a projeção dos resultados, com base na estrutura da sua variabilidade natural, podendo indicar alternativas de manejo, além de possibilitar melhor compreensão da variabilidade dos atributos, sua influência sobre a produção (Silva Neto et al., 2012; Davatgar, et al., 2012), aumento na economia com uso racional de fertilizantes (Cotching et al. 2019) e a indicação de uma densidade de amostragem ideal (Vieira, 2000).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência do manejo nos atributos do solo em áreas sob conversão floresta/pastagem numa topossequência em Porto Velho, Rondônia, Brasil.

Referências bibliográficas

Aquino, R. E.; Campos, M. C. C.; Soares, M. D. R.; Oliveira, I. A.; Franciscan, U.; Silva, D. M. P.; Cunha, J. M. Chemical soil attributes evaluated by multivariate techniques and geostatistics in the area with agroforestry and sugarcane in Humaitá, AM, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 1, p. 61-72, 2016. doi: 10.14393/BJ-v32n1a2016-29421

Araújo, E. A.; Ker, J. C.; Mendonça, E. S.; Silva, I. R.; Oliveira, K. O. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011. doi: 10.1590/S004459672011000100012

Artur, A. G.; Oliveira, D. P.; Costa, M. C. G.; Romero, R. E.; Silva, M. V. C.; Ferreira, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.18, n.2, p.141-149, 2014. doi: 10.1590/S1415-43662014000200003

Assunção, S. A.; Pereire, M. G.; Rosset, J. S.; Berbara, R. L. L.; García, A. C. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 658, p. 901–911, 2019. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.271

Braz, A. M. B.; Fernandes, A. R.; Alleoni, L. R. F. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in Amazon. **Land Degradation & Development**, v. 24, n. 1, p. 33-38, 2013. doi: 10.1002/ldr.1100

Costa, L. M.; Drescher, M. S.; Implications of agricultural management on the epigeic fauna and soil physical properties of a clayey Oxisol. **Revista Ceres**, v. 65, n.5, p. 443-449, 2018. doi: 10.1590/0034-737x201865050009

Cotching, W. E.; Taylor, L.; Corkrey, S. R. Spatial variation of soil nutrients in dairy pasture paddocks. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, p. 1-13, 2019. doi: 10.1080/00288233.2019.1576212

Couto, W. H.; Anjos, L. H. C.; Wadt, P. G. S.; Pereira, M. G.; Atributos edáficos e resistência a penetração em áreas de sistemas agroflorestais no sudoeste amazônico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 811-823, 2016. doi: 10.5902/1980509824210

Davatgar, N.; Neishabouri, M. R.; Sepaskah, A.R. Delineation of site specific nutriente management zones for a paddy cultivated área based on soil fertility using fuzzy clustering, **Geoderma**, v. 173-174, n.2, p. 111-118, 2012. doi: 10.1016/j.geoderma.2011.12.005

Dias, F. P. M.; Hübner, R.; Nunes, F. J.; Leandroa, W. M.; Xavier, F. A. S.; Effects of land-use change on chemical attributes of a Ferralsol in Brazilian Cerrado. **Catena**, v. 177, p. 180–188, 2019. doi: 10.1016/j.catena.2019.02.016

Ferreira, R. R. M.; Filho, J. T.; Ferreira, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

Kwon, H. Y.; Nkonya, E.; Johnson, T.; Graw, V.; Kato, E.; Kihui, E. Global Estimates of the Impacts of Grassland Degradation on Livestock Productivity from 2001 to 2011. In: Nkonya, E., Mirzabaev, A., Von Braun, J. (Eds.), *Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development*. **Springer Open**, pp. 197–214, 2016.

Lisbôa, F. M.; Donagemma, G. K.; Burak, D. L.; Passos, R. R.; Mendonça, E. S. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1184-1193, 2016. doi: 10.1590/s0100-204x2016000900018

Lybrand, R. A.; Rasmussen, C. Climate, topography, and dust influences on the mineral and geochemical evolution of granitic soil in southern Arizona. **Geoderma**, v. 314, p. 245–261, 2018. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.10.042

Matheron, G. **Traité de géostatistique appliquée**. Paris: Editions Technip, v.1, 1962, 334 p.

Murphy, C.A.; Foster, B.L.; Ramspott, M.E.; Price, K.P. Effects of cultivation history and current grassland management on soil quality in northeastern Kansas. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 61, p. 75-89, 2006.

Navarrete, D.; Sitch, S.; Aragao, L. E. O. C.; Pedroni, L. Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon leads to contrasting soil carbon dynamics depending on land management practices. **Global Change Biology**, v. 22, p. 3503–3517, 2016. doi: 10.1111/gcb.13266

Neves Junior, A. F.; Silva, A. P.; Noronha, N. C.; Cerri, C. C. Sistemas de manejo do solo na recuperação de uma pastagem degradada em Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 232-241, 2013. doi: 10.1590/S0100-06832013000100024

Paula Neto, J. J.; Alexandrino, E.; Santos, A. C.; Mendes Filho, G. O.; Silva, D. P. Melo, J. C. Distribuição espacial da altura do dossel e efeito sobre a cobertura do solo em pastos mantidos em lotação contínua. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 650-658, 2014.

Pessoa, P. M. A.; Duda, G. P.; Barros, R. B.; Freire, M. B. G. Dos Santos.; Nascimento, C. W. A.; Correa, M. M. Frações de carbono orgânico de um Latossolo húmico sob diferentes usos no agreste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 97-104, 2012.

Rodrigues, A. L.; Watzlawick, L. F.; Genú, A. M.; Hess, A. F.; Ebling, Â. A. Atributos de um solo florestal em uma topossequência e relações com a comunidade arbórea. **Floresta**, v. ,46, n. 2, p. 145 – 154, 2016. doi: 10.5380/rf.v46i2.36219

Santi, A. L., Fiorin, J. E.; Cocco, K. L. T.; Cherubin, M. R.; Eitelwein, M. T.; Amado, T. J. C.; Hauschild, F. E. G. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, p. 18-25, 2012.

Sena, M. M.; Frighetto, R. T. S.; Valarini, P. J.; Tokeshi, H.; Poppi, R. J. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a

multivariate analysis case study. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 67, p. 171–181, 2002. doi: 10.1016/S0167-1987(02)00063-6

Silva Neto, S. P.; Santos, A. C.; Lima Leite, R. L.; Dim, V. P.; Neves Neto, D. N.; Silva, J. E. C. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 41-53, 2012.

Soares, M. D. R.; Campos, M. C. C.; Oliveira, I. A.; Cunha, J. M.; Santos, L. A. C.; Fonseca, J. S.; Souza, Z. M.; Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Revista Ciência Agraria**, v. 59, n. 1, p. 9-15, 2016. doi: 10.4322/rca.2020

Torres, L. C.; Barros, K. R. M.; Lima, H. V. Alterações na qualidade física de um latossolo amarelo sob pastagem. **Acta Amazônica**, v. 44, n. 4, p. 419-426, 2014. doi: 10.1590/S0044-59672014000400003

Uchôa, C. N.; Pozza, E. A.; Pozza, A. A. A.; Silva Moraes, W. Modelagem geoestatística da sigatoka-negra e sua relação com a fertilidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 3, p. 357-362, 2011.

Valtera, M.; Samonil, P.; Svoboda, M.; Janda, P. Effects of topography and forest stand dynamics on soil morphology in three natural *Picea abies* mountain forests. **Plant Soil**, v. 392, p. 57–69, 2015. doi: 10.1007/s11104-015-2442-4

Vieira, S. R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: Novais, R. F. De; Alvarez V., V. H.; Schaefer, C. E. G. R. (Eds.). Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2000. p. 1-54.

Zanão Júnior, L. A.; Lana, R. M. Q.; Guimarães, E. C.; Pereira, J. M. A. Variabilidade espacial de nutrientes em Latossolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.5, p.389-400, 2010. doi: 10.1590/S0100-06832010000200012

Zenero, M. D. O.; Grimaldib, M.; Coopera, M. Variability in soil shrinkage along forest and pasture toposequences in Amazonia. **Geoderma**, v. 338, p. 291–301, 2019. doi: 10.1016/j.geoderma.2018.12.013

1. Capítulo I: Caracterização e classificação de solos em áreas de pastagem e floresta numa topossequência, no município de Porto Velho, Rondônia

Resumo

A maioria dos trabalhos sobre levantamento de solos em Rondônia, são antigos e exploratório de baixa a média intensidade. Diante da vasta classes e subclasses de solos presente no estado são necessários trabalhos detalhados para cada região produtora, visando fornecer informações sobre as classes de solos e com isso propor manejos diferenciados. Com isso, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar e classificar solos em áreas sobre floresta e pastagem em uma topossequência no distrito de União Bandeirantes, Porto Velho, Rondônia. Em campo foi selecionada uma topossequência representativa da região nos pedoambientes de floresta e pastagens. Em cada pedoambiente da topossequência foram abertas trincheiras para caracterização morfológica e coleta de amostras para as análises física e química do solo. Após a obtenção dos dados os solos foram classificados segundo critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Além disso foram realizadas análises estatística multivariada. Ao longo da topossequência foram observadas duas ordens de solos, sendo Latossolos e Plintossolos. Os solos estudados sofreram alterações nos horizontes superficiais, na granulometria, densidade do solo, bases trocáveis, e os componentes da acidez. Por meio da análise multivariada para os horizontes diagnósticos observamos a formação de três grupos dos Latossolos Amarelos, Plintossolos Pétricos e Latossolos Vermelhos.

Palavras-chave: Degradação do solo; Pedogênese; Atributos do solo; Componentes principais

Soil characterization and classification in pasture and forest areas in a toposequence, in the municipality of Porto Velho, Rondônia

Most of the works on soil survey in Rondônia, are older and exploratory of low medium intensity. In view of the vast classes and subclasses of soils present, no state is necessary, more detailed for each producing region, providing information on the classes of soils and with different proportions of management. Thus, the objective of the work is to characterize and classify solutions in areas over forest and pasture in a toposequence in the district of União Bandeirantes, Porto Velho, Rondônia. The field was selected as a representative toposequence of the region in the forest and pasture pedoenvironments. In each toposequence pedoenvironment, trenches were opened for morphological characterization and sample collection for physical and chemical analysis of the soil. After using soil data, the classified ones were classified by the Brazilian Soil Classification System. In addition, multivariate statistical analyzes were performed. Along the toposequence, two soil orders were observed, being Latossolos and Plintossolos. The studied soils suffer alterations in the superficial horizons, in the granulometry, in the density of the soil, in the exchangeable bases and in the components of acidity. Through multivariate analysis for horizontal diagnostics, we observed the formation of three groups of Latossolo Amarelo, Plintossolo Pétrico and Latossolo Vermelho.

Key-words: Soil degradation; Pedogenesis; Soil attributes; Main components

1.1. Introdução

O Brasil possui 162,19 milhões de hectares com pastagens, correspondendo a 19% do território. Possui o maior rebanho bovino comercial do mundo, com 214,69 milhões de cabeças sendo responsável por 8,7% do PIB, dentre os municípios brasileiro, Porto Velho encontrasse em sétimo lugar com 968.778 cabeças (ABIEC, 2019). Apesar disso da grande produção de gado, maior parte das pastagens brasileiras estão sendo degradadas, devido ao manejo inadequado adotado (Neves Junior et al., 2013) e ao baixo conhecimento sobre os solos presentes nas regiões. De maneira geral o estado de Rondônia possui diversas classes de solos e boa parte destes apresentam baixa fertilidade (Schlindwein et al., 2012), além de que a maioria dos estudos de levantamento de solos em Porto Velho, são antigos de baixa ou média intensidade (Wittern e Conceição et al., 1982; Amaral et al., 2000).

Os atributos do solo são influenciados pelas interações entre os fatores e processos de formação do solo (Jenny, 1941) e os usos antrópicos (Saglam e Dengiz, 2012), dando origem as classes de solos. O relevo e o clima são fatores de formação importantes que ditam o grau de desenvolvimento pedogenético dos solos. Por sua vez o relevo é expresso pelo grau de inclinação, que afeta a temperatura do solo, o conteúdo de água, nível do lençol freático e intensidade dos processos de remoção e deposição de sedimentos (Chagas et al., 2013), que dependendo da posição na paisagem pode favorecer um processo de rejuvenescimento nos solos (Lybrand e Rasmussen, 2018), provocando restrições ambientais sobre o desenvolvimento das vegetações (Lopes et al., 2016). O clima por si é expresso pelas precipitações, temperatura e umidade do ar, que afetam o processo de intemperismo do solo e a evolução do perfil (Pinheiro Junior et al., 2019).

Para estudar o efeito do relevo nos perfis dos solos, de um mesmo material de origem, utilizou-se o termo catena (Milne, 1935), em trabalhos atuais é mais utilizado o termo topossequência, que possibilita considerar mais de um material de origem. Trabalhos têm utilizado a topossequência para estudar, relação fauna do solo-paisagem (Corrêa Neto et al., 2018), atributos do solo e relação com a comunidade arbórea (Rodrigues et al., 2016), variabilidade espacial dos atributos do solo (Capoane et al., 2017) e o comportamento dos atributos do solo em transição Campos Naturais-Floresta (Campos et al., 2012). Por outro lado, estudos têm caracterizado e classificado solos por meio da topossequência, tais como Campos et al., (2010) que estudaram os atributos do solo na Amazônia e observaram que, as variações do relevo favoreceram a presença de

solos distróficos em topo e solos eutróficos no sopé da vertente. No mesmo sentido Guimarães et al. (2013) estudando Gleissolos da várzea do Rio Solimões no Amazonas, concluíram que os perfis de Gleissolos têm variações quanto à classificação taxonômica, no quarto nível categórico e apresentaram considerável diferença em relação aos atributos físicos e químicos.

Visto que a maioria dos trabalhos de levantamento de solos da região de Porto Velho, Rondônia são exploratório e antigos, são necessários estudos detalhados caracterizando e classificando solos e avaliando a influência do relevo em seus atributos. Assim, o trabalho objetivou caracterizar e classificar solos em áreas sobre floresta e pastagem em uma topossequência no distrito de União Bandeirantes, Porto Velho, Rondônia.

1.2. Material e métodos

1.2.1. Caracterização das áreas estudadas

O estudo foi desenvolvido no distrito de União Bandeirantes localizado no município de Porto Velho, Rondônia, Brasil. A área de estudo encontra-se sobre os tabuleiros da depressão Amazônica, o relevo regional, apresenta superfície suave ondulada, com altitude variando de 100 a 200 m. (Figura 1.1, Tabela 1.1).

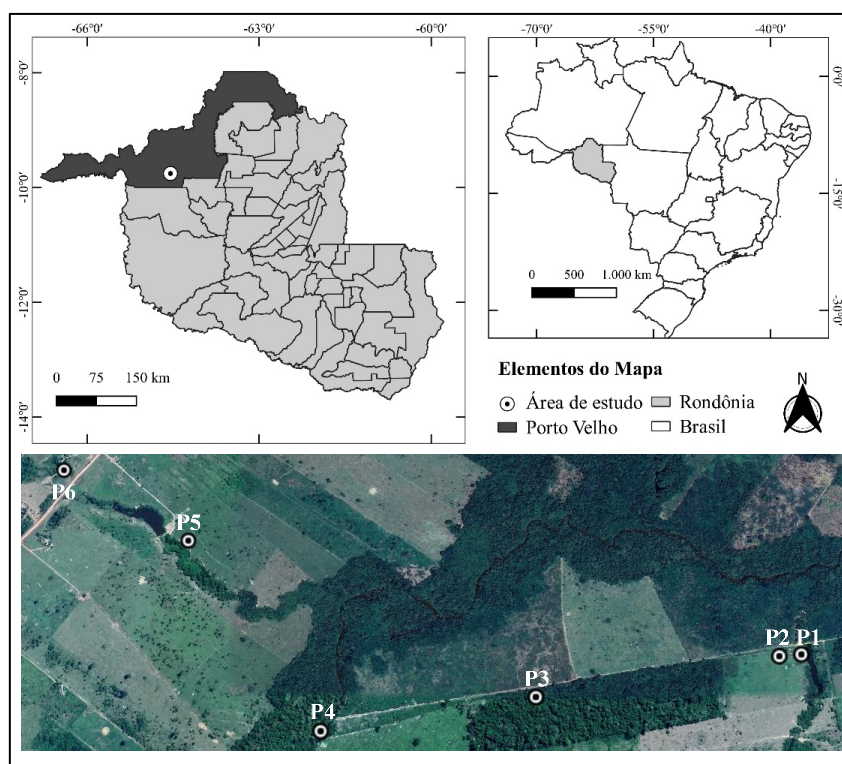


Figura 1.1 Mapa de localização da área de estudo em uma topossequência sob arenito/gnaiss em União Bandeirantes, Porto Velho, Rondônia.

O clima da região segundo classificação de Köppen, pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am (chuvas do tipo monção), apresentando uma estação seca de pequena duração entre os meses de junho a setembro. A pluviosidade anual varia em torno de 2.500 a 2.800 mm, a temperatura anual média está entre 24 a 26° C. A umidade relativa é bastante elevada, variando entre 85% a 90% na época chuvosa e entre 60 a 70% na época seca (Alvares et al., 2013). Quanto a tipologia da vegetação é denominada, floresta ombrófila densa, constituída por árvores adensadas e multiestratificadas de 25 a 30 m de altura (Perigolo et al., 2017).

Tabela 1.1 Principais características dos solos estudados em uma topossequência em União Bandeirantes, Porto Velho, RO.

Perfil	Coordenada	Altitude (m)	Relevo local	Posição da paisagem	Drenagem	Uso atual
P1	S 09° 45' 3,64" W 64° 31' 38,94"	124	Suave ondulado	Terço inferior	Bem drenado	Mata ciliar
P2	S 09° 45' 4,17" W 64° 31' 42,10"	128	Suave ondulado	Terço médio	Bem drenado	Pastagem
P3	S 09° 45' 9,49" W 64° 32' 17,12"	137	Plano	Topo	Bem drenado	Floresta
P4	S 09° 45' 13,71" W 64° 32' 47,16"	128	Ondulado	Terço médio	Moderadamente drenado	Floresta
P5	S 09° 44' 45,74" W 64° 33' 7,51"	134	Suave ondulado	Topo	Moderadamente drenado	Pastagem
P6	S 09° 44' 34,14" W 64° 33' 27,36"	132	Suave ondulado	Sopé	Bem drenado	Pastagem

Os solos encontrados do P1 ao P5 são formados a partir da era cenozóica, do período terciário-quadernário. São desenvolvidos a partir de coberturas sedimentares indiferenciadas, associadas a ambientes de leques aluviais, canais fluviais, planícies de inundação e lagos, constituídas por sedimentos cuja granulometria varia de cascalho a argila, com lateritização significativa. O solo encontrado no P6 é formado a partir da era paleoproterozóica-mesoproterozóica. São do grupo complexo gnáissico-migmatítico Jaru, caracterizados por um notável aleitamento tectônico dos litotipos em condições metamórficas de alto médio grau, envolvendo ortognaisses graníticas, gnaisses bandados, gnaisses paraderivados, anfíbolitos, granulitos máficos e granitos de anatexia, dentre outros (Adamy, 2010).

Os solos predominantes na região de estudo são os Latossolos, Argissolos e Plintossolos. Dos Latossolos, a subclasse Latossolo Vermelho-Amarelo ocupa 18,41% do território, para os Argissolos, a subclasse Argissolo Vermelho-Amarelo ocupa 38,97% do território e os Plintossolos ocupam 4,50% do território de Rondônia (Figura 1.2).

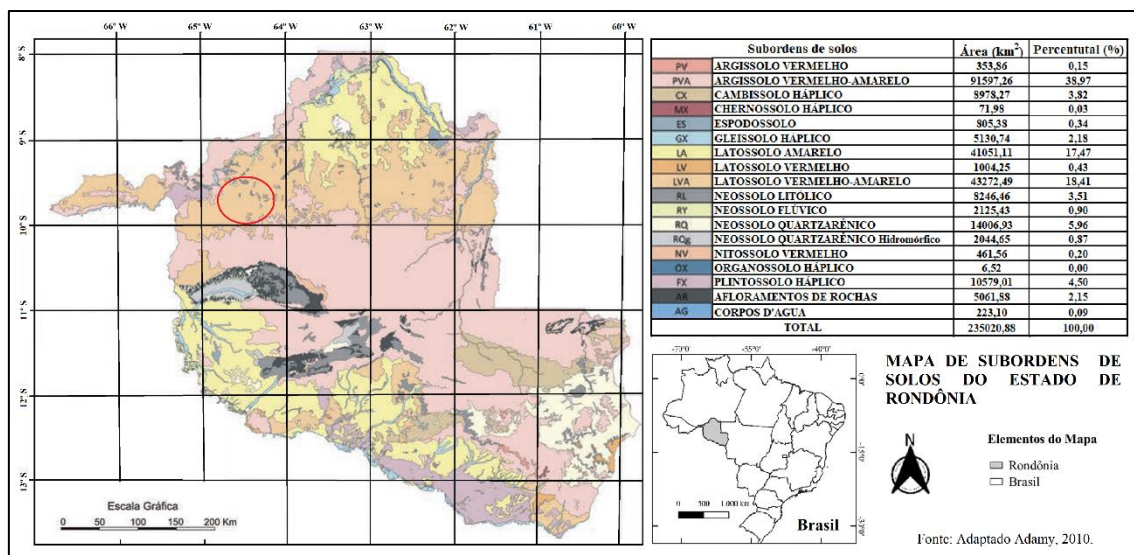


Figura 1.2 Mapa simplificado de subclasses de solos do estado de Rondônia (adaptado de Adamy, 2010).

As áreas de pastagem foram oriundas de desmatamento com sucessivas queimadas ao longo do tempo, as queimadas apresentaram a condição de facilitar a limpeza para posterior semeadura das forragens. A área com o P2 possui doze anos de uso e a área com o P5 e P6 possuem quinze anos de uso com pastagem, ressalta-se que não foram realizadas práticas de adubação e calagem em nenhuma das áreas.

1.2.2. Metodologia de campo

Foi selecionada uma topossequência representativa da região nos ambientes de floresta e pastagens, realizando um caminhamento, partindo do ambiente de pastagem (Figura 1.3), o transecto atravessou os diferentes pedoambientes existentes, os quais foram identificados e delimitados conforme o relevo do terreno, as características pedológicas e os padrões vegetacionais de floresta e pastagens.

Em cada pedoambiente da topossequência foram abertas trincheiras para caracterização morfológica e coleta de amostras para as análises física e química dos solos. A identificação dos horizontes e a descrição morfológica foram realizadas conforme Santos et al. (2015), com coleta de amostras em todos os horizontes. Os solos foram classificados segundo critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Embrapa 2018).

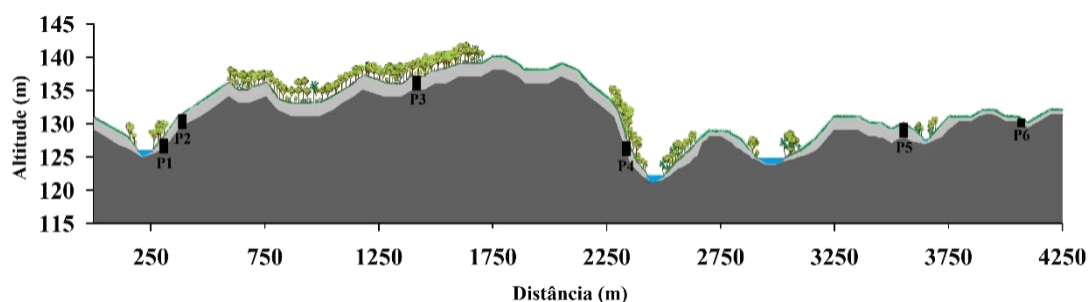


Figura 1.3 Perfil altimétrico esquemático mostrando a vegetação, relevo e o local de coleta dos perfis de solos em uma topossequência em União Bandeirantes, Porto Velho, RO.

1.2.3. Análises de laboratório

Após coletadas as amostras de solos foram secas à sombra, destorroadas e passadas em peneiras com abertura de 2 mm, separando o cascalho e a terra fina seca ao ar (TFSA). A TFSA foi utilizada para fazer as análises físicas e químicas, segundo a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017).

A análise textural do solo foi determinada utilizando o método da pipeta, com solução de NaOH 1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica utilizando o agitador tipo Wagner, em aparato de rotação lenta por 16 horas a 50 rpm. As areias, grossa e fina, foram separadas por tamisação, a fração argila e silte foram separadas por sedimentação. Além disso, foi realizada a análise de argila dispersa em água (ADA), e posteriormente foram calculados GF, através da proporção da diferença entre a argila total e a ADA (Teixeira et al., 2017).

A densidade do solo foi obtida pelo método do anel volumétrico e a de partículas do solo, pelo método do balão volumétrico. A porosidade total foi calculada a partir dos dados das densidades do solo e de partículas, empregando-se a seguinte equação: $P_t = 1 - D_s/D_p$.

O pH em água e KCl (1 mol L⁻¹) foi determinado potenciometricamente, utilizando a relação solo:solução de 1:2,5. E posteriormente foi calculado o ΔpH através da equação: $\Delta pH = pH(KCl) - pH(H_2O)$ (Teixeira et al., 2017).

O cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e alumínio trocáveis (Al³⁺), foram extraídos por solução de KCl 1 mol L⁻¹. Os teores de Al³⁺ foram determinados por titulometria, utilizando NaOH a 0,025 mol L⁻¹ e azul de bromotimol como indicador colorimétrico. Já os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram determinados por espectrometria de absorção atômica. A acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ tamponado a pH 7,0 e determinada por titulometria utilizando NaOH a 0,025 mol L⁻¹ e fenolftaleína como

indicador. O potássio (K^+) e o fósforo (P) disponíveis, foram extraídos por *Mehlich-1*. Os teores de P foram determinados por espectrofotômetro-UV-Vis e os teores de K^+ por espectrofotometria de chama. Com base nas determinações dos cátions trocáveis e acidez potencial foram estimadas: capacidade de troca de cátions (CTC) potencial; soma de bases (SB), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e atividade da fração argila ($CTC_{Arg.}$). O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de Walkley-Black, modificado por Yeomans & Bremner (1988).

1.2.4. Análise estatística dos dados

Foram realizadas as estatísticas multivariadas nos horizontes superficiais e subsuperficiais, com intuito de avaliar a semelhança entre os perfis e observar quais atributos do solo que mais caracterizam os ambientes estudados. O software utilizado foi Statistica 7 (Statsoft, 2004).

Para comparar a semelhança entre os ambientes, foi utilizado a análise de Cluster através dos agrupamentos por método hierárquico, em que a distância euclidiana foi usada como medida de semelhança entre perfis. O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma), que auxiliou na identificação dos agrupamentos dos perfis com os atributos químicos e físicos do solo analisados. Como base no gráfico de amalgamation schedule, foi escolhida a melhor distância euclidiana para formar os grupos.

Também realizou-se a análise de componentes principais (ACP), para obter, o conjunto de menor combinações lineares dos atributos químicos e físicos do solo, que preserve a maior parte das informações fornecidas pelos atributos do solo (Silva et al., 2010). A análise de componentes principais permite avaliar ao mesmo tempo qualitativamente, as interações entre os atributos do solo, para isso, os valores dos atributos foram normalizados para média igual zero e a variância igual a um. Na escolha do número de componentes, foi selecionado aqueles que apresentaram autovalores acima de 1,00 (critério de Kaiser) e que conseguiram sintetizar uma variância acumulada acima de 70%. A rotação ortogonal (varimax) foi feita e representada em um plano fatorial dos atributos e escores para os CP, com intuito de simplificar a análise fatorial (Burak et al., 2010).

1.3. Resultados e discussão

1.3.1. Atributos Morfológicos

Os perfis de solos P1 ao P5 apresentaram monocromia entre os horizontes, sendo a matiz 10YR com predomínio da cor bruno-amarelado (cor úmida) e amarelo a amarelo-brunado (cor seca). O P6 apresentou matiz 5YR para solo úmido no horizonte Ap e 2,5YR para os demais horizontes, quando úmido apresentou cor bruno-avermelhado-escuro e seco predominou a cor vermelho (Tabela 1.2). As cores observadas nos P1 ao P5 são decorrentes da natureza do material de origem, que possui pequena contribuição de minerais ferromagnesianos em sua composição, ao grau de intemperismo e os processos pedogenéticos que contribuem para a acumulação ou remoção de Fe (Santos et al., 2010). Ambientes úmidos e com baixos teores de ferro, favorecem maior formação de goethita em detrimento hematita, proporcionando cor amarela ao solo (Kämpf e Curi 2000). Em contrapartida, a cor avermelhada observada no P6 é decorrente do material de origem rico em Fe. O P2 devido a condições de hidromorfismo apresentou formação mosqueados (poucos pequenos difusos) nos horizontes (de transição) AB e BA, isso pode ser um indicativo de variações micromorfológicas, pois o perfil encontra-se no terço médio, impossibilitando o acúmulo de água em grandes proporções.

Os perfis de solos não diferiram entre si de forma abrupta quanto a classe textural, apresentando textura variando de franco-argilo-arenosa a muito argilosa. Quanto aos horizontes superficiais do P1, P2, P3 e P5 os mesmos apresentaram textura franco-argilo-arenosa, já os P4 e P6 apresentaram textura argilosa. Os horizontes subsuperficiais dos P1, P2, P3 e P5 apresentaram textura argilo-arenosa, o P4 muito argilosa e o P6 argilosa (Tabela 1.2).

Acerca da estrutura, os solos apresentaram nos horizontes superficiais e subsuperficiais grau de desenvolvimento variando de fraca a forte, com tamanho variando de pequena a muito grande e formato em blocos angulares a granular, corroborando com Schiavo et al. (2010), que caracterizaram e classificaram solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana - MS, e observaram o mesmo padrão na estrutura do solo. O P1 e P4 apresentaram no horizonte superficial estrutura em formato granular. O grau de desenvolvimento fraco, foi observado apenas no P1 para os horizontes subsuperficiais Bcf2 e Bf. O P6 não apresentou variação para estrutura do solo dentre os horizontes estudados, apresentando estrutura forte média a grande em blocos angulares a blocos sub-angulares (Tabela 1.2). Estudos de Franciscon et al. (2019), avaliando ambientes de campo natural e floresta no sul do Amazonas, observaram moderado e forte grau de desenvolvimento, com tamanho variando de pequeno a grande, e com estrutura em blocos angulares e blocos subangulares.

Os solos estudados apresentaram consistência quando úmida, variando de muito friável a friável, sendo que foram observadas consistência do solo friável apenas para o P3 a partir do horizonte Bw2 em diante. Quando molhado, os perfis de solos apresentaram plasticidade variando de ligeiramente plástica a muito plástica, para pegajosidade houve variação de ligeiramente pegajosa a muito pegajosa. Apenas no P1, nos horizontes Bw1 em diante, foram observados consistência muito pegajosa e muito plástica. Ao observarmos a transição entre os horizontes, evidenciou-se transição quanto ao grau de nitidez clara, gradual e difusa, e quando à forma plana e ondulada (Tabela 1.2).

1.3.2. Atributos físicos

Os resultados referentes aos atributos físicos são apresentados na Tabela 1.3. Observa-se predomínio da fração TFSA em todos os perfis estudados exceto no P4 e P5 que possuem predomínio da fração cascalho nos horizontes subsuperficiais apresentando valores superiores a 500 g kg^{-1} . Além de petroplintitas os cascalhos também possuíam quartzo em sua composição, sendo que os perfis (P1, P2, P3) que não possuíam petroplintitas apresentaram a fração cascalho composta apenas por quartzo.

Quando avaliou-se a composição granulométrica da fração TFSA (Tabela 1.3), observou-se predomínio da fração areia nos P1, P2, P3 e P5 que variou de 483 a 669 g kg^{-1} , já nos P4 e P6, observou-se predomínio da fração argila que variou de 408 a 676 g kg^{-1} . Em relação as frações da areia houve predomínio da fração areia grossa em todo os perfis exceto no P6 que predominou a fração areia fina. Essas características são decorrentes dos materiais de origem por se tratar de coberturas sedimentares, cuja granulometria varia de cascalho a argila, com significativa lateritização, que favorece esse comportamento conforme destaca Adamy, (2010). De maneira geral foi possível predomínio de areia nos horizontes superficiais e um aumento pouco significativo de argila nos horizontes subsuperficiais em relação ao superficial. Isso ocorre devido, a exposição da superfície do solo aos impactos das chuvas, favorecendo a destruição de agregados, individualizando as partículas e intensificando o processo de erosão seletiva de partículas de menor diâmetro (argila) (Shi et al., 2017). Todos os perfis apresentaram teores de silte baixos, variando de 12 a 145 g kg^{-1} , sendo os maiores teores observados no P6 e os menores nos P1, P2 e P3.

Tabela 1.2 Características morfológicas dos perfis de solos em uma toposequência sob arenito/gnaiss em União Bandeirantes, Porto Velho, Rondônia.

Horiz.	Prof. cm	Cor			Textura	Estrutura	Consistência		Transição
		Seco	Úmido	Mosqueado			Úmido e molhado		
Perfil 1 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa – Mata ciliar									
A	0-7	10YR 4/3	10YR 2/2	-	franco-argilo-arenosa	mod. a fo., peq. a méd., gran.	fri., lig. plás., lig. peg.	cla. e pla.	
AB	7-18	10YR 5/3	10YR 5/4	-	franco-argilo-arenosa	fo., méd. a gr., bl. ang.	fri., lig. plás., lig. peg.	cla. e ond.	
BA	18-31	10YR 7/6	10YR 5/4	-	argilo-arenosa	fo., méd. a gr., bl. ang.	fri., plás., peg.	gra. e pla.	
Bw1	31-55	10YR 7/4	10YR 6/6	-	argilo-arenosa	fo., gr. a mgr., bl. ang.	fri., mplás., mpeg.	gra. e pla.	
Bw2	55-92	10YR 7/6	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	mod., méd. a gr., bl. ang.	fri., mplás., mpeg.	gra. e pla.	
Bw3	92-130	10YR 6/6	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	mod., méd. a gr., bl. ang.	fri., mplás., mpeg.	gra. e pla.	
Bw4	130-160+	10YR 8/6	10YR 6/6	-	franco-argilo-arenosa	mod., méd. a gr., bl. ang. a bl. sub.	fri., mplás., mpeg.	-	
Perfil 2 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa – Pastagem									
AB	0-11	10YR 7/4	10YR 3/4	5YR 4/6, po., peq., dif.	franco-argilo-arenosa	fo., méd., bl. ang. a bl. sub.	fri., lig. plás., lig. peg.	cla. e pla.	
BA	11-25	10YR 6/6	10YR 4/4	5YR 4/6, co., peq., dif.	argilo-arenosa	fo., méd., bl. ang. a bl. sub.	fri., lig. plás., lig. peg.	gra. e pla.	
Bw1	25-50	10YR 7/4	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	mod., peq. a méd., bl. ang. a bl. sub.	fri., plás., peg.	gra. e pla.	
Bw2	50-90	10YR 7/4	10YR 4/6	-	argilo-arenosa	mod., peq. a méd., bl. ang.	fri., plás., peg.	gra. e pla.	
Bw3	90-125	10YR 7/6	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	mod., peq. a méd., bl. ang.	fri., plás., peg.	gra. e pla.	
Bw4	125-150+	10YR 7/4	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	mod., peq. a méd., bl. ang.	fri., plás., peg.	-	
Perfil 3 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa - Floresta									
A	0-10	10YR 4/4	10YR 4/4	-	franco-argilo-arenosa	fo., peq. a méd., bl. ang. a bl. sub.	fri., lig. plás., lig. peg.	gra. e pla.	
BA	10-25	10YR 6/6	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	fo., méd. a gr., bl. ang. a bl. sub.	fri., plás., peg.	gra. e pla.	
Bw1	25-45	10YR 7/4	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	fo., gr. a mgr., bl. ang. a bl. sub.	fri., plás., peg.	gra. e pla.	
Bw2	45-71	10YR 6/6	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	fo., gr. a mgr., bl. ang. a bl. sub.	mfri., plás., peg.	gra. e pla.	
Bw3	71-95	10YR 6/6	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	fo., gr. a mgr., bl. ang. a bl. sub.	mfri., lig. plás., peg.	gra. e pla.	
Bw4	95-122	10YR 7/6	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	mod., méd. a gr., bl. ang. a bl. sub.	mfri., lig. plás., peg.	gra. e pla.	
Bw5	122-150+	10YR 7/6	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	mod., peq. a méd., bl. ang. a bl. sub.	mfri., lig. plás., peg.	-	
Perfil 4 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário êndico, A moderado, distrófico, textura muito argilosa - Floresta									
A	0-5	10YR 4/4	10YR 4/4	-	argilosa	fo., méd. a gr., bl. ang. a gran.	fri., lig. plás., lig. peg.	gra. e ond.	
BA	5-17	10YR 5/6	10YR 5/6	-	muito argilosa	mod., peq. a méd., bl. ang. a bl. sub.	fri., plás., peg.	gra. e ond.	
Bcf1	17-42	10YR 7/4	10YR 5/6	-	muito argilosa	mod., méd. a gr., bl. ang. a bl. sub.	fri., lig. plás., lig. peg.	gra. e ond.	
Bcf2	42-69	-	-	-	muito argilosa	-	-	gra. e ond.	
Bcf3	69-102	-	-	-	muito argilosa	-	-	gra. e ond.	
Bcf4	102-150+	-	-	-	muito argilosa	-	-	-	
Perfil 5 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário êndico, A moderado, distrófico, textura argilosa - Pastagem									
Ap	0-11	10YR 5/3	10YR 4/4	-	franco-argilo-arenosa	mod., peq. a méd., bl. ang. a bl. sub.	fri., lig. plás., lig. peg.	cla. e pla.	
AB	11-29	10YR 5/6	10YR 3/4	-	argilo-arenosa	fo., méd. a gr., bl. ang. a bl. sub.	fri., lig. plás., lig. peg.	gra. e pla.	
BA	29-42	10YR 5/6	10YR 4/6	-	argilo-arenosa	fo., méd. a gr., bl. ang. a bl. sub.	fri., plás., peg.	cla. e pla.	
Bw	42-72	10YR 7/6	10YR 4/6	-	argilo-arenosa	mod., peq. a méd., gran.	fri., plás., peg.	cla. e pla.	
Bcf1	72-109	10YR 7/6	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	fo., peq. a méd., bl. ang. a bl. sub.	fri., plás., peg.	dif. e pla.	
Bcf2	109-148	10YR 6/6	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	fr., mpeq. a peq., bl. ang. a bl. sub.	fri., lig. plás., lig. peg.	dif. e pla.	
Bf	148-160+	10YR 6/6	10YR 5/6	-	argilo-arenosa	fr., peq., bl. ang.	fri., lig. plás., lig. peg.	-	
Perfil 6 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico cambissólico, A moderado, textura argilosa - Pastagem									
Ap	0-10	5YR 4/6	2,5YR 3/4	-	argilosa	fo., méd. a gr., bl. ang. a bl. sub.	fri., plás., peg.	gra. e pla.	
Bw1	10-28	2,5YR 3/6	2,5YR 2,5/4	-	argilosa	fo., méd. a gr., bl. ang. a bl. sub.	fri., plás., peg.	gra. e pla.	
Bw2	28-50	2,5YR 4/8	2,5YR 2,5/4	-	argilosa	fo., méd. a gr., bl. ang. a bl. sub.	fri., lig. plás., lig. peg.	gra. e pla.	
Bw3	50-72	2,5YR 4/8	2,5YR 2,5/4	-	argilosa	fo., méd. a gr., bl. ang. a bl. sub.	fri., lig. plás., lig. peg.	-	

¹⁾ fr.: fraca; mod.: moderada; fo.: forte; peq.: pequena; mpeq.: muito pequena; méd.: média; gr.: grande; mgr.: muito grande; gran.: granular; bl. ang.: blocos angulares; e bl. sub.: blocos subangulares; ²⁾ mfri.: muito friável; fri.: friável; lig. plás.: ligeiramente plástico; plás.: plástico; mplás.: muito plástico; lig. peg.: ligeiramente pegajoso; peg.: pegajoso; e mpeg.: muito pegajoso; ³⁾ cla.: clara; pla.: plana; gra.: gradual; e dif.: difusa; po.: pouco; e co.: comum.

A ADA apresentou valores elevados nos horizontes superficiais decrescendo nos horizontes subsuperficiais até ficar toda floclada. Esses resultados corroboram com os estudos de Campos et al. (2012) e Santos et al. (2013), que estudaram topossequência de solos na região amazônica e observaram que os horizontes superficiais apresentaram mais ADA em relação aos subsuperficiais. Esses elevados teores de ADA e baixo G_{Flo} nos horizontes superficiais podem estar relacionados às características da argila presente no sistema e provavelmente ao maior teor de matéria orgânica na superfície, que quando decomposta pode contribuir para o aumento das cargas elétricas do solo, diminuindo a atividade de elementos responsáveis pela agregação e floclação dessas partículas (Guimarães et al., 2013), além disso, pode-se atribuir também, aos teores elevados de alumínio nos horizontes superficiais e a exsudação de substâncias pelas raízes das plantas (Alleoni e Camargo 1994).

A relação S/A apresentou valores variando de 0,03 a 0,36, sendo que os maiores valores foram observados no P6 (0,20-0,36) e os menores valores nos P1, P2 e P3 (0,03-0,12) indicando que esses perfis possuem o maior grau de intemperismo. Segundo Jacomine (2005), quanto maior a relação S/A menos intemperizado é o solo. Estudo de Pereira et al. (2013), observaram que, valores inferiores a 0,6, em horizontes que apresentam textura argilosa, indicam elevado grau de intemperismo.

Os valores de D_s variam de 0,90 a 1,56 $g\ cm^{-3}$, sendo os menores valores observados no P4 e os maiores valores nos demais perfis que não diferiram entre si. Os valores elevados de D_s estão associados aos elevados teores de areia, corroborando com Giarola et al. (2002), que observaram correlação positiva entre a D_s e a fração areia. Os menores valores de D_s foram observados nos horizontes superficiais, que segundo Martins et al. (2006) e Franciscon et al. (2019), os menores valores de densidade nos horizontes superficiais em relação à subsuperfície, são devido ao maior teor de matéria orgânica. A compactação dos solos em horizontes subsuperficiais podem ser atribuídas, a pressão exercida pelos horizontes superficiais e pelo aumento no conteúdo de argila em profundidade, corroborando com, Campos et al. (2012) e Franciscon et al. (2019).

A P_t apresentou valores oscilando de 0,45 a 0,68 $m^3\ m^{-3}$, apresentando comportamento inverso ao encontrado na D_s , entretanto apresentou valores acima de 0,50 $m^3\ m^{-3}$ para maioria dos horizontes superficiais e subsuperficiais estudados, esse fator pode ser atribuído a granulometria do solo que é preenchida em grande parte pela fração areia grossa. Esses resultados corroboram com os encontrados por Santos et al. (2019), que caracterizaram e classificaram terras mulatas no Amazonas.

A Dp exibiu valores variando de 2,60 a 2,90 g cm⁻³, entretanto foi observada poucas variações entre os perfis e os horizontes avaliados, indicando uma homogeneidade entre os ambientes estudados, corroborando com Viana et al. (2011), que destacaram que a variável sofre pouca influenciada pelas ações antrópicas.

Tabela 1.3 Caracterização física dos perfis de solos em uma topossequência sob arenito/gnaiss em União Bandeirantes, Porto Velho, Rondônia.

Horiz.	Prof. cm	Cascalho	TFSA	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	ADA	G _{Flo}	S/A	Ds	Dp	Pt
				g kg ⁻¹						%		g cm ⁻³		m ³ m ⁻³
Perfil 1 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa – Mata ciliar														
A	0-7	44	956	669	448	221	35	296	220	25	0,12	1,13	2,63	0,57
AB	7-18	47	953	644	400	244	34	322	201	37	0,11	1,34	2,89	0,54
BA	18-31	47	953	593	377	216	33	374	312	17	0,09	1,51	2,90	0,48
Bw1	31-55	43	957	603	392	211	30	367	62	83	0,08	1,46	2,90	0,50
Bw2	55-92	38	962	593	367	226	12	395	0	100	0,03	1,46	2,82	0,48
Bw3	92-130	33	967	617	399	218	13	370	0	100	0,04	1,42	2,89	0,51
Bw4	130-160+	44	956	634	439	195	29	337	0	100	0,09	1,39	2,90	0,52
Perfil 2 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa – pastagem														
AB	0-11	39	961	657	408	249	28	315	257	18	0,09	1,44	2,83	0,49
BA	11-25	37	963	601	385	216	18	381	312	18	0,05	1,56	2,86	0,45
Bw1	25-50	37	963	574	355	219	40	386	34	91	0,10	1,47	2,77	0,47
Bw2	50-90	59	941	556	307	249	36	408	0	100	0,09	1,41	2,60	0,46
Bw3	90-125	48	952	557	333	224	39	404	0	100	0,10	1,40	2,90	0,52
Bw4	125-150+	39	961	566	332	234	30	404	0	100	0,07	1,36	2,92	0,54
Perfil 3 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa – Floresta														
A	0-10	11	989	644	470	174	34	322	256	20	0,11	1,16	2,74	0,58
BA	10-25	9	991	568	371	197	34	398	341	14	0,09	1,45	2,83	0,49
Bw1	25-45	12	988	528	345	183	25	447	391	13	0,06	1,37	2,72	0,50
Bw2	45-71	11	989	520	350	170	23	457	0	100	0,05	1,47	2,90	0,49
Bw3	71-95	15	985	530	345	185	28	442	0	100	0,06	1,38	2,83	0,51
Bw4	95-122	18	982	529	361	168	48	423	0	100	0,11	1,39	2,90	0,52
Bw5	122-150+	13	987	483	302	181	46	471	0	100	0,10	1,43	2,90	0,51
Perfil 4 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário êndico, A moderado, distrófico, textura muito argilosa – Floresta														
A	0-5	49	951	405	269	136	107	488	408	16	0,22	0,90	2,77	0,68
BA	5-17	479	521	251	146	105	133	616	295	52	0,22	-	2,90	-
Bcf1	17-42	575	425	235	143	92	89	676	0	100	0,13	-	2,89	-
Bcf2	42-69	618	382	270	164	106	93	637	0	100	0,15	-	2,87	-
Bcf3	69-102	641	359	278	178	100	74	648	0	100	0,11	-	2,90	-
Bcf4	102-150+	647	353	301	198	103	63	636	0	100	0,10	-	2,90	-
Perfil 5 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário êndico, A moderado, distrófico, textura argilosa – Pastagem														
Ap	0-11	41	959	621	409	212	55	324	275	15	0,17	1,36	2,84	0,52
AB	11-29	37	963	523	318	205	54	423	372	12	0,13	1,43	2,90	0,51
BA	29-42	40	960	484	281	203	63	453	415	8	0,14	1,42	2,90	0,51
Bw	42-72	38	962	471	279	192	56	473	8	98	0,12	1,16	2,90	0,60
Bcf1	72-109	490	510	474	289	185	39	487	0	100	0,08	-	2,90	-
Bcf2	109-148	847	153	492	310	182	40	468	0	100	0,08	-	2,90	-
Bf	148-160+	361	639	557	402	155	47	396	0	100	0,12	-	2,90	-
Perfil 6 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico cambissólico, A moderado, textura argilosa – Pastagem														
Ap	0-10	25	975	447	181	266	145	408	262	36	0,36	1,26	2,89	0,56
Bw1	10-28	23	977	387	139	248	101	512	0	100	0,20	1,14	2,88	0,60
Bw2	28-50	38	962	391	157	234	109	500	0	100	0,22	1,17	2,90	0,60
Bw3	50-72+	92	908	377	148	229	131	492	0	100	0,27	1,14	2,90	0,61

ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação; S/A: silte/argila; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; e Pt: porosidade total.

1.3.3. Atributos químicos

Os resultados da análise química mostraram baixos valores de pH, altos teores de Al³⁺, H+Al e disponibilidade limitada de nutrientes como Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ e P nesses solos (Tabela 1.4). Esses resultados são devidos a acentuada lixiviação de bases nesses perfis devido às intensas e frequentes chuvas na floresta amazônica (Freitas et al., 2013).

Esses respectivos resultados corroborando com Braz et al. (2013) e Zenero et al. (2016), aos quais estudaram solos sob floresta e pastagem na Amazônia.

Os menores valores de pH em H₂O, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e maiores de Al³⁺ e H+Al foram encontrados nas áreas de floresta (P1, P3 e P4) em relação as pastagens (P2, P5 e P5) nos horizontes superficiais do solo. Considerando que, no pasto, os solos são menos ácidos e possuem mais nutrientes (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺), provavelmente devido ao manejo do solo, pois o uso de fogo para remoção de florestas é muito comum nessa região e as cinzas depositadas no solo elevam o valor do pH e a disponibilidade de nutrientes, que pode permanecer alta por décadas (Araújo et al., 2011; Braz et al., 2013; e Zenero et al., 2016).

Em todos os perfis os valores de pH em H₂O e KCl, variaram de 3,80 a 5,77 e 3,46 a 4,69 respectivamente. Para todos os horizontes em todos os perfis, os valores de pH em KCl foram inferiores ao pH em água, estabelecendo um ΔpH negativo (-1,20 a -0,33), evidenciando predominância de cargas negativas, mostrando que nesses solos a capacidade de troca catiônica (CTC) excede a capacidade de troca aniônica (CTA) sob condições naturais de pH (Fernandes et al., 2008). O valor de ΔpH negativo em solos amazônicos, em grande parte se deve a predominância de mineralogia caulínica e oxídica desses solos (Souza et al., 2018). Esse resultado também foi observado por Carvalho et al. (2007), que estudaram, alterações nos atributos químicos em Latossolo após remoção de vegetação nativa para uso agrícola em Vilhena, Rondônia. Os elevados valores negativos de ΔpH foram observados nos perfis sobre pastagens, corroborando com Zenero et al. (2016), que também encontraram os maiores valores em áreas sob pastagem no Amazonas.

Em relação aos perfis de solos observou-se maiores teores das bases trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) nos horizontes superficiais em relação aos subsuperficiais. E consequentemente SB e V% que também apresentaram os maiores valores na superfície e variaram de 0,25 a 3,44 cmol_c kg⁻¹, e 4,85 a 45,32% respectivamente. Podemos atribuir o respectivo resultado à adição de matéria orgânica na superfície do solo e maior capacidade de trocar cátions que também foram observados nos horizontes superficiais variando de 1,61 a 12,17 cmol_c kg⁻¹. Essas observações também foram feitas por Kweon et al. (2013) e Franciscon et al. (2019), que atribuíram o valor elevado da CTC nos horizontes superficiais do solo a matéria orgânica. Os maiores teores em todos os perfis, foram observados no P6 (LATOSSOLO VERMELHO) quando comparados aos demais perfis, podemos atribuir tal comportamento ao material de origem que muda de

formações superficiais (P1 a P5), para complexo gnáissico-migmatítico Jaru (P6) (Adamy, 2010).

O Al^{3+} e H+Al apresentaram valores variando de 0,24 a 2,68 e 1,33 a 11,58 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ respectivamente. Para o Al^{3+} observamos os maiores valores no P4 e os menores no P6, entre os horizontes, observamos os menores valores em grande parte, nos horizontes superficiais em relação aos subsuperficiais. Para a H+Al observamos os maiores valores no P4 e menores no P2, entretanto ele apresentou relação inversa ao Al^{3+} , sendo observado seus maiores teores nos horizontes superficiais. Segundo Guimarães et al. (2013), a atividade do alumínio em solução é controlada pelos valores de pH, sendo baixa ou nula em valores superiores a 5,5.

Os solos estudados apresentaram saturação por alumínio superior a 50% para o P1 ao P5 indicando que esses solos são álicos, entretanto o P6 e os horizontes superficiais do P2 e P5 apresentaram valores menores que 50% indicando que esses solos são não-álicos. Souza et al. (2018), estudando solos do Amazonas encontraram valores de saturação por alumínio (m) superiores a 50%. Esses resultados são comuns em solos amazônicos, devido a remoção das bases por lixiviação (Freitas et al., 2013).

Os níveis de fósforo disponíveis variaram de 0,16 a 5,48 mg kg^{-1} , sendo os maiores teores encontrados no P4, além disso, observamos que, os ambientes de floresta possuem maiores teores em relação as pastagens nos horizontes subsuperficiais e os teores diminuem em profundidade. Os presentes resultados corroborando com Franciscon et al. (2019), que também observou que o P diminui com aumento da profundidade em solos de ambientes naturais do Amazonas. Já Freitas et al. (2013), atribuíram tal situação a disponibilização de fósforo pela decomposição da matéria orgânica com sua baixa mobilidade no solo e à baixa contribuição da deposição de cinzas devido à queima, no caso de baixos teores em ambientes de pastagens.

Tabela 1.4 Caracterização química dos perfis de solos em uma topossequência sob arenito/gnaiss em União Bandeirantes, Porto Velho, Rondônia.

Horiz.	Prof. cm	pH		Δ pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	CTC	CTC _{Arg.}	V	m	P	COT
		H ₂ O	KCl		cmol _c Kg ⁻¹								-----%-----		mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	
Perfil 1 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa – Mata ciliar																	
A	0-7	4,51	3,77	-0,74	0,29	0,18	0,18	0,05	0,70	1,77	9,31	10,01	33,82	6,99	71,66	3,72	29,94
AB	7-18	4,35	3,77	-0,58	0,28	0,11	0,10	0,02	0,51	1,92	7,20	7,71	23,94	6,61	79,01	2,21	17,56
BA	18-31	4,36	3,88	-0,48	0,25	0,06	0,03	0,01	0,35	1,20	3,44	3,79	10,13	9,23	77,42	0,81	9,92
Bw1	31-55	4,32	3,89	-0,43	0,27	0,06	0,03	0,01	0,37	1,01	3,60	3,97	10,82	9,32	73,19	0,48	10,93
Bw2	55-92	4,21	3,90	-0,31	0,25	0,05	0,01	nd	0,31	1,15	3,60	3,91	9,90	7,93	78,77	0,34	6,76
Bw3	92-130	4,33	4,00	-0,34	0,23	0,05	0,01	nd	0,29	0,91	2,66	2,95	7,97	9,83	75,83	0,27	6,38
Bw4	130-160+	4,59	4,13	-0,46	0,24	0,04	nd	nd	0,28	0,86	2,27	2,55	7,57	10,98	75,44	0,16	6,06
Perfil 2 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa – Pastagem																	
AB	0-11	5,53	4,33	-1,20	1,06	0,20	0,28	0,02	1,56	0,57	3,60	5,16	16,38	30,23	26,76	1,24	15,03
BA	11-25	5,03	4,08	-0,95	0,69	0,11	0,05	0,01	0,86	0,57	3,44	4,30	11,29	20,00	39,86	0,55	10,86
Bw1	25-50	4,81	4,18	-0,63	0,32	0,05	0,09	nd	0,46	0,96	3,05	3,51	9,09	13,11	67,61	0,45	8,08
Bw2	50-90	4,63	4,16	-0,47	0,29	0,05	0,02	nd	0,36	1,25	3,44	3,80	9,31	9,47	77,64	0,48	6,19
Bw3	90-125	4,76	4,17	-0,59	0,31	0,04	0,02	nd	0,37	1,15	2,58	2,95	7,30	12,54	75,66	0,19	6,69
Bw4	125-150+	4,87	4,21	-0,66	0,31	0,05	nd	nd	0,36	0,81	1,88	2,24	5,54	16,07	69,23	0,19	6,32
Perfil 3 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa – Floresta																	
A	0-10	4,03	3,52	-0,51	0,29	0,12	0,08	nd	0,49	1,82	7,04	7,53	23,39	6,51	78,79	3,32	16,67
BA	10-24	4,22	3,78	-0,44	0,23	0,06	0,02	nd	0,31	1,72	5,40	5,71	14,35	5,43	84,73	0,95	12,44
Bw1	25-45	4,31	3,81	-0,51	0,27	0,06	0,01	0,01	0,35	1,63	4,38	4,73	10,58	7,40	82,32	0,52	11,37
Bw2	45-71	4,51	3,98	-0,53	0,27	0,06	0,01	nd	0,34	1,44	3,76	4,10	8,97	8,29	80,90	0,45	9,35
Bw3	71-95	4,58	4,07	-0,51	0,25	0,04	nd	nd	0,29	1,39	3,37	3,66	8,28	7,92	82,74	0,19	8,84
Bw4	95-122	4,41	4,08	-0,33	0,25	0,04	nd	nd	0,29	1,39	3,05	3,34	7,90	8,68	82,74	0,09	7,33
Bw5	122-150+	4,49	4,10	-0,39	0,25	0,04	nd	nd	0,29	1,44	2,66	2,95	6,26	9,83	83,24	0,09	5,56
Perfil 4 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário êndico, A moderado distrófico, textura muito argilosa – Floresta																	
A	0-5	3,80	3,46	-0,35	0,31	0,12	0,15	0,01	0,59	2,68	11,58	12,17	24,94	4,85	81,96	5,48	33,09
BA	5-17	4,53	4,02	-0,51	0,23	0,38	0,04	nd	0,65	1,39	5,09	5,74	9,32	11,32	68,14	1,20	14,21
Bcf1	17-42	4,68	4,10	-0,59	0,22	0,06	0,02	nd	0,30	1,39	3,99	4,29	6,35	6,99	82,25	0,59	11,43
Bcf2	42-69	4,81	4,17	-0,65	0,22	0,05	0,01	nd	0,28	0,91	2,97	3,25	5,10	8,62	76,47	0,19	9,09
Bcf3	69-102	4,99	4,18	-0,82	0,25	0,04	nd	nd	0,29	0,86	3,13	3,42	5,28	8,48	74,78	0,16	7,52
Bcf4	102-150+	5,01	4,21	-0,80	0,20	0,05	nd	nd	0,25	0,96	2,19	2,44	3,84	10,25	79,34	0,23	7,07
Perfil 5 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário êndico, A moderado, distrófico, textura argilosa – Pastagem																	
Ap	0-11	4,73	3,95	-0,78	0,60	0,09	0,05	0,01	0,75	0,53	5,24	5,99	18,49	12,52	41,41	1,20	17,56
AB	11-29	4,76	3,96	-0,80	0,53	0,05	0,03	0,01	0,62	1,10	4,38	5,00	11,82	12,40	63,95	0,55	13,77
BA	29-42	4,61	3,98	-0,64	0,36	0,05	0,01	nd	0,42	1,29	4,85	5,27	11,63	7,97	75,44	0,59	12,25
Bw	42-72	4,71	3,97	-0,74	0,28	0,05	0,01	nd	0,34	1,20	2,82	3,16	6,68	10,76	77,92	0,37	8,53
Bcf1	72-109	4,90	4,02	-0,88	0,28	0,05	nd	nd	0,33	1,10	2,66	2,99	6,14	11,04	76,92	0,37	7,39
Bcf2	109-148	5,06	4,12	-0,94	0,23	0,04	0,01	nd	0,28	0,91	2,19	2,47	5,28	11,34	76,47	0,23	6,32
Bf	148-160+	5,10	4,22	-0,89	0,23	0,04	nd	0,01	0,28	0,67	1,33	1,61	4,07	17,39	70,53	0,27	5,62
Perfil 6 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico cambissólico, A moderado, textura argilosa – Pastagem																	
Ap	0-10	5,77	4,69	-1,08	2,27	0,86	0,30	0,01	3,44	0,24	4,15	7,59	18,60	45,32	6,52	0,91	19,07
Bw1	10-28	5,20	4,22	-0,98	0,51	0,46	0,07	0,01	1,05	0,53	4,85	5,90	11,52	17,80	33,54	0,55	12,19
Bw2	28-50	5,31	4,27	-1,04	0,28	0,54	0,06	0,01	0,89	0,48	4,07	4,96	9,92	17,94	35,04	0,70	9,85
Bw3	50-72+	5,34	4,43	-0,91	0,23	0,52	0,07	0,01	0,83	0,24	3,44	4,27	8,68	19,44	22,43	0,55	10,04

nd: não detectado; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; CTC_{Arg.}: Atividade da fração argila; V: saturação por bases; e m: saturação por alumínio.

Em geral, o conteúdo de carbono orgânico foi concentrado nos horizontes da superfície em todos os perfis, diminuindo com a profundidade. Esses conteúdos variaram de 5,56 a 33,90 g kg⁻¹ sob floresta e de 5,62 a 19,07 g kg⁻¹ sob pastagem. O maior teor de C orgânico nos horizontes da superfície está relacionado à maior entrada de material e ciclagem neste local. Em ambientes tropicais, devido a altas temperaturas e taxas de mineralização da matéria orgânica, a estabilidade deste material é baixa (Zenero et al., 2016). Geralmente, o conteúdo de matéria orgânica é inferior a 30 g kg⁻¹ nos horizontes superficiais na maioria dos solos da Amazônia (Garcia et al., 2013). A conversão da vegetação nativa em pastagem pode produzir o acúmulo de C no solo ou liberar CO₂ para a atmosfera, dependendo do tipo de manejo aplicado ao solo e forragem. Na condição de pastagens não degradadas cultivadas em solos altamente férteis causam o acúmulo de C, porém em solos com baixa fertilidade, a implementação de pastagens resulta em perdas de C no solo. No entanto, a magnitude das perdas depende do grau de degradação das pastagens (Carvalho et al., 2010).

1.3.4. Classificação dos solos

Com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018), os seis perfis foram classificados até o 4 ° nível categórico, sendo utilizado para o 5 ° nível tipo de horizonte A e grupamento textural (Figura 1.4).

Para os horizontes superficiais não houveram variações, apresentando apenas A moderado com profundidade variando de 5 a 11 cm, com exceção do P2 que teve o horizonte A removido. Isso deve-se a quatro fatores, a substituição da vegetação nativa, o relevo mais íngreme, a elevada pluviosidade (Zenero et al., 2016) e a textura do solo, composta principalmente de partículas do tamanho de areia e composta de quartzo, favorecendo a menor estabilização dos agregados (Almajmaie et al., 2017), esses fatores contribuem ainda para maior fragilidade estrutural causando a remoção de partículas de solo não permitindo o desenvolvimento de horizontes A mais profundos e muitas vezes removendo-os.

Os solos estudados em relação a taxonomia apresentaram duas ordens: Latossolo e Plintossolo, variando apenas o 2 ° e 4 ° nível categórico para os Latossolos e o 5 ° nível categórico para os Plintossolos. De maneira geral, os solos possuem baixa fertilidade sendo caracterizados como distróficos. Os Latossolos estão relacionados a ambientes mais altos com relevo plano a suave ondulados, bem drenados, com declividade variando de 0,5 a 4,5%, esses solos são profundos com textura argilosa. Os Plintossolos estão relacionados a ambientes mais baixos com relevo suave ondulado a ondulados, moderadamente drenados, com declividades

variando de 1,6 a 9,0%, apresentam textura argilosa a muito argilosa e mais de 50% de material grosseiro com predomínio de petroplintita.

O relevo como condicionante para modificações do solo, não gerou variações suficientes para diferir nos níveis categóricos para os Latossolos, onde a mudança observada foi apenas para o 2° e 4° nível categórico no P6, sendo estas relacionadas mais ao material de origem, que muda de formações superficiais para complexo gnáissico-migmatítico (Adamy, 2010). Nos Plintossolos foram observadas mudança apenas no grupamento textural.

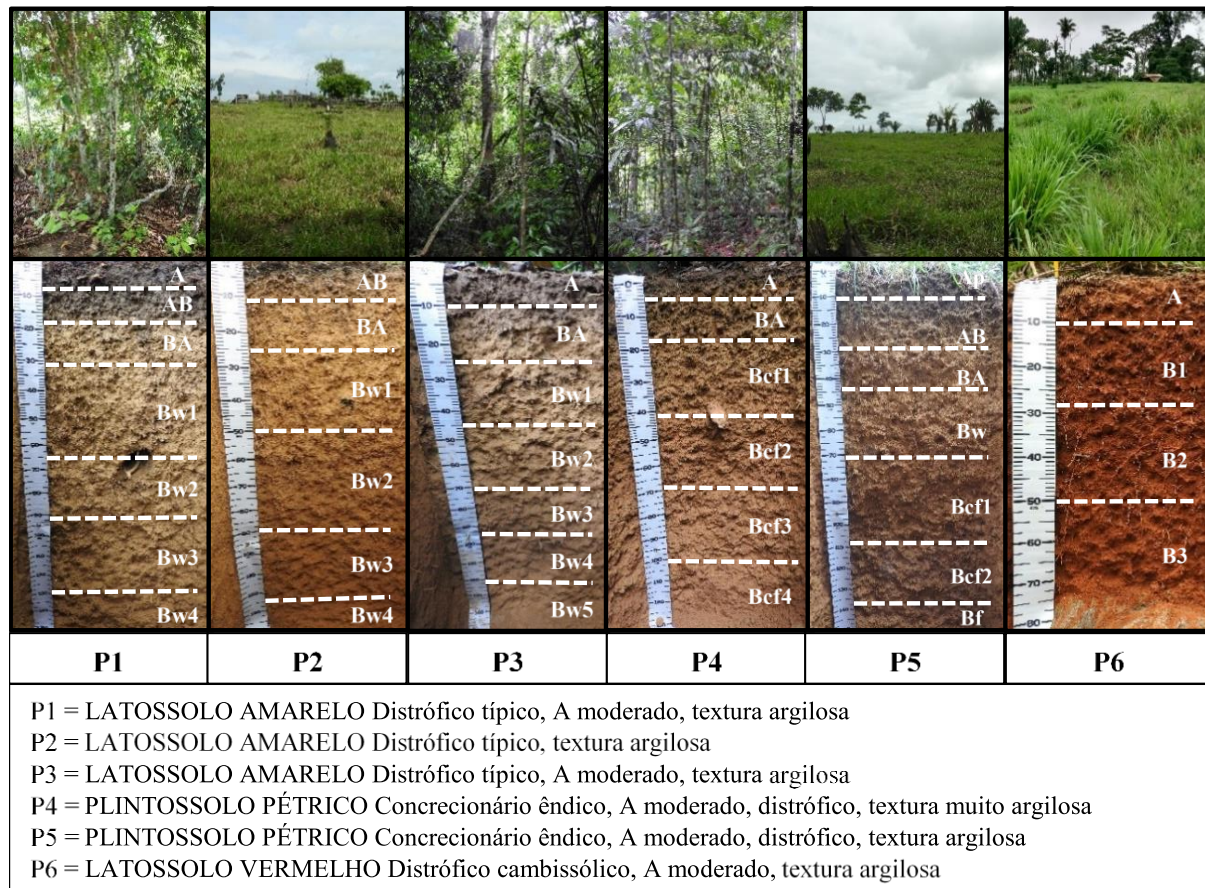


Figura 1.4 Imagens dos ambientes e perfis classificados em uma topossequência sob arenito/gnaiss em União Bandeirantes, Porto Velho, RO.

1.3.5. Análise multivariada

Na análise de agrupamento, usando conjuntamente os atributos químicos e físicos, com base no gráfico de *Amalgamation schedule*, foi admitido um corte na distância euclidiana de 170 para o horizonte superficial e 470 para o horizonte subsuperficial (Figura 1.5). Foi observado no horizonte superficial a formação de três grupos, sendo o GI e GII representado pelo P6 e P4 respectivamente, que formaram grupos independentes, isso indica que os atributos químicos e físicos apresentam baixo valor de similaridade com os outros perfis (Souza et al.,

2018). Resultado inverso podemos observar no GIII formado pelos perfis P1, P2, P3 e P5 (Figura 1.5A). No horizonte subsuperficial observou-se a formação de dois grupos, sendo o GI representado pelos Plintossolos (P4 e P5) e o GII representado pelos Latossolos (P1, P2, P3 e P6). Esses grupos nos horizontes subsuperficiais foram formados devido às características distintas dos solos para os atributos físicos das frações da amostra (TFSA e cascalho) e granulometria (areia e argila). Isso evidencia que a análise de agrupamentos é importante para distinguir ordens de solos. No mesmo sentido a presente evidência corrobora com Campos et al. (2010), que usou a análise de agrupamentos para distinguir ambientes geomórficos. Resultados consistentes também são os realizados por Freitas et al. (2015), estudando as mudanças nos atributos químicos e físicos do solo submetido à cana-de-açúcar, florestas e reflorestamentos, com o uso de dendrograma e outras técnicas estatísticas multivariadas.

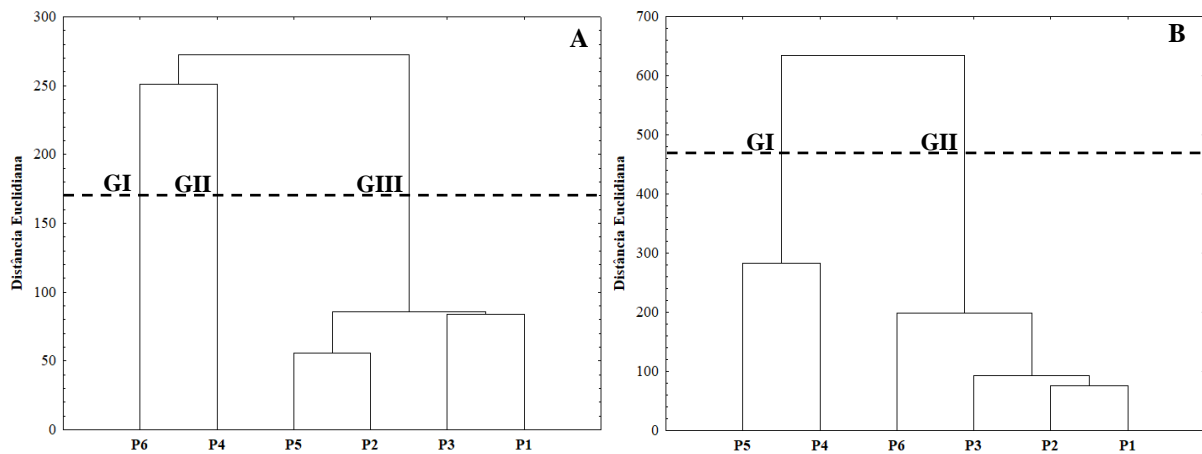


Figura 1.5 Dendrograma resultante da análise de agrupamento das classes de solos representadas em uma topossequência sob arenito/gnaiss em União Bandeirantes, Porto Velho, Rondônia, no horizonte superficial (A) e no subsuperficial (B).

A análise de componentes principais para os horizontes superficiais, permitiu a redução dos números de variáveis, agrupando, 15 variáveis originais em dois fatores (Figura 1.6A). Sendo eles capazes de explicar 92,60% da variância das variáveis com autovalores maiores que 1. O CP1 explica 64,38%, sendo responsável pelos atributos relacionados a acidez (pH em H₂O e KCl, Δ pH, Al³⁺, H+Al), CTC, P, COT, AF, Ds e Pt, o CP2 explica 28,22%, sendo responsável por explicar as bases trocáveis (Ca²⁺ e Mg²⁺) e as frações granulométricas (AG, silte e argila). No CP1, Δ pH, Al³⁺, H+Al, CTC, P, COT e Pt apresentaram valores positivos enquanto pH em H₂O e KCl, AF e Ds apresentaram valores negativos, isso indica que os atributos que apresentaram os mesmos sinais possuem correlação direta enquanto os que possuem sinais opostos possuem correlação inversa. No CP2, Ca²⁺, Mg²⁺, silte e argila apresentaram valores positivos, enquanto AG negativo. Ao observarmos o plano fatorial, para

os horizontes superficiais, verifica-se a formação de três grupos, sendo o primeiro formado pelo P1, P3 e P5 estão sendo discriminado pela AG, o segundo composto por P2 e P6 que é caracterizado pelo Ca^{2+} , Mg^{2+} , pH em água e KCl, AF e Ds, e por fim o grupo três pertencente ao P4 discriminado pela argila, silte, Pt, CTC, COT, H+Al, P, Al^{3+} e ΔpH . Atribuimos os valores acima da média para Ca^{2+} , Mg^{2+} , pH em água e KCl, observado no grupo dois ao uso do fogo que é para limpeza das áreas (Zenero et al., 2016).

Pantoja et al. (2019), estudando solos sobre diferentes usos no Amazonas, observaram que a acidez do solo é o principal fator limitante para o desenvolvimento das culturas, exigindo a adoção de práticas corretivas de pH com melhorias no suprimento de nutrientes. Sendo o grupo três caracterizado principalmente pelos componentes da acidez dos solos e por se tratar de um ambiente natural, atribuímos isso a deposição de matéria orgânica na superfície do solo pela floresta (Morais et al., 2012), que devido sua decomposição, libera compostos orgânicos na superfície do solo, favorecendo a formação de complexos orgânicos hidrossolúveis, entre Ca^{2+} e Mg^{2+} com ligantes orgânicos, facilitando a descida desses cátions no perfil do solo (Freitas et al., 2015), o que ocasiona a acidificação do solo.

Ao analisarmos os componentes principais para os horizontes subsuperficiais, observamos que reduzimos 12 variáveis originais em dois fatores (Figura 1.6B). Sendo eles capazes de explicar 87,36% da variância das variáveis com autovalores maiores que 1. O CP1 explica 46,52%, sendo responsável pelos atributos pH em H_2O e KCl, ΔpH , Al^{3+} , AG e silte, o CP2 explica 40,84% da variância, sendo responsável por H+Al, CTC, P, TFSA, cascalho e AF. No CP1, pH em H_2O e KCl e silte apresentaram valores positivos enquanto, ΔpH , Al^{3+} e AG apresentaram valores negativos, isso indica que os atributos que apresentaram os mesmos sinais possuem correlação direta enquanto os que possuem sinais opostos possuem correlação inversa. No CP2, H+Al, CTC, P, TFSA e AF apresentaram valores positivos, enquanto cascalho negativo. Ao avaliarmos o plano fatorial, para os horizontes subsuperficiais, verifica-se a formação de três grupos, o primeiro grupo pertence aos Latossolos Amarelos, sendo composto pelo P1, P2 e P3 sendo discriminado pela TFSA, AF, AG, ΔpH e Al^{3+} , o segundo grupo pertence aos Plintossolos Pétricos, formado pelo P4 e P5 que são discriminados pelo cascalho, e por fim o terceiro grupo formado pelo P6 pertencente ao Latossolo Vermelho, que é discriminado pela H+Al, CTC, P, pH em H_2O e KCl e silte. Atribuimos a formação de três grupos nos horizontes subsuperficiais, ao material de origem que é diferente nos Latossolos Amarelos e Plintossolos Pétricos (formações superficiais) para Latossolos Vermelhos (complexo gnáissico-migmatítico) (Adamy, 2010).

Pantoja et al. (2019), estudando análise multivariada na avaliação dos atributos do solo em áreas de diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas, concluíram que a classificação multivariada com base nos atributos físicos e químicos do solo pode auxiliar no planejamento adequado do uso do solo e indicar quais atributos são mais sensíveis para os ambientes estudados.

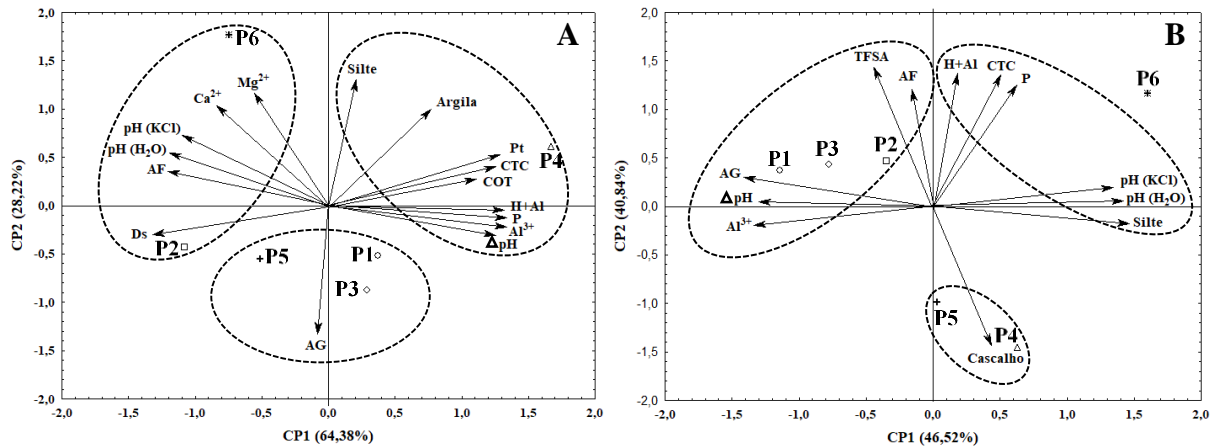


Figura 1.6 Análise de componentes principais para os horizontes superficiais (A) e subsuperficiais (B) dos solos estudados em uma topossequência em União Bandeirante, Porto Velho, Rondônia.

1.4. Conclusões

Ao longo da topossequência foram observadas duas ordens de solos, sendo Latossolos e Plintossolos. Os Latossolos estão relacionados aos ambientes planos, bem drenados enquanto os Plintossolos aos ambientes com relevo mais ondulado, moderadamente drenado, próximo aos rios.

Os solos estudados sofreram alterações nos horizontes superficiais, na granulometria, densidade do solo, bases trocáveis e os componentes da acidez, sendo que os perfis sobre área de pastagem possuíam maior fertilidade em relação as áreas de floresta.

Por meio da análise multivariada para os horizontes diagnósticos observamos a formação de três grupos de solos para a topossequência estudada: os Latossolos Amarelos, que são bastante intemperizados, com elevados teores de areia e alumínio trocável; os Plintossolos Pétricos, com elevados teores de cascalho; e os Latossolos Vermelhos, que são solos um pouco mais férteis, com elevada capacidade de trocar cátions, pH e silte em relação aos demais.

1.5. Referências bibliográficas

Adamy, A., 2010. **Geodiversidade do estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 337 p.

Alleoni, L. R. F.; Camargo, O. A. Atributos físicos de Latossolos Ácricos do norte paulista. **Scientia Agricola**, v. 51, p. 321-326, 1994. doi: 10.1590/S0103-90161994000200019

Almajmaie, A.; Hardie, M.; Doyle, R.; Birch, C.; Acuna, T. Influence of soil properties on the aggregate stability of cultivated sandy clay loams. **Journal of Soils and Sediments**, v. 17, n 3, p. 800-809, 2017. doi: 10.1007/s11368-016-1568-1

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, 711–728, 2013. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507

Amaral, E. F.; Melo, A. W. F.; Oliveira, T. K. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos da região de inserção do projeto RECA, Estados de Rondônia, Acre e Amazonas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000, p.21.

Araújo, E. A.; Ker, J.C.; Mendonça, E. S.; Silva, I. R.; Oliveira, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem em estoques e resíduos de carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta amazônica**, n. 41, p. 103-114, 2011. doi: 10.1590/S004459672011000100012

Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes – ABIEC, 2019. **Perfil da pecuária no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/PublicacoesLista.aspx>>. Acessado em 09/05/2019.

Braz, A. M. S.; Fernandes, A. R.; Alleoni, L. R. F. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in Amazon. **Land Degradation & Development**, v. 24, n. 1, p. 33-38, 2013. doi: 10.1002/ldr.1100

Burak, D. L.; Passos, R. R.; Sarnaglia, S. A. Utilização da análise multivariada na avaliação de parâmetros geomorfológicos e atributos físicos do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 9, p. 1-11, 2010.

Campos, M. C. C.; Ribeiro, M. R.; Souza Júnior, V. S. D.; Ribeiro Filho, M. R.; Almeida, M. C. Toposequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta amazônica**, v. 42, n. 3, 387-398, 2012. doi: 10.1590/S0044-59672012000300011.

Campos, M. C. C.; Ribeiro, M. R.; Souza Júnior, V. S. D.; Ribeiro Filho, M. R.; Costa, E. U. C. D. Segmentos de vertente e atributos do solo de uma toposequência na região de Manicoré, AM. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 501-510, 2010. doi: 10.1590/S1806-66902010000400001

Capoane, V.; Tiecher, T.; Santos, D. R. Variação de atributos do solo ao longo de três toposequências no planalto do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 5, p. 1435-1454, 2017. doi: 10.26848/rbgf.v10.5.p1435-1454

Carvalho, J. L. N., Raucci, G. S., Cerri, C. E. P., Bernoux, M., Feigl, B. J., Wruck, F. J., & Cerri, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 175-186, 2010. doi: 10.1016/j.still.2010.07.011

Carvalho, J. L. N.; Cerri, C. E. P.; Cerri, C. C.; Feigl, B. J.; Píccolo, M. D. C.; Godinho, V. P.; Herpin, U. Changes of chemical properties in an Oxisol after clearing of native Cerrado

vegetation for agricultural use in Vilhena, Rondonia State, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1-2, p. 95-102, 2007. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.04.001>

Chagas, C. S.; Fontana, A.; Carvalho Junior, W.; Caires, S. M. Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1441-1453, 2013. doi: 10.1590/S0100-06832013000600002

Corrêa Neto, T. D. A.; Camara, R.; Anjos, L. H. C.; Correia, M. E. F.; Pereira, M. G.; Jaccoud, C. F. S. Relação fauna do solo-paisagem em plantio de eucalipto em topossequência. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 213-224, 2018. doi: 10.5380/ufv.v48i2.55041

Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 4.ed. revisada e ampliada. Brasília. 2018, 353 p.

Fernandes, J. D.; Chaves, L. H. G.; Oliveira, F. H. T.; Farias, D. R. Ponto de efeito salino nulo e cargas elétricas de solos do estado da Paraíba. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 2, p. 147-155, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/524>

Franciscon, U.; Campos, M. C. C.; Mantovanelli, B. C.; Santos, L. A. C.; Cunha, J. M.; Chechi, L.; Oliveira, I. A. Soils characterization and classification in clean field, dirty field and forest areas in amazonian environments. **Bioscience Journal**, v. 35 n. 4, p. 1083-1098, 2019. doi: 10.14393/BJ-v35n4a2019-42130

Freitas, I. C.; Santos, F. C. V.; Custódio Filho, R. O.; Correchele, V.; Silva, R. B. Agroecossistemas de produção familiares da Amazônia e seus impactos nos atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 17. P. 1310-1317, 2013. doi: 10.1590/S1415-43662013001200009

Freitas, L.; Casagrande, J. C.; Oliveira, I. A.; Campos, M. C. C.; Silva, L. S. Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2015. doi: 10.5039/agraria.v10i1a3928

Garcia, C. H. P.; Lima, H. N.; Silva, F. W. R.; Neves Junior, A. F.; Teixeira, W. G.; Macedo, R. M.; Tavares, S. G. Propriedades químicas e mineralogia de solos com plintita e petroplintita em Iranduba (AM), Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 936-946, 2013. doi: 10.1590 / S0100-06832013000400011

Giarola, N. F. B.; Silva, A. P.; Imhoff, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 885-893, 2002. doi: 10.1590/S0100-06832002000400005

Guimarães, S. T.; Lima, H. N.; Teixeira, W. G.; Neves Junior, A. F.; Silva, F. W. R.; Macedo, R. S.; Souza, K. W. Caracterização e classificação de Gleissolos da várzea do Rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 317-326, 2013. doi: 10.1590/S0100-06832013000200003

Jacomine, P. K. T. Origem e evolução dos conceitos e definições de atributos, horizontes diagnósticos e das classes de solos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P. & CARDOSO, E.J., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p.193-231.

Jenny, H., 1941. **Factors of Soil Formation**, 1 ed, McGraw-Hill, New York.

Kämpf, N.; Curi, N. Óxidos de ferro: Indicadores de ambientes pedogênicos. In: Novais, R.F. Et Al. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.107-138.

Kweon, G.; Lund, E., Maxton, C. Soil organic matter and cation-exchange capacity sensing with on-the-go electrical conductivity and optical sensors. **Geoderma**, v. 199, n. 1, p. 80-89, 2013. doi: 10.1016/j.geoderma.2012.11.001.

Lopes, L. C. M.; Mariano-Neto, E.; Amorin, A. M. Can soil types explain species distributions? Evaluating the woody understory component of a tropical forest in Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 39, n. 1, p. 251-259, 2016. doi: 10.1007/s40415-015-0235-x

Lybrand, R. A.; Rasmussen, C. Climate, topography, and dust influences on the mineral and geochemical evolution of granitic soil in southern Arizona. **Geoderma**, v. 314, p. 245–261, 2018. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.10.042

Martins, G. C.; Ferreira, M. M.; Curi, N.; Vitorino, A. C. T.; Silva, M. L. N. Campos nativos e matas adjacentes da região de Humaitá AM: atributos diferenciados dos solos. **Ciência Agrotecnologia**, v. 30, n. 2, p. 221-227, 2006. doi: 10.1590/S1413-70542006000200005.

Morais, T. P. S.; Pissarra, T. C. T.; Reis, F. C. Atributos físicos e matéria orgânica de um Argissolo Vermelho Amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15, p.213-223, 2012. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias%20agrarias/atributos%20fisicos%20e%20matéria.pdf>

Neves Junior, A. F.; Silva, A. P.; Noronha, N. C.; Cerri, C. C. Sistemas de manejo do solo na recuperação de uma pastagem degradada em Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 232-241, 2013.

Pantoja, J. C. M.; Campos, M. C. C.; Lima, A. F. L. D.; Cunha, J. M. D.; Simões, E. L.; Oliveira, I. A. D.; Silva, L. S. Multivariate analysis in the evaluation of soil attributes in areas under different uses in the region of Humaitá, AM. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 5, 2019. doi: 10.4136/ambi-agua.2342

Pereira, M. G.; Schiavo, J. A.; Fontana, A.; Neto, D.; Hypólito, A.; Miranda, L. P. M. D. Caracterização e classificação de solos em uma topossequência sobre calcário na Serra da Bodoquena, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 25-36, 2013. doi: 10.1590/S0100-06832013000100003.

Perigolo, N. A.; Medeiros, M. B.; Simon, M. F. Vegetation types of the upper Madeira River in Rondônia, Brazil. **Brittonia**, v. 69, n. 4, p. 423-446, 2017. Doi: 10.1007/s12228-017-9505-1

Pinheiro Junior, C. R.; Pereira, M. G.; O. Filho, J. S.; Beutler S. J. Can topography affect the restoration of soil properties after deforestation in a semiarid ecosystem? **Journal of Arid Environments**, v. 162, p. 45–52, 2019. doi: 10.1016/j.jaridenv.2018.11.004

Rodrigues, A. L.; Watzlawick, L. F.; Genú, A. M.; Hess, A. F.; Ebling, Â. A. Atributos de um solo florestal em uma topossequência e relações com a comunidade arbórea. **Floresta**, v. 46, n. 2, p. 145-154, 2016. doi: 10.5380/ufv.v46i2.36219

Saglam, M.; Dengiz, O. Influence of selected land use types and soil texture interactions on some soil physical characteristics in an alluvial land. **International Journal of Plant Production**, v. 3, n. 11, p. 508-513, 2012.

Santos, A. D. C.; Pereira, M. G.; Anjos, L. H. C. D.; Bernini, T. D. A.; Cooper, M.; Nummer, A. R.; Francelino, M. R. Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros do médio Vale do Paraíba do Sul, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1297-1314, 2010. doi: 10.1590/S0100-06832010000400027

Santos, L. A. C. D.; Campos, M. C. C.; Aquino, R. E. D.; Bergamin, A. C.; Silva, D. M. P. D.; Marques Junior, J.; França, A. B. C. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 825-836, 2013. doi: 10.1590/S0100-06832013000400001

Santos, M. C.; Brito, W. B. M.; Santos, L. A. C.; Franciscon, U.; Silva, D. A. P.; Paula Neto, P. Caracterização e classificação de terras mulatas na região de Apuí-Amazonas. **Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio ambiente**, v. 23, n. 2, p. 286-299, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/educamazonia/article/view/6727>

Santos, R. D.; Santos, H. G.; Ker, J. C.; Anjos, L. H. C.; Shimizu, S. H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 7. ed. Viçosa. Sociedade brasileira de Ciência do solo. 2015, 102 p.

Schiavo, J. A.; Pereira, M. G.; Miranda, L. P. M. D.; Neto, D.; Hypólito, A.; Fontana, A. Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana-MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 881-889, 2010. doi: 10.1590/S0100-06832010000300029

Schindwein, J. A.; Marcolan, A. L.; Fioreli-Perira, E. C.; Pequeno, P. L. L.; Militão, J. S. T. L. Solos de Rondônia: usos e perspectivas. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 1, n. 1, p. 2013-2031, 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.unir.br/index.php/rolimdemoura/article/view/612>

Shi, P.; Thorlacius, S.; Keller, T.; Keller, M.; Schulin, R. Soil aggregate breakdown in a field experiment with different rainfall intensities and initial soil water contents. **European Journal of Soil Science**, v. 68, n. 6, p. 853-863, 2017. doi: 10.1111/ejss.12472

Silva, M. O.; Freire, M. B. G. S.; Mendes, A. M. S.; Freire, F. J.; Campos, M. C. C.; Amorim, L. B. Discriminação de diferentes classes de solos irrigados com águas salinas, na região de Mossoró, RN, com o uso de análise multivariada. **Ambiência**, v. 2, p. 261-270, 2010. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/752>

Souza, C. M. P. D.; Thomazini, A.; Schaefer, C. E. G. R.; Veloso, G. V.; Moreira, G. M.; & Fernandes Filho, E. I. Multivariate Analysis and Machine Learning in Properties of Ultisols (Argissolos) of Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, e0170419, 2018. doi: 10.1590/18069657rbcS20170419

Souza, E. S.; Fernandes, A. R.; Braz, A. M. D. S.; Oliveira, F. J.; Alleoni, L. R. F.; Campos, M. C. C. Physical, chemical, and mineralogical attributes of a representative group of soils from the eastern Amazon region in Brazil. **Soil**, v. 4, n. 3, p. 195-212, 2018. doi: 10.5194/soil-4-195-2018

STATSOFT Inc 7.0. **Statistica (data analysis software system)**. USA: 2004.

Teixeira, P. C.; Donagema, G. K.; Fontana, A.; & Teixeira, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 3ª ed. revista e ampliada. – Brasília, DF: Embrapa, 2017, 573 p.

Viana, E. T.; Batista, M. A.; Tormena, C. A.; Costa, A. C. S.; Inoue, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, p. 2105-2114, 2011. doi: 10.1590/S0100-06832011000600025

Wittern, K. P.; Conceição, M. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras em 100 hectares da gleba Machadinho, no município de Ariquemes, Rondônia**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS. Boletim de Pesquisa n. 16. 1982.

Yeomans, J. C.; Bremner, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988. doi: 10.1080/00103628809368027

Zenero, M. D. O.; Silva, L. F. S. D.; Castilho, S. C. D. P.; Vidal, A.; Grimaldi, M.; Cooper, M. Characterization and classification of soils under forest and pasture in an agroextractivist project in Eastern Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-17, 2016. doi: 10.1590/18069657rbc20160165

2. Capítulo II: Atributos químicos do solo em áreas sob conversão floresta/pastagem em Porto Velho, Rondônia

Resumo

O estado de Rondônia é um dos maiores produtores de gado, entretanto a maior parte das pastagens estão em solos de baixa fertilidade. Assim, os pecuaristas compensam a baixa produção das pastagens, aumentando o tamanho das áreas, gerando mais desmatamentos e queimadas. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar os impactos causados nos atributos químicos de solos, em áreas de conversão floresta em pastagens, no município de Porto Velho, Rondônia. O estudo foi realizado no distrito de União Bandeirantes, em uma área de floresta e duas áreas com pastagens (braquiária e mombaça). Em campo foram coletadas amostras de solos em duas profundidades 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, para realizar as análises químicas. Adiante foram feitas as análises estatísticas uni, bi e multivariada, além disso foram realizadas análises geoestatística para o estudo da variabilidade espacial e zonas de manejo. A conversão de floresta em pastagens proporciona incremento nos valores de pH e bases trocáveis, reduzindo os teores de alumínio trocável e acidez potencial, entretanto, induz perdas de fósforo e carbono orgânico do solo. Dentre os ambientes de pastagens a mombaça apresentou fertilidade mais elevada. Observamos maior variabilidade espacial dos atributos químicos no ambiente com mombaça, atribuímos isso a maior intensidade de pastejo e aos micro relevos que direcionam o fluxo de água e nutrientes.

Palavras-Chave: Fertilidade do solo; Indicadores ambientais; Variabilidade espacial; Zonas de manejo

Soil chemical attributes in areas under forest/pasture conversion in Porto Velho, Rondônia

Resume

The state of Rondônia is one of the largest cattle producers, however most of the pastures are on low fertility soils. Thus, cattle ranchers compensate for the low production of pastures, increasing the size of the areas, generating more deforestation and burning. With that, the objective of the work was to evaluate the impacts caused in the chemical attributes of soils, in areas of forest conversion in pastures, in the municipality of Porto Velho, Rondônia. The study was carried out in the district of União Bandeirantes, in an area of forest and two areas with pastures (brachiaria and mombaça). In the field, soil samples were collected at two depths 0.00-0.10 and 0.10-0.20 m, to carry out chemical analyzes. Later, uni, bi and multivariate statistical analyzes were performed, in addition geostatistical analyzes were carried out to study spatial variability and management zones. The conversion of forest to pasture provides an increase in pH values and exchangeable bases, reducing the levels of exchangeable aluminum and potential acidity, however, induces losses of phosphorus and organic carbon from the soil. Among the pasture environments, mombaça showed higher fertility. We observed greater spatial variability of chemical attributes in the environment with mombaça, we attribute this to greater grazing intensity and to the micro reliefs that direct the flow of water and nutrients.

Key-words: Soil fertility; Environmental indicators; Spatial variability; Management areas

2.1. Introdução

O estado de Rondônia é intimamente ligado a produção agrícola e pecuária, dentre as atividades destaca-se a produção de gado, sendo o quinto maior produtor dentre os estados brasileiros com 13.871.863 de cabeças bovinas. Porto Velho a capital do estado é uma importante produtora de gado ocupando o sétimo lugar dentre os municípios com 968.778 (ABIEC, 2019). Entretanto, estudos mostram que áreas de pastagens estão ficando degradadas com o tempo, devido ao baixo manejo adotado (Zenero et al., 2016), gerando perdas na produção de leite e carne. Com isso, torna-se necessário estudos na região que avaliem a fertilidade de solos, sob pastagens, para fornecer informações sobre os impactos gerados e quais atributos são mais sensíveis.

Dentre as culturas comerciais as espécies forrageiras representam as plantas de interesse econômico mais cultivadas no Brasil e no mundo (Vitória et al., 2012). Entre as plantas forrageiras utilizadas pelos animais, as gramíneas do gênero *Brachiaria* e *Panicum* são as principais opções para alimentar o rebanho bovino brasileiro (Silva et al., 2016).

O uso do fogo apresenta-se como uma alternativa barata para limpar as áreas de floresta e introduzir a pastagem na Amazônia (Navarrete et al., 2016). Após seu uso, se não manejar corretamente o solo, pode-se causar mudanças negativas nos atributos do mesmo, e conseqüentemente a degradação. Nesse caso, podem ser intensificadas pelo relevo mais inclinado (Torres et al., 2019). O relevo, ou posição topográfica, é capaz de alterar o conteúdo de água do solo e intensidade dos processos de remoção e deposição de sedimentos (erosão) (Chagas et al., 2013), aumentando os riscos de erosão, perda de nutrientes (Merten et al., 2015). Em estudos avaliando conversão floresta pastagem, evidenciaram que, os atributos químicos mais sensíveis são matéria orgânica, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P (Araújo et al., 2011; Lisbôa et al., 2016)

Em sistemas de pastagens, quando manejados adequadamente, podem melhorar muitas propriedades do solo, como a retenção de água, matéria orgânica do solo e ciclagem de nutrientes (Franzluebbbers et al., 2011). Braz et al. (2013), observaram aumento dos estoques de carbono em pastagens após 8 anos de uso em relação à floresta, e que, se usar frequente o fogo para limpeza, ocorre um decréscimo. Além disso, constataram, que a conversão de floresta em pastagem com a utilização do fogo aumenta os valores de pH e disponibilidade de P, Ca^{2+} e K^+ no solo, e diminui o Al^{3+} trocável.

Apesar de existir diversos trabalhos que avaliaram os impactos causados no solo após a conversão de ambientes de florestas em pastagens (Braz et al., 2013; Navarrete et

al., 2016; Zenero et al., 2016; Silva Neto et al., 2019). Ainda assim, são necessários estudos em outras regiões, principalmente em Rondônia que possui uma elevada produção pecuária, podendo ainda aumentar sem que precise desmatar mais áreas, apenas melhorando a fertilidade dos solos. Com isso, objetivou-se avaliar os impactos causados nos atributos químicos de solos, em áreas de conversão floresta em pastagens, no município de Porto Velho, Rondônia.

2.2. Material e métodos

2.2.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no distrito União Bandeirantes localizado no município de Porto Velho, Rondônia, Brasil (Figura 2.1), em três áreas, sendo duas áreas sob diferentes usos com cultivo de braquiária (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) e mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) e uma área de floresta nativa.

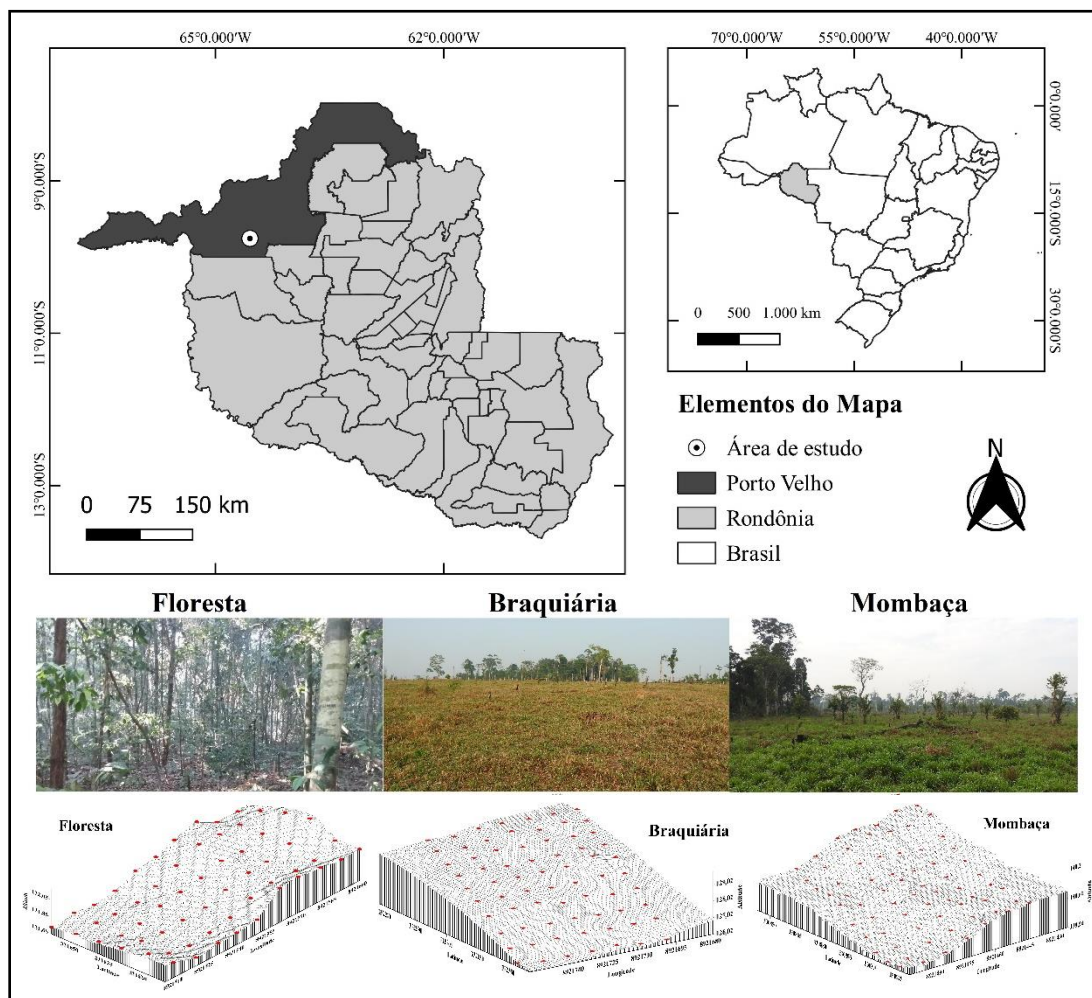


Figura 2.1 Mapa de localização e de elevação das áreas de estudos.

O clima da região pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am (chuvas do tipo monção), apresentando uma estação seca de pequena duração entre os meses de junho a setembro. A pluviosidade média anual varia de 2.500 a 2.800 mm. A temperatura média anual está entre 24 a 26° C. A umidade relativa é bastante elevada, variando entre 85% a 90% na época chuvosa e entre 60 a 70% na época seca. (Alvares et al., 2013). A tipologia da vegetação é denominada, floresta ombrófila densa, constituída por árvores adensadas e multiestratificadas de 25 a 30 m de altura (Perigolo et al., 2017).

A área de estudo encontra-se sobre os tabuleiros da depressão Amazônica, o relevo regional, apresenta superfície suave ondulada, com altitude variando de 100 a 200 m. Os solos encontrados são desenvolvidos a partir de coberturas sedimentares indiferenciadas, associadas a ambientes de leques aluviais, canais fluviais, planícies de inundação e lagos, constituídas por sedimentos cuja granulometria varia de cascalho a argila, com lateritização significativa (Adamy, 2010).

Os solos para os diferentes usos possuem relevo local variando de plano a suave ondulado e bem drenados. São classificados como Latossolo Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura argilosa segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018) (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 Atributos físicos do perfil de solo em Porto Velho, Rondônia.

Horiz.	Prof.	Cascalho	TFSA	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	ADA	G _{Flo}	S/A	Ds	Dp	Pt
	cm	g kg ⁻¹									%	g cm ⁻³		m ³ m ⁻³
Latossolo Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura argilosa														
A	0-10	11	989	644	470	174	34	322	256	20	0,11	1,16	2,74	0,58
BA	10-25	9	991	568	371	197	34	398	341	14	0,09	1,45	2,83	0,49
Bw1	25-45	12	988	528	345	183	25	447	391	13	0,06	1,37	2,72	0,50
Bw2	45-71	11	989	520	350	170	23	457	0	100	0,05	1,47	2,90	0,49
Bw3	71-95	15	985	530	345	185	28	442	0	100	0,06	1,38	2,83	0,51
Bw4	95-122	18	982	529	361	168	48	423	0	100	0,11	1,39	2,90	0,52
Bw5	122-150+	13	987	483	302	181	46	471	0	100	0,10	1,43	2,90	0,51

ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação; S/A: silte/argila; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; e Pt: porosidade total.

Para implantação das áreas de pastagem foram realizados desmatamento com sucessivas queimadas ao longo do tempo, as queimadas tiveram o intuito de facilitar a limpeza para posterior semeadura das forragens. Ao todo são 110 animais criados em toda a área de 44,28 ha, que ficam 45 dias alterando entre o piquete com braquiária e o piquete com mombaça. A área com braquiária possui 26,36 ha, foi implantada em 2008, ficou um ano sem uso e foi usada com pouca frequência até 2010, após isso utilizou-se 4,5 animais ha. A área com mombaça possui 17,92 ha, foi introduzida em 2007, ficou

três anos sem uso, após isso utilizou-se 6,14 animais por hectare no rodízio de 45 dias entre a braquiária.

2.2.2. Metodologia de campo

Em campo foi estabelecida uma malha de 90 x 60 m para as áreas com braquiária e mombaça, e 90 x 50 m para a área de floresta com espaçamento regular de 10 m entre os pontos amostrais. Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento das malhas, sob as profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, perfazendo um total de 60 pontos amostrais para área de floresta e 70 pontos para as áreas de pastagens, totalizando 400 amostras ao todo.

Os pontos de cruzamento das malhas foram georreferenciados com um equipamento de GPS (DATUM WGS 84) para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE). Nos mesmos pontos amostrados foram realizados o levantamento altimétrico para fins de estudo do relevo nas malhas.

Para obtenção das amostras nos pontos de cruzamento das malhas, foram coletadas em cada área, amostras com estrutura preservada em forma de torrões com 10 cm de altura. Essas amostras foram utilizadas para a determinação das propriedades químicas do solo.

2.2.3. Análise de laboratório

Após o solo ter passado por processo de secagem a sombra e ser peneirado numa malha de 2 mm, caracterizando uma Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), foram realizadas as análises química, segundo a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017), onde foi determinado o pH em água, acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), fósforo (P), potássio (K^+) e carbono orgânico total (COT).

O pH em água foi determinado potenciometricamente, utilizando pHmetro na relação solo: água, na proporção de 1:2,5.

O cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}), foram extraídos por solução de KCl 1 mol L⁻¹. Os teores de Al^{3+} foram determinados por titulometria, utilizando NaOH a 0,025 mol L⁻¹ e azul de bromotimol como indicador colorimétrico. Já os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram determinados por espectrometria de absorção atômica.

A acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de cálcio tamponado a pH 7,00 e determinada por titulometria utilizando NaOH a 0,025 mol L⁻¹ e fenolftaleína como indicador.

O potássio e o fósforo disponível, foram extraídos por *Mehlich-1*. Os teores de P foram determinados por espectrofotômetro-UV-Vis e os teores de K⁺ por espectrofotometria de chama.

Com base nas determinações dos cátions trocáveis e acidez potencial foram calculados: capacidade de troca de cátions (CTC) potencial e saturação por bases (V%).

O carbono orgânico total (COT) será determinado pelo método de Walkley-Black, modificado por Yeomans & Bremner (1988).

2.2.4. Análises estatística uni, bi e multivariada

Após a determinação dos atributos químicos, os dados foram submetidos às análises univariada, bivariada e multivariada, no software estatístico Statistica 7 (Statsoft, 2004).

A estatística univariada foi avaliada através da estatística descritiva, onde foram calculados a média, mediana, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose. Além disso, foram confeccionados os gráficos de boxplot, com intuito de representar as estatísticas descritivas e distribuição primária dos dados. As comparações das médias das variáveis dentro de cada ambiente estudado foram analisadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. As hipóteses de normalidade dos dados dentro de cada ambiente foram testadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS).

A estatística bivariada foi utilizada para verificar a correlação entre todas as variáveis estudadas, par à par, afim de estudar a influência direta ou antagônica de uma na outra. Para avaliar, foi utilizado o teste de correlação de Pearson a 5% de probabilidade.

Para as análises multivariadas, foi realizada análise fatorial dos componentes principais (ACP), aos quais foram realizadas a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos químicos do solo que mais discriminam os ambientes, com relação as diferentes áreas em estudo, obtendo como resposta quais são os ambientes cujos atributos sofrem maior influência pela ação antrópica.

A adequabilidade da análise fatorial foi feita pela medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Bartlett, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade. A extração dos fatores foi realizada pela análise de componente principal, incorporando as variáveis que apresentaram comunalidades igual ou superior a cinco (5,0). A escolha do número de fatores a ser utilizado foi feita pelo critério de

Kaiser (fatores que apresentam autovalores superiores a 1,0). A fim de simplificar a análise fatorial, foi feita a rotação ortogonal (varimax) e representada em um plano fatorial das variáveis e dos escores para os componentes principais (Burak et al., 2010).

2.2.5. Análise geoestatística

A geoestatística foi usada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e dos escores obtidos pela análise fatorial. Para se fazer a análise geoestatística, foi necessário saber se há dependência espacial ou não dos atributos estudados, onde foi verificado por meio do gráfico do semivariograma. Com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual o semivariograma é estimada por:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (1)$$

sendo:

$\hat{\gamma}(h)$ = valor da semivariância para uma distância h ;

$n(h)$ = número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;

$Z(x_i)$ = valor do atributo Z na posição x_i ;

$Z(x_i+h)$ = valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

O ajuste dos semivariogramas foram feitos com base no melhor coeficiente de determinação (R^2) e validação cruzada (VC), estimados pelo Software GS+ 7.0 (Gamma Design, 2004). A partir desses ajustes, foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma: efeito pepita (C_0) = valor da semivariância para a distância zero, que representa o componente da variação ao acaso; variância estrutural (C_1); patamar ($C_0 + C_1$) = valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; e alcance (a) = distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (Trangmar et al., 1985).

Para a análise do grau de dependência espacial (GDE) dos atributos em estudo, foi utilizado a classificação de Cambardella et al. (1994), em que as propriedades do solo são consideradas com dependência espacial forte se a razão do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar (C_0+C_1) for menor que 25%. Se a razão estiver entre 26 a 75%, a dependência espacial é considerada moderada, enquanto que, se a propriedade do solo

for maior que 75% a aproximadamente 95%, classificam-se como dependência espacial fraca.

Após o ajuste dos modelos matemáticos permissíveis, foram feitas as interpolações dos dados, por meio da krigagem no software Surfer versão 13.0 0 (Golden Software Inc., 1999). A construção dos mapas de Krigagem possibilitou verificar e relacionar espacialmente os atributos químicos.

Neste trabalho, foram utilizados os semivariogramas escalonados para todos as variáveis em cada área e profundidade estudada com o objetivo de reduzi-los à mesma escala, facilitando a comparação entre resultados de diferentes áreas (Ceddia et al., 2009). Os semivariogramas experimentais foram escalonados por meio da divisão das semivariâncias pela variância estatística (Guimarães, 1993). A escolha do modelo de semivariograma escalonado que melhor se ajustou aos dados foi realizada com base no R^2 e validação cruzada (VC), além do conhecimento prático do comportamento dos atributos nos ambientes.

Pelo alcance dos semivariogramas escalonados, foi determinado o número mínimo de amostras para que seja possível promover a caracterização da variabilidade espacial dos atributos estudados em cada área. Essas informações possibilitaram o cálculo do número mínimo de amostragem do solo e para determinar a variabilidade de todos os atributos em ambas às profundidades nos três ambientes estudados (Oliveira et al., 2015).

$$N = \frac{A}{a^2/10.000} \quad (2)$$

em que:

N = número mínimo de amostras necessárias para a determinação de uma malha de amostragem;

A = área total, em ha;

a = o alcance do semivariograma, em m.

2.3. Resultados e discussão

2.3.1. Conversão floresta em pastagens

Ao avaliarmos a dispersão das variáveis (Tabela 2.2), observamos que, o coeficiente de variação (CV), apresentou valores variando de 6,71 a 65,37% sendo assim

classificado como baixo (<12%), médio (12 a 60%) e alto (>60%) (Warrick e Nielsen 1980). O pH em todas as áreas e V% na profundidade de 0,10-0,20 m na área de floresta apresentaram CV classificado como baixo. Sana et al. (2014) e Alencar et al. (2016), também encontraram baixo CV para pH do solo. O Ca²⁺ na profundidade de 0,00-0,10 m, Na⁺ na profundidade de 0,10-0,20 m na área de braquiária e mombaça, e K⁺ na profundidade de 0,10-0,20 m na área de mombaça apresentaram CV classificado como alto. As demais variáveis nas áreas e profundidades estudadas apresentaram CV classificado como médio. De maneira geral as áreas com pastagens (braquiária e mombaça) apresentaram CV mais elevado que a área de floresta. Atribuímos essa variação mais elevada nas áreas de pastagens devida a complexas interações dos processos de sua formação as práticas de manejo adotadas no solo e nas culturas (Bottega et al., 2013).

Tabela 2.2 Análises descritiva e teste de normalidade dos dados, para os atributos químicos em diferentes ambientes, em Porto Velho, Rondônia.

Parâmetros	pH	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CTC	V	P	COT
	H ₂ O				cmol _c kg ⁻¹				%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Floresta											
Profundidade 0,00-0,10 cm											
CV	9,06	17,72	12,67	26,19	36,60	23,33	43,33	12,15	14,43	23,92	17,49
Assimetria	0,97	0,33	0,61	0,43	0,88	0,06	0,53	0,44	-0,27	0,59	0,36
Curtose	1,40	1,06	0,27	-0,96	0,44	-0,74	-0,59	0,55	-0,86	0,15	-0,09
KS	0,09*	0,12*	0,13*	0,13*	0,11*	0,09*	0,18 ^{ns}	0,10*	0,12*	0,07*	0,08*
Profundidade 0,10-0,20 cm											
CV	6,71	14,03	13,17	12,02	37,23	31,56	42,37	13,74	9,49	25,90	14,05
Assimetria	0,96	0,87	0,18	0,97	0,56	0,82	-0,03	0,37	0,19	0,11	0,43
Curtose	0,32	2,43	-0,43	0,52	-0,42	0,87	-1,49	-0,37	-0,16	-1,22	-0,31
KS	0,16*	0,10*	0,11*	0,16*	0,11*	0,13*	0,22 ^{ns}	0,11*	0,10*	0,12*	0,09*
Braquiária											
Profundidade 0,00-0,10 cm											
CV	10,02	46,33	30,23	65,37	43,44	30,15	53,76	48,48	48,54	36,70	22,64
Assimetria	0,40	0,57	0,05	0,76	0,40	0,45	0,70	0,44	0,57	0,53	0,77
Curtose	1,05	-0,70	-1,12	-0,44	-0,60	-0,58	-0,10	-0,17	-0,58	-0,10	0,56
KS	0,07*	0,17 ^{ns}	0,11*	0,13*	0,10*	0,11*	0,14*	0,09*	0,10*	0,11*	0,07*
Profundidade 0,10-0,20 cm											
CV	8,63	37,44	31,05	53,14	57,95	48,89	69,47	24,34	55,62	48,10	23,64
Assimetria	-0,20	0,57	0,44	0,59	0,79	1,13	0,31	0,56	0,62	0,62	-0,46
Curtose	1,63	0,34	-0,67	-1,11	-0,73	0,70	-0,71	-0,53	-0,81	-0,51	-0,23
KS	0,11*	0,11*	0,13*	0,20 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,12*	0,14*	0,12*	0,09*
Mombaça											
Profundidade 0,00-0,10 cm											
CV	8,84	35,72	22,52	42,92	36,54	50,64	54,51	32,31	42,95	38,94	22,60
Assimetria	0,29	-0,51	0,41	0,66	1,02	0,32	0,63	0,45	0,20	0,56	0,17
Curtose	-0,46	-0,93	0,48	-0,43	0,30	-1,16	-0,67	-0,70	-0,94	-0,87	-0,32
KS	0,07*	0,20 ^{ns}	0,10*	0,14*	0,13*	0,16*	0,22 ^{ns}	0,10*	0,10*	0,12*	0,09*
Profundidade 0,10-0,20 cm											
CV	7,51	25,51	23,73	44,49	21,17	64,55	85,28	17,69	29,91	40,56	23,55
Assimetria	1,03	-0,18	0,08	1,33	1,13	1,25	0,53	0,38	1,03	1,10	0,39
Curtose	0,77	-0,35	0,09	1,41	1,63	1,06	-1,19	-0,47	0,58	0,80	-0,17
KS	0,14*	0,10*	0,09*	0,14*	0,13*	0,20 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,10*	0,16*	0,16*	0,07*

CV = Coeficiente de Variação; KS = Kolmogorov Smirnov; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade;

Pelo teste de Kolmogorov Smirnov a 5% de probabilidade observamos normalidade na distribuição dos dados para a maioria das variáveis estudadas exceto para Na^+ nas áreas de floresta, mombaça e na profundidade de 0,10-0,20 m de braquiária, para Al^{3+} na profundidade de 0,00-0,10 m nas áreas de braquiária e mombaça, para Ca^{2+} e Mg^{2+} na profundidade de 0,10-0,20 m na área de braquiária e para K^+ na profundidade de 0,10-0,20 m nas áreas de braquiária e mombaça (Tabela 2.2).

Essa normalidade também é observada ao avaliarmos a média e mediana próximas entre si (Figura 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5). A assimetria dos dados apresenta valores variando de -0,51 a 1,33 (Tabela 2.2). Os valores de assimetria maiores que zero encontrados para V% na profundidade de 0,00-0,10 m e Na^+ na profundidade de 0,10-0,20 m na área de floresta, pH e COT na profundidade de 0,10-0,20 m na área de braquiária e Al^{3+} na área de mombaça, indicam que a distribuição é assimétrica à direita. Os demais atributos avaliados para as profundidades e áreas apresentaram distribuição assimétrica a esquerda (Zanão Júnior et al., 2010). Para curtose observamos valores variando de -1,49 a 1,63, esses devem ser preferencialmente nulos, entretanto é aceitável valores entre -2 a +2 (Negreiros Neto et al. 2014).

Ao observamos os componentes da acidez do solo percebe-se que, houve diferença estatística para todas as variáveis (Figura 2.2). Para o pH a área com mombaça apresentou os maiores valores na profundidade 0,00-0,10 m (4,88), entretanto na profundidade de 0,10-0,20 m foi observado na área com braquiária (4,48), já os menores valores foram para área de floresta nas duas profundidades (3,73 e 3,53) respectivamente. O Al^{3+} apresentou os maiores teores na área de floresta nas duas profundidades (1,77 e 1,93 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), enquanto as áreas de pastagem apresentaram menores teores variando de 0,62 a 0,94 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, não diferindo estatisticamente entre si. Esses elevados teores de Al^{3+} na área de floresta pode ser devido ao baixo aporte de produção de compostos orgânicos capazes de complexar o alumínio (Mantovanelli et al., 2016). O maior teor de H+Al foi observada na área de braquiária na profundidade de 0,00-0,10 m (8,16 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) e na área de floresta na profundidade de 0,10-0,20 m (6,44 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), entretanto a área de mombaça apresentou os menores teores (5,15 e 4,55 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) nas duas profundidades estudadas. De maneira geral percebemos que a área com floresta é mais ácida, com teores mais elevados de Al^{3+} e H+Al em relação as áreas de pastagens.

Braz et al. (2013), também encontraram menores valores de pH e maiores teores de Al^{3+} e H+Al em área de floresta em relação a áreas de pastagem e atribuiu esse

resultado ao uso do fogo para limpeza da área, que devido as cinzas, aumenta o pH e consequentemente diminui o Al^{3+} . Esse mecanismo é explicado por Silva Neto et al. (2019), onde, devido a queimada, as cinzas junto com as bases são incorporadas ao solo, fazendo com que os íons H^+ se dissociem do complexo de troca, e os cátions básicos sejam adsorvido nas superfícies de argila, aumentando os valores de pH. Além disso, os ambientes amazônicos em sua grande maioria são ácidos, devido ao material de origem ser pobre em bases e pela alta precipitação na região, que lixivia os nutrientes da superfície (Cravo et al., 2012; Silva Neto et al., 2019). Hong et al. (2018), atribuem que, a variação de pH é de acordo com as espécies de plantas predominantes, já Jeddi e Chaieb (2010), relacionam a redução de pH em ambientes naturais devido a maior atividade de micro-organismos próximos à rizosfera das plantas e a liberação de ácidos orgânicos radiculares.

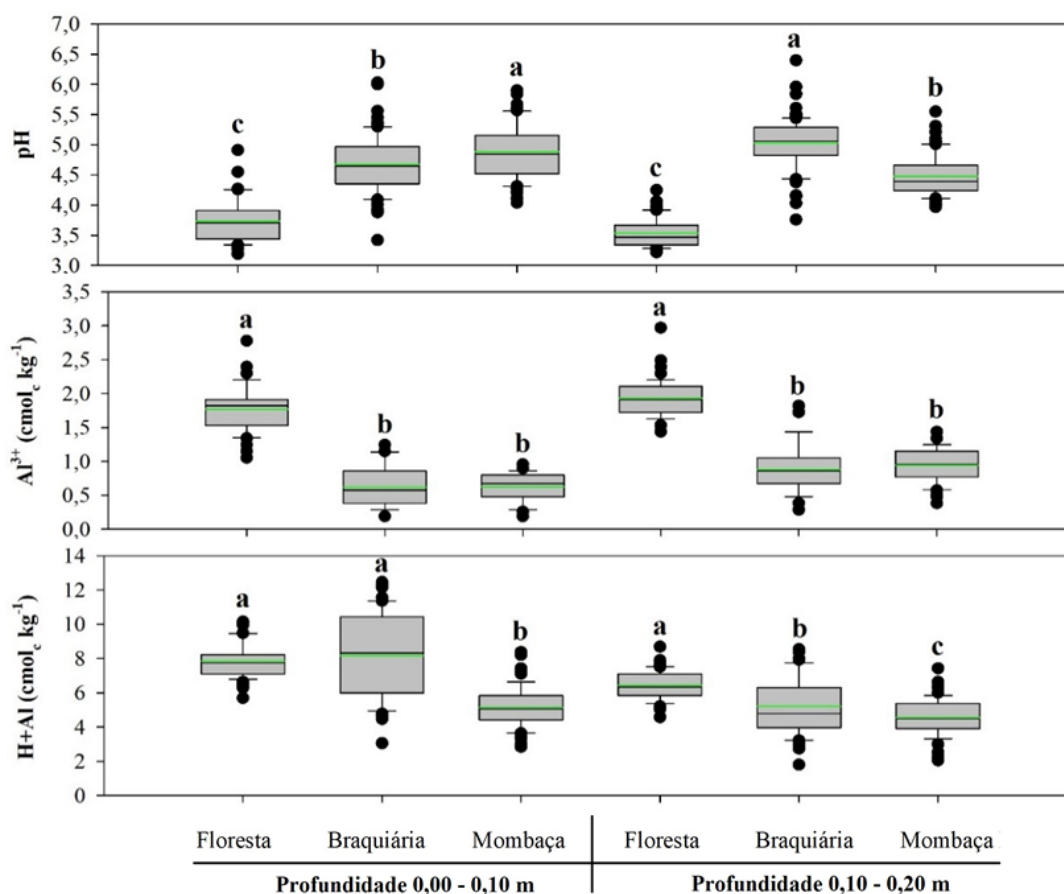


Figura 2.2 Boxplot e teste de média dos componentes da acidez do solo em diferentes ambientes, em Porto Velho, Rondônia. A linha verde indica o valor médio dos dados. Letras minúsculas diferentes representa que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%.

As bases trocáveis apresentaram diferença significativa para as áreas nas diferentes profundidades estudadas (Figura 2.3). Foram evidenciado os maiores teores

para as áreas de pastagem em relação a floresta na profundidade de 0,00-0,10 m, a área de braquiária apresentou os maiores teores de Ca^{2+} e Na^+ (1,30 e 0,0119 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), enquanto a área com mombaça apresentou os maiores teores de Mg^{2+} e K^+ (0,45 e 0,11 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$). Esse resultado corrobora com Braz et al. (2013), que encontraram maiores teores de Ca^{2+} e K^+ em área de pastagem. Silva Neto et al. (2019), observaram maiores teores de cátions em áreas queimadas em comparação a floresta, os mesmos autores atribuíram os elevados teores de base as cinzas depositadas após a queimada. Na profundidade de 0,10-0,20 m a área de floresta apresentou os maiores teores de Ca^{2+} , K^+ e Na^+ (0,50, 0,05 e 0,005 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) enquanto a área de mombaça apresentou os maiores teores de Mg^{2+} (0,28 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$). Essa diferença entre as profundidades também é relatada por Silva Neto et al. (2019), que observaram mudanças apenas na profundidade superficial, afirmando que elas são mais sensíveis a alterações.

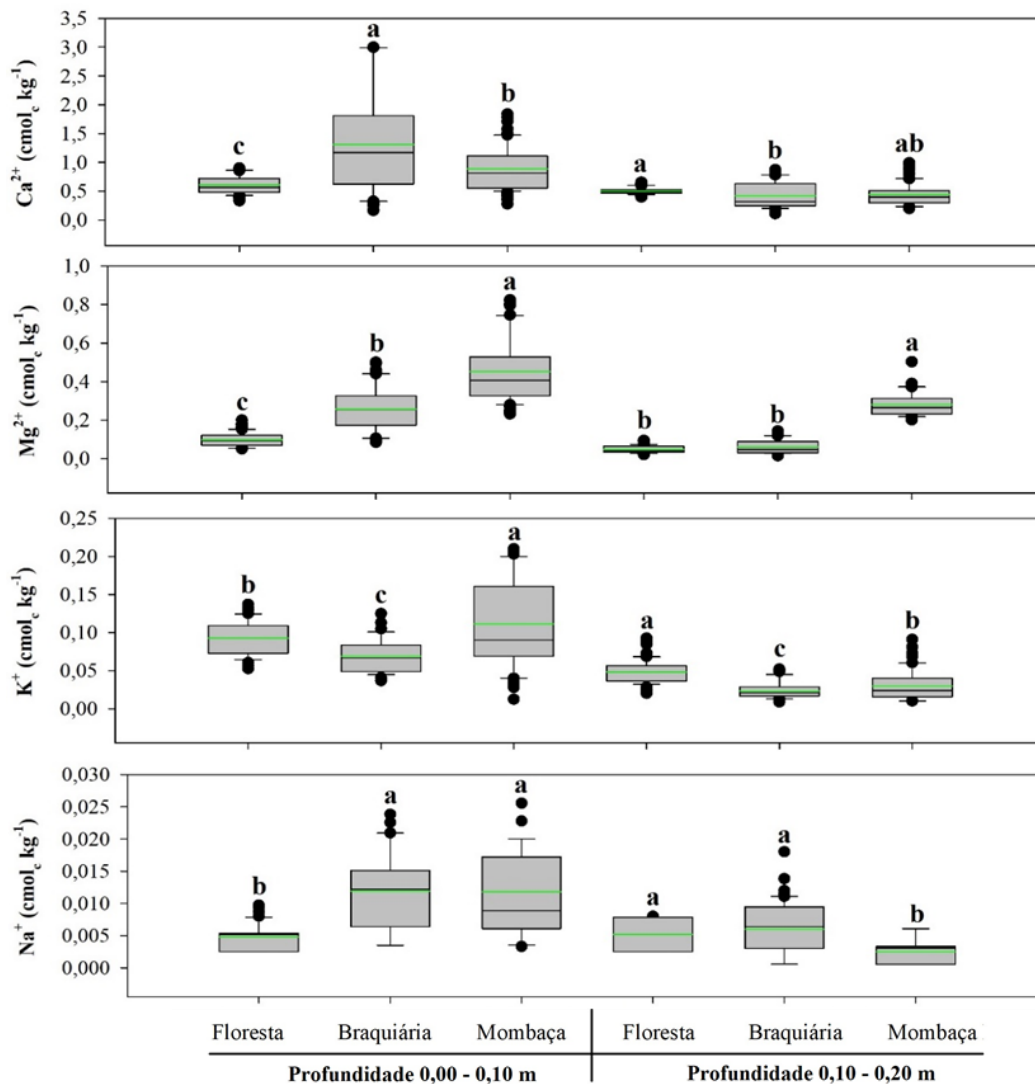


Figura 2.3 Boxplot e teste de média das bases trocáveis do solo em diferentes ambientes, em Porto Velho, Rondônia. A linha verde indica o valor médio dos dados. Letras

minúsculas diferentes representa que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%.

A CTC apresentou diferença significativa, sendo evidenciado na profundidade de 0,00-0,10 m os maiores valores para área de braquiária (9,80 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) e menores para área de mombaça (6,61 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), na profundidade de 0,10-0,20 m foram evidenciados os maiores valores para área de floresta (7,04 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) e menores valores para área de mombaça (5,29 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) (Figura 2.4). Os maiores valores CTC observado nas áreas de braquiária e floresta deve-se a contribuição dada pela acidez potencial (Figura 2.2).

A área de mombaça apresentou os maiores valores de saturação por bases nas duas profundidades estudadas (22,07 e 14,12 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) (Figura 2.4). Esse resultado deve-se aos maiores teores de Mg^{2+} encontrado na área de mombaça em relação as demais áreas (Figura 2.3).

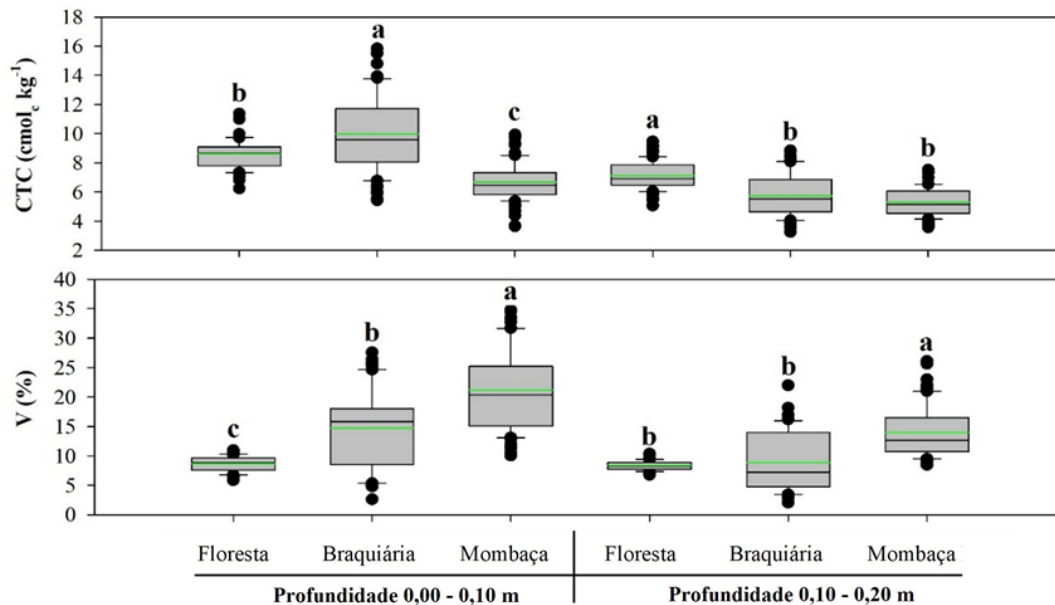


Figura 2.4 Boxplot e teste de média da capacidade de trocar cátions e saturação por bases solo em diferentes ambientes, em Porto Velho, Rondônia. A linha verde indica o valor médio dos dados. Letras minúsculas diferentes representa que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%.

A área de floresta apresentou os maiores teores de P (5,52 e 3,39 mg kg^{-1}) e COT (23,88 e 18,09 g kg^{-1}) nas duas profundidades estudadas em relação aos ambientes de pastagens (Figura 2.5). Araújo et al. (2011), analisando a conversão mata-pastagem, encontraram baixos teores de P nas primeiras profundidades do solo em áreas com cultivo. Lisboa, et al. (2016), estudando indicadores de qualidade de solo relacionados à degradação de pastagens em Latossolo, constatou que o carbono orgânico do solo é uma

das variáveis sensíveis a mudanças no manejo. O acúmulo de COT ou a liberação para a atmosfera, depende do tipo de manejo aplicado ao solo e forragem, onde pastagens cultivadas em solos férteis causam o acúmulo de C, em contrapartida, quando cultivada em solos com baixa fertilidade, a implementação de pastagens resulta em perdas de C no solo, no entanto, a magnitude das perdas depende do grau de degradação das pastagens (Carvalho et al., 2010). A estabilização do carbono orgânico nos solos sob diferentes tipos de manejos, depende da quantidade de carbono armazenada no solo e tipo de estrutura que é depositada (Assunção et al., 2019).

Entre as áreas de pastagens a mombaça apresentou os menores teores de P (3,53 e 1,81 mg kg⁻¹) e os maiores teores de COT (21,58 e 10,68 g kg⁻¹), podemos atribuir isso a maior exigência nutricional do capim mombaça em relação ao braquiária, que além de exigir mais nutrientes produz mais biomassa que contribui mais para o depósito de COT no solo (Freitas et al., 2007; Mendonça et al., 2014).

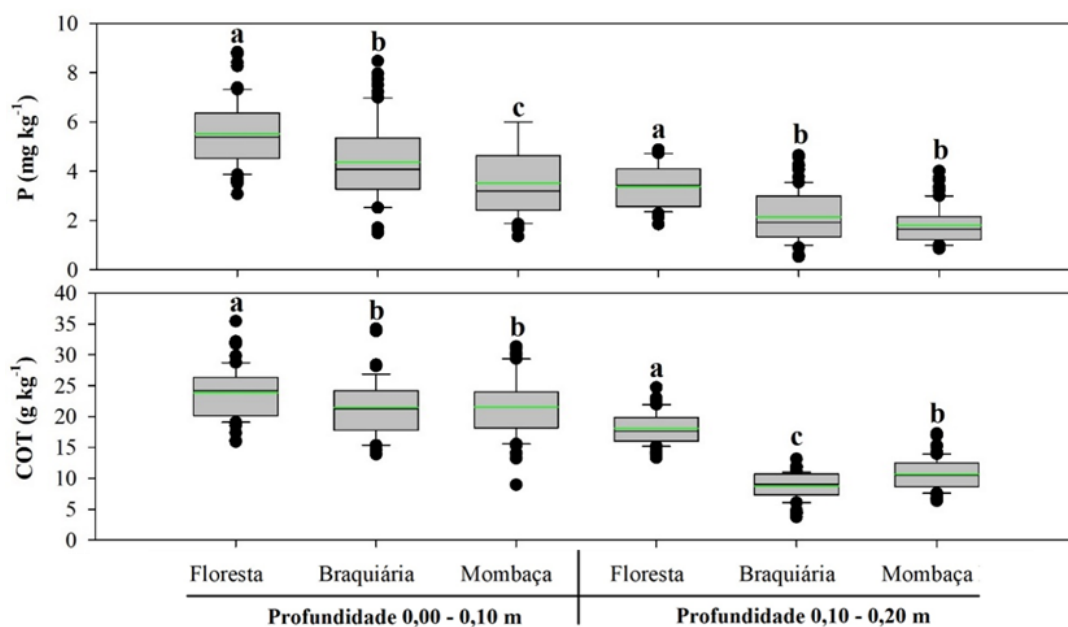


Figura 2.5 Boxplot e teste de média do fósforo e carbono orgânico solo em diferentes ambientes, em Porto Velho, Rondônia. A linha verde indica o valor médio dos dados. Letras minúsculas diferentes representa que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%.

2.3.2. Interações ambientes e atributos químicos do solo

As interações entre cada atributos para os ambientes estudados são apresentados na Tabela 2.3. Observa-se que, o pH apresentou correlação significativa positiva com Ca²⁺, Mg²⁺, V% e negativa com Al³⁺ para as três áreas estudadas. O Al³⁺ apresentou correlação negativa com as bases tocáveis para todas as áreas estudadas. Esses resultados

também foram observados por Braz et al. (2013), que com aumento de pH há maior disponibilidade de nutrientes (bases trocáveis) no solo e diminuição no teor de Al^{3+} trocável em áreas de pastagem. Segundo Perin et al. (2003), o aumento do pH provoca diminuição no teor de Al^{3+} devido a precipitação do mesmo, que conseqüentemente diminui o teor H+Al. Esse resultado também foi observado nesse estudo, ao encontramos correlação negativa do pH com H+Al para os ambientes de pastagens. Além disso, observamos correlação significativa positiva do pH com K^+ na área de floresta e mombaça, e com Na^+ e CTC para área de mombaça, a área de braquiária apresentou correlação negativa com CTC. A CTC apresentou correlação positiva e elevada com H+Al (0,86 a 0,99) para todas as áreas estudadas, esse resultado evidencia que, a maior parte da CTC na maioria de solos amazônicos são preenchidas pela H+Al (Campos et al., 2010).

O carbono orgânico total (COT) do solo apresentou correlação significativa positiva com Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , V%, CTC e P em todas as áreas estudadas (Tabela 2.3). Em seu trabalho Petter et al. (2017), também encontrou correlação positiva entre COT e CTC. Podemos atribuir isso a capacidade da matéria orgânica em fornecer cargas e nutrientes ao solo. Sendo que a fração húmica da matéria orgânica pode apresentar de 200 a 500 $cmol_c\ kg^{-1}$ de carga negativa no solo (Alleoni et al. 2009), e com isso promover a adsorção de bases trocáveis, mantendo-as no complexo de troca de solo e evitando que sejam perdidas pela lixiviação (Feng et al., 2017). Observamos correlação positiva entre COT e P, indicando que, o P tem relação direta com a COT e conseqüentemente a matéria orgânica. Em estudo Galang et al. (2010), evidenciaram que os estoques de P inorgânicos na profundidade superficial do solo é devido a conversão do P orgânicos e essa conversão diminui com o aumento da temperatura e do tempo. O COT apresentou correlação positiva com pH nas áreas de floresta e mombaça, entretanto observamos correlação negativa com pH na área de braquiária. Associamos essa correlação negativa na área de braquiária, devido a elevada atividade biológica na região amazônica que combinada com ambiente quente e úmido, promove maior produção de CO_2 na solução do solo, que atua como fonte de acidez no solo (Silva Neto et al. 2019). O Al^{3+} apresentou correlação negativa com COT nas áreas de pastagens, evidenciando que além do pH a matéria orgânica em solos de pastagens pode apresentar maior produção de compostos orgânicos capazes de complexar o alumínio (Mantovanelli et al., 2016).

Tabela 2.3 Correlação de Pearson dos atributos químicos do solo, em diferentes ambientes, em Porto Velho, Rondônia.

	pH	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CTC	V%	P	COT
Floresta											
pH	1,00	-0,47**	0,10 ^{ns}	0,34**	0,29**	0,31**	-0,16 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,36**	0,32**	0,26**
Al ³⁺	-0,47**	1,00	0,14 ^{ns}	-0,25**	-0,25**	-0,17 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,37**	-0,09 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
H+Al	0,10 ^{ns}	0,14 ^{ns}	1,00	0,42**	0,26**	0,66**	-0,12 ^{ns}	0,99**	-0,06 ^{ns}	0,61**	0,84**
Ca ²⁺	0,34**	-0,25**	0,42**	1,00	0,62**	0,67**	-0,05 ^{ns}	0,55**	0,83**	0,41**	0,55**
Mg ²⁺	0,29**	-0,25**	0,26**	0,62**	1,00	0,55**	-0,05 ^{ns}	0,37**	0,76**	0,32**	0,41**
K ⁺	0,31**	-0,17 ^{ns}	0,66**	0,67**	0,55**	1,00	-0,01 ^{ns}	0,73**	0,46**	0,72**	0,73**
Na ⁺	-0,16 ^{ns}	0,12 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	1,00	-0,12 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,05 ^{ns}
CTC	0,15 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,99**	0,55**	0,37**	0,73**	-0,12 ^{ns}	1,00	0,10 ^{ns}	0,64**	0,87**
V%	0,36**	-0,37**	-0,06 ^{ns}	0,83**	0,76**	0,46**	0,01 ^{ns}	0,10 ^{ns}	1,00	0,18 ^{ns}	0,20*
P	0,32**	-0,09 ^{ns}	0,61**	0,41**	0,32**	0,72**	-0,07 ^{ns}	0,64**	0,18 ^{ns}	1,00	0,64**
COT	0,26**	-0,06 ^{ns}	0,84**	0,55**	0,41**	0,73**	-0,05 ^{ns}	0,87**	0,20*	0,64**	1,00
Braquiária											
pH	1,00	-0,41**	-0,50**	0,32**	0,24**	-0,01 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,36**	0,51**	0,03 ^{ns}	-0,27**
Al ³⁺	-0,41**	1,00	0,02 ^{ns}	-0,56**	-0,48**	-0,37**	-0,12 ^{ns}	-0,17*	-0,57**	-0,23**	-0,32**
H+Al	-0,50**	0,02 ^{ns}	1,00	0,12 ^{ns}	0,19*	0,23**	0,03 ^{ns}	0,95**	-0,31**	0,22*	0,57**
Ca ²⁺	0,32**	-0,56**	0,12 ^{ns}	1,00	0,81**	0,40**	0,10 ^{ns}	0,42**	0,84**	0,43**	0,66**
Mg ²⁺	0,24**	-0,48**	0,19*	0,81**	1,00	0,45**	0,05 ^{ns}	0,44**	0,69**	0,39**	0,60**
K ⁺	-0,01 ^{ns}	-0,37**	0,23**	0,40**	0,45**	1,00	0,19*	0,35**	0,34**	0,33**	0,50**
Na ⁺	-0,01 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,19*	1,00	0,07 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,17*
CTC	-0,36**	-0,17*	0,95**	0,42**	0,44**	0,35**	0,07 ^{ns}	1,00	-0,01 ^{ns}	0,33**	0,73**
V%	0,51**	-0,57**	-0,31**	0,84**	0,69**	0,34**	0,11 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	1,00	0,25**	0,37**
P	0,03 ^{ns}	-0,23**	0,22*	0,43**	0,39**	0,33**	0,02 ^{ns}	0,33**	0,25**	1,00	0,46**
COT	-0,27**	-0,32**	0,57**	0,66**	0,60**	0,50**	0,17*	0,73**	0,37**	0,46**	1,00
Mombaça											
pH	1,00	-0,76**	-0,18*	0,76**	0,71**	0,47**	0,34**	0,26**	0,85**	0,51**	0,49**
Al ³⁺	-0,76**	1,00	0,06 ^{ns}	-0,70**	-0,66**	-0,49**	-0,38**	-0,33**	-0,75**	-0,43**	-0,46**
H+Al	-0,18*	0,06 ^{ns}	1,00	0,01 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,86**	-0,39**	0,26**	0,35**
Ca ²⁺	0,76**	-0,70**	0,01 ^{ns}	1,00	0,73**	0,42**	0,29**	0,52**	0,85**	0,52**	0,48**
Mg ²⁺	0,71**	-0,66**	0,11 ^{ns}	0,73**	1,00	0,60**	0,34**	0,53**	0,71**	0,58**	0,59**
K ⁺	0,47**	-0,49**	0,13 ^{ns}	0,42**	0,60**	1,00	0,51**	0,41**	0,47**	0,40**	0,59**
Na ⁺	0,34**	-0,38**	0,10 ^{ns}	0,29**	0,34**	0,51**	1,00	0,27**	0,31**	0,33**	0,48**
CTC	0,26**	-0,33**	0,86**	0,52**	0,53**	0,41**	0,27**	1,00	0,13 ^{ns}	0,51**	0,59**
V%	0,85**	-0,75**	-0,39**	0,85**	0,71**	0,47**	0,31**	0,13 ^{ns}	1,00	0,42**	0,41**
P	0,51**	-0,43**	0,26**	0,52**	0,58**	0,40**	0,33**	0,51**	0,42**	1,00	0,60**
COT	0,49**	-0,46**	0,35**	0,48**	0,59**	0,59**	0,48**	0,59**	0,41**	0,60**	1,00

^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade; * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade.

A análise fatorial apresentou resultados significativos para profundidade de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m (KMO = 0,714 e 0,777 e $p < 0,05$ para o teste de esfericidade de Barlett) para as variáveis nas áreas avaliadas, mostrando adequação à construção dos Componentes Principais (CPs), que possibilitou reduzir 11 variáveis originais em dois fatores (Figura 2.6).

Na profundidade de 0,00-0,10 m os dois fatores foram responsáveis por explicar 75,02% da variância das variáveis com autovalores maiores que 1. O CP1 explica 49,14%, sendo responsável pelas variáveis pH, Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, o CP2 explica 25,88% da variância, sendo responsável pelo P e COT. No CP1, pH, Ca²⁺ e Mg²⁺ apresentaram valores positivos enquanto, Al³⁺ apresentou valores negativos, isso indica que os atributos que apresentaram os mesmos sinais possuem correlação direta enquanto os que possuem sinais opostos possuem correlação inversa. No CP2, P e COT apresentaram valores

positivos. Ao observarmos o plano fatorial para profundidade de 0,00-0,10 m, verifica-se a formação de dois grupos, sendo o primeiro formado pela floresta que é discriminado pelo Al^{3+} , P e COT que possuem autovalores maiores que a média, o segundo formado pelas áreas de pastagens que são caracterizadas pelo pH, Ca^{2+} e Mg^{2+} . Vieira et al. (2016) também encontrou maiores teores de nutrientes na profundidade superficial em áreas de pastagem que utilizaram fogo para limpeza.

Na profundidade de 0,10-0,20 m os dois fatores foram responsáveis por explicar 76,54% da variância explicativa. O CP1 explicou 56,98% sendo responsável pelo P, pH, Al^{3+} , H+Al e COT, o CP2 explicou 19,56% sendo responsável pelo Ca^{2+} . No CP1 a maioria dos atributos apresentaram valor positivo enquanto o pH apresentou valor negativo. Através do plano fatorial observamos a formação de dois grupos, o grupo um sendo formado pela floresta, que é discriminado pelo Al^{3+} , H+Al, P e COT, já o grupo dois é composto pelas pastagens que são discriminadas pelo pH e Ca^{2+} .

Nas duas profundidades os ambientes de pastagens diferiram do ambiente de floresta. Atribuímos isso ao uso do fogo para limpezas das áreas, que devido ao incremento de nutrientes presentes nas cinzas ao solo, proporcionaram um maior pH e a disponibilidade de nutrientes (Zenero et al., 2016). Entretanto devido os solos amazônicos serem ácidos naturalmente é necessário a adoção de práticas corretivas e melhoria no suprimento de nutrientes (Pantoja et al., 2019).

Esse resultado corrobora com o encontra por Freitas et al. (2015), que utilizou estatística multivariada para avaliar, atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos e constatou que, a substituição da vegetação nativa por sistemas de cultivo favorecer alterações nos atributos químicos do solo.

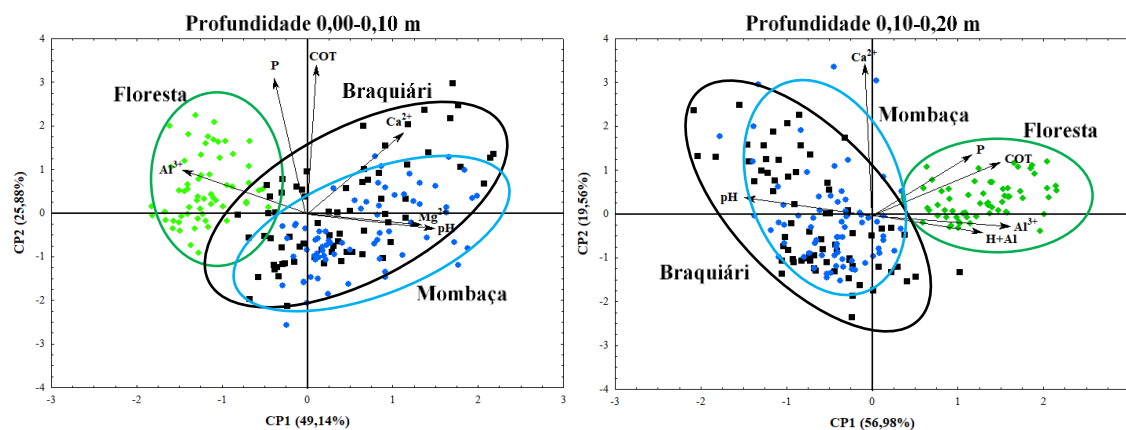


Figura 2.6 Plano fatorial dos atributos químicos do solo em áreas de floresta e pastagens, em Porto Velho, Rondônia.

2.3.3. Variabilidade espacial

Nas Figuras 2.7, 2.8 e 2.9 são apresentados os semivariogramas para as áreas de floresta, braquiária e mombaça respectivamente. Observa-se que todos as variáveis apresentaram estrutura de dependência espacial, estando o modelo esférico o único ajustado em todas as áreas e profundidades avaliadas, sendo este relacionado a variáveis do solo com alta continuidade espacial e menos erráticas a curtas distâncias (Isaaks e Srivastava 1989). Oliveira et al. (2015a), estudados solos no Amazonas observou a predominância de modelo esférico em área de floresta e modelo exponencial em pastagem ao ajuste dos semivariogramas para os atributos o solo. O coeficiente de determinação apresentou valores variando de 0,75 a 0,94 enquanto a validação cruzada variou de 0,75 a 1,00 para todas as áreas nas profundidades estudadas. De acordo com Azevedo (2004) quanto mais próximo de 1,00 o R^2 melhor a estimativa dos valores pelo método de krigagem comum.

O alcance indica a distância máxima em que o atributo está correlacionado espacialmente (Dalchiavon et al., 2012). Observamos valores de alcance na profundidade de 0,00-0,10 m variando de 18,20 (Al^{3+}) a 83,10 (P) m na área de floresta, 21,40 (Mg^{2+}) a 88,00 (Na^+) m para braquiária e 15,68 (CTC) a 89,00 (Ca^{2+}) m para mombaça. Na profundidade de 0,10-0,20 m, observamos alcance variando de 14,02 (V%) a 88,00 (CTC) m para floresta, 16,52 (H+Al) a 88,00 (Al^{3+}) m para braquiária e 14,96 (V%) a 29,39 (Na^+) para área de mombaça. De maneira geral a área com braquiária apresentou maiores valores de alcance para maioria das variáveis estudadas em relação as demais áreas, indicando que a área de braquiária possui menor variabilidade e é mais homogenia. Em contrapartida a área com mombaça apresentou os menores valores de alcance, indicando que essa área possui maior variabilidade sendo mais heterogenia. Essas variabilidades estão relacionadas à maior intensidade de pastejo, na área de mombaça (6,14 animais ha^{-1}) e menor na área de braquiária (4,50 animais ha^{-1}) e também pelas zonas de preferência de pastejo (Alencar et al., 2016).

O Grau de Dependência Espacial (GDE) apresentou valores variando de 0,03 a 69,70 entre as áreas estudadas, apresentando dependência espacial forte ($GDE < 25\%$) e moderada ($26\% > GDE < 75\%$) (Cambardella et al., 1994), indicando que, as variáveis estudadas não estão distribuídas no espaço de forma aleatória (Cavalcante et al., 2011).

Ao avaliarmos a área de floresta, na profundidade de 0,00-0,10 m, observamos que pH, Al^{3+} , H+Al, Ca^{2+} , CTC, V e P apresentaram GDE forte enquanto os demais atributos apresentaram moderada dependência espacial. Na profundidade de 0,10-0,20

m, H+Al, Ca²⁺, Mg²⁺, Na+ e V% apresentaram GDE forte e os demais moderado. A área de braquiária, na profundidade de 0,00-0,10 m apenas Ca²⁺, Mg²⁺ e COT apresentaram GDE forte, os demais atributos apresentaram GDE moderado, na profundidade de 0,10-0,20 m, H+Al, Mg²⁺ e CTC apresentaram GDE forte, o restante dos atributos apresentaram GDE moderado. Em seu trabalho Oliveira et al. (2015a) estudando diferentes usos do solo no sul do Amazonas, encontraram GDE forte na área de floresta e moderado na área de pastagem com braquiária para os atributos químicos na profundidade de 0,00-0,20 m. A área com mombaça apresentou GDE forte para maioria dos atributos estudados nas duas profundidades, exceto para pH e K⁺ na profundidade de 0,00-0,10 m que apresentaram GDE moderado. A área de mombaça apresentou GDE forte para maioria das variáveis em relação aos ambientes de floresta e braquiária, evidenciando que possivelmente as variáveis na área de mombaça é mais influenciada pelas propriedades intrínsecas do solo ligadas aos fatores de formação (Cambardella et al., 1994).

Nas figuras 2.10, 2.11 e 2.12 são apresentados os mapas de krigagem para as áreas de floresta, braquiária e mombaça respectivamente. Observa-se que a área de mombaça possui maior variabilidade em relação a distribuição dos atributos em comparação as demais áreas, essa variabilidade também é observada aos menores valores de alcance encontrados na mesma. Podemos atribuir a maior variabilidade dessa área, aos microrrelevos, que devido a direção do fluxo de água leva os nutrientes para as áreas mais baixa (Artur et al., 2014).

Os mapas de krigagem permitem estabelecer critérios de uso e manejo de forma isolada para cada variável estudada, possibilitando melhorar o aproveitamento da área, a nutrição das pastagens (Alencar et al., 2016), redução dos custos da produção e a tomada de decisão rápida e certa, possibilitando maior produtividade e também a melhoria do meio ambiente pelo menor uso de defensivos, além de prover registros da área produtiva mais detalhados e úteis (Santos et al., 2017).

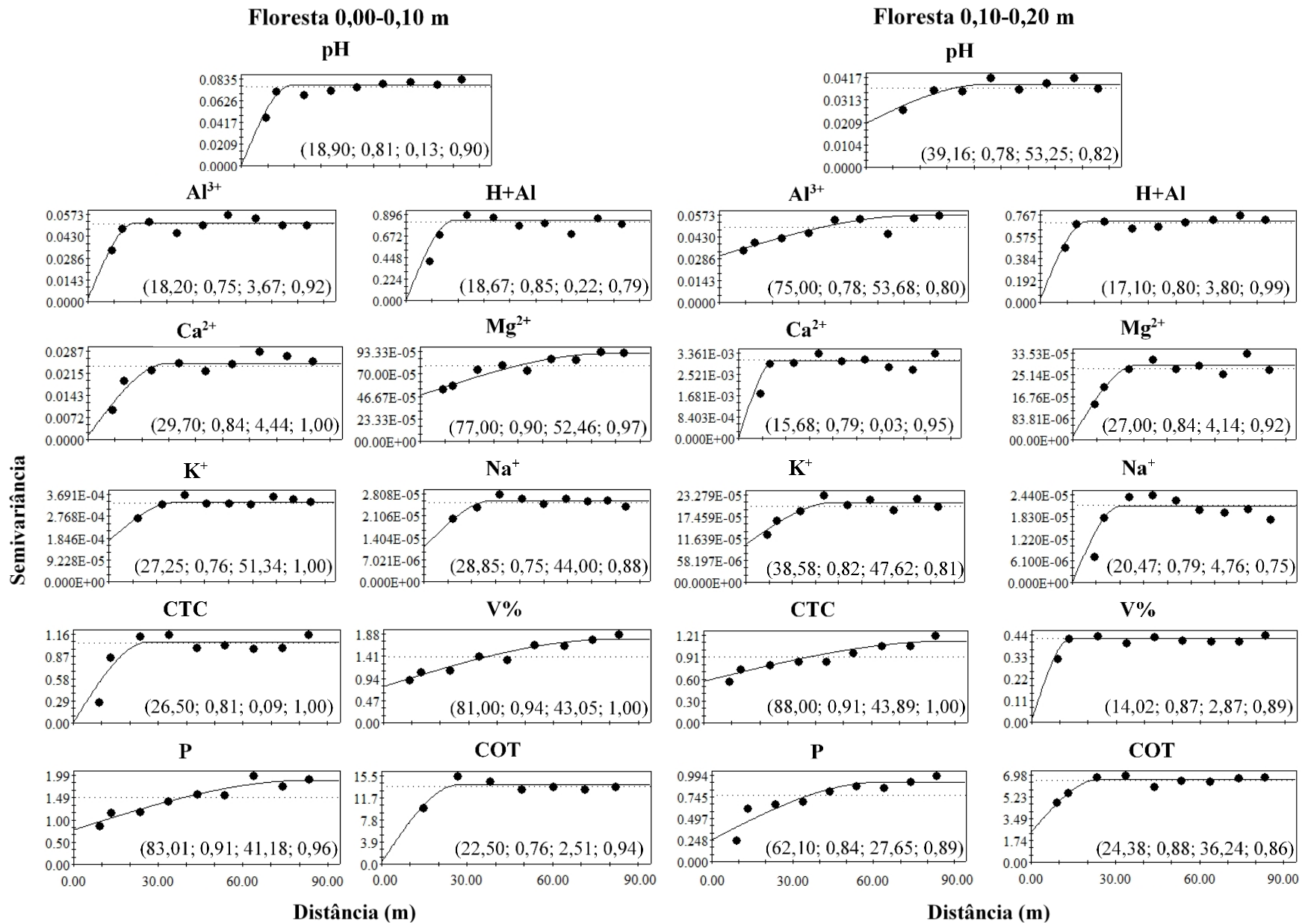


Figura 2.7 Semivariogramas dos atributos químicos do solo em área de floresta em Porto Velho, Rondônia. Os valores entre parênteses, são respectivamente: alcance, R^2 , grau dependência espacial (GDE) e validação cruzada.

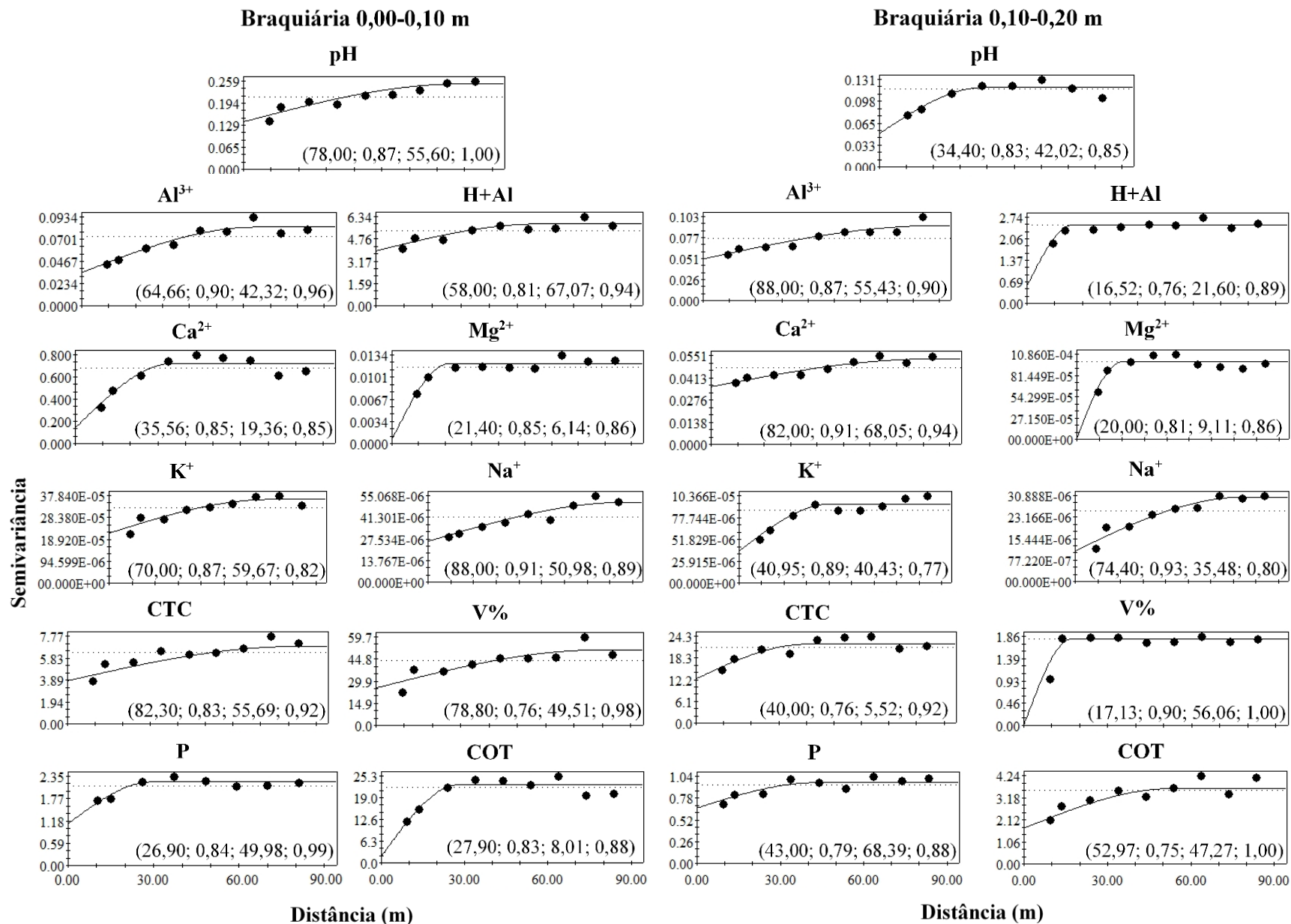


Figura 2.8 Semivariogramas dos atributos químicos do solo em área de braquiária em Porto Velho, Rondônia. Os valores entre parênteses, são respectivamente: alcance, R^2 , grau dependência espacial (GDE) e validação cruzada.

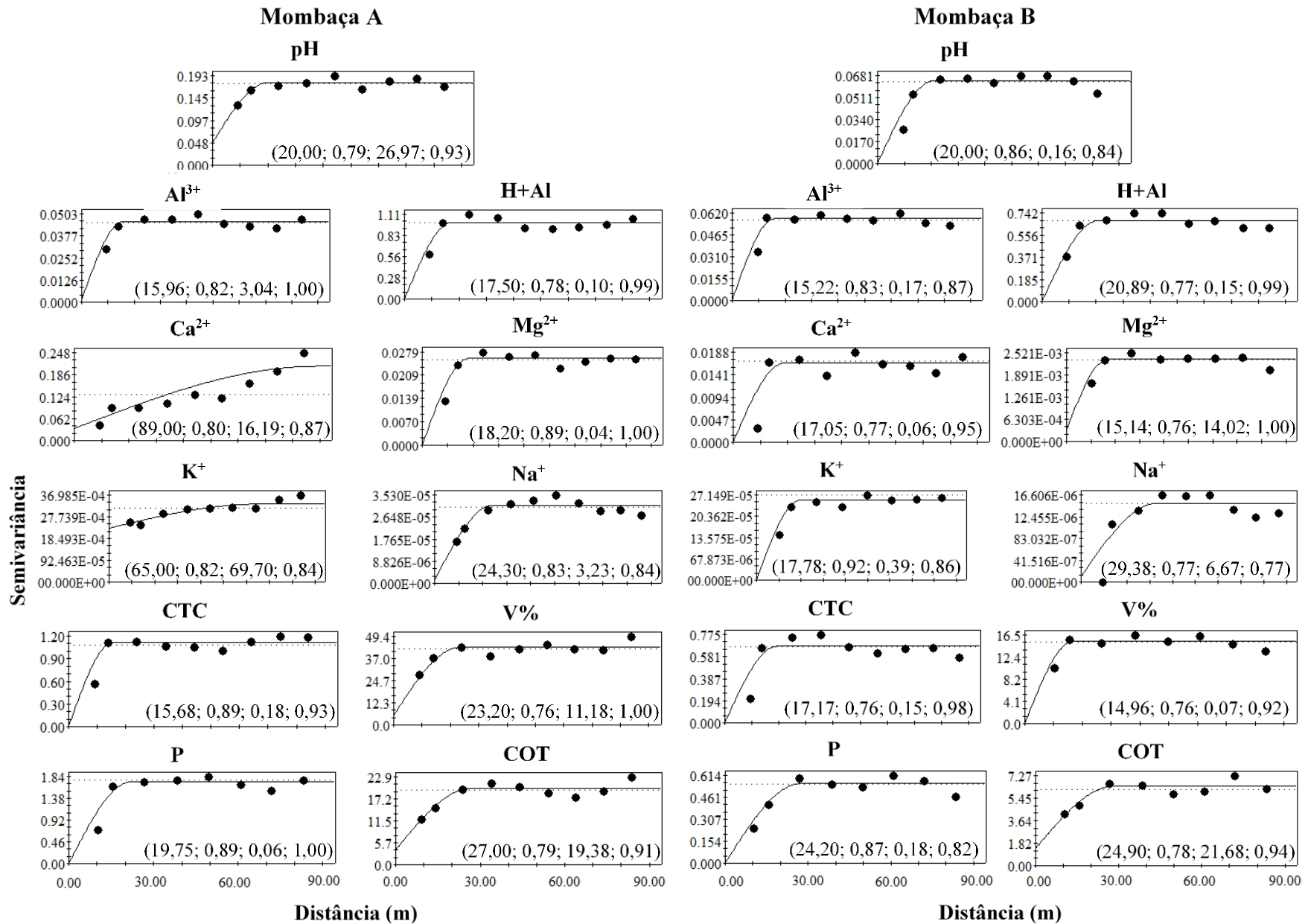


Figura 2.9 Semivariogramas dos atributos químicos do solo em área de mombaça em Porto Velho, Rondônia. Os valores entre parênteses, são respectivamente: alcance, R^2 , grau dependência espacial (GDE) e validação cruzada.

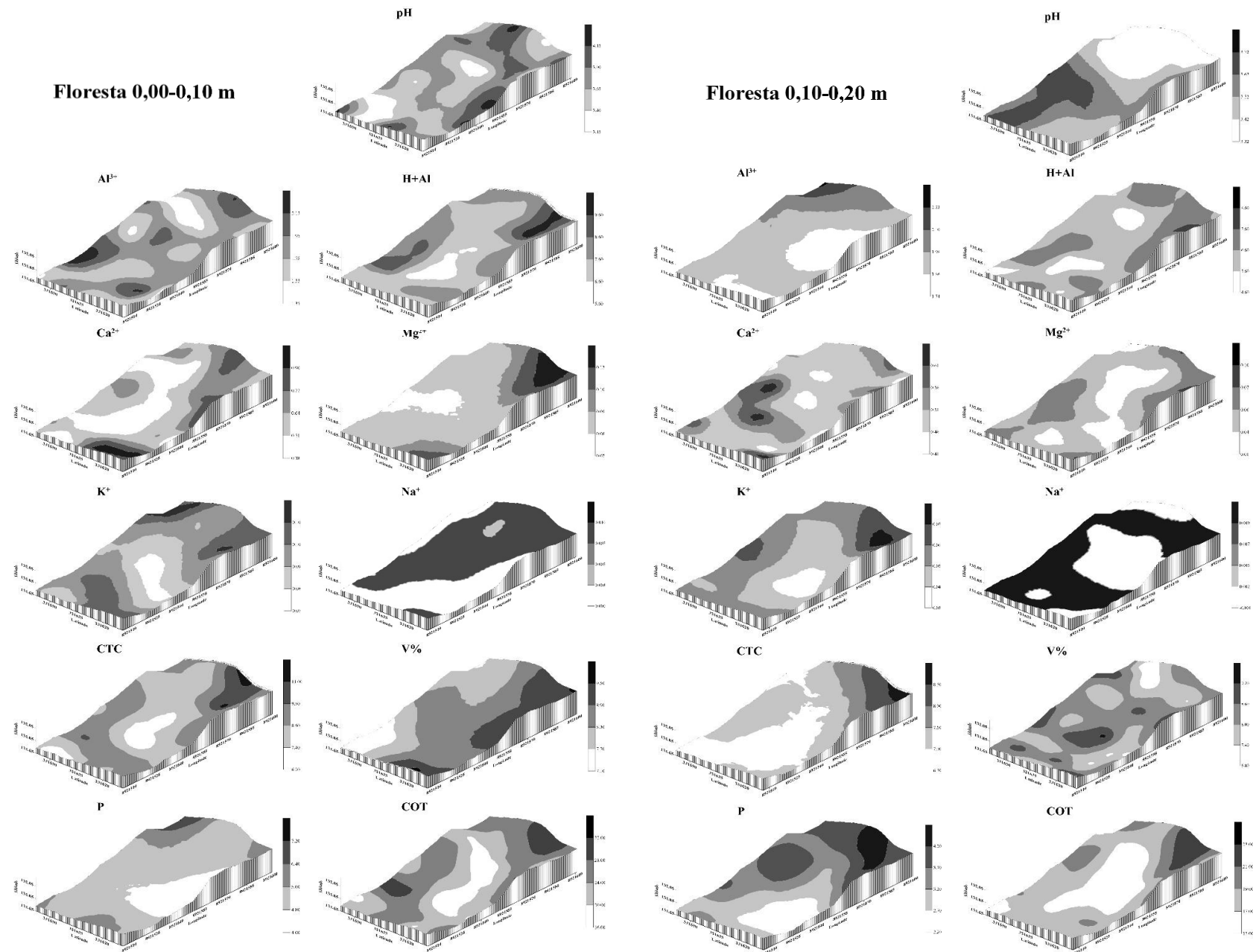


Figura 2.10 Mapas de krigagem dos atributos químicos do solo em área de floresta em Porto Velho, Rondônia.

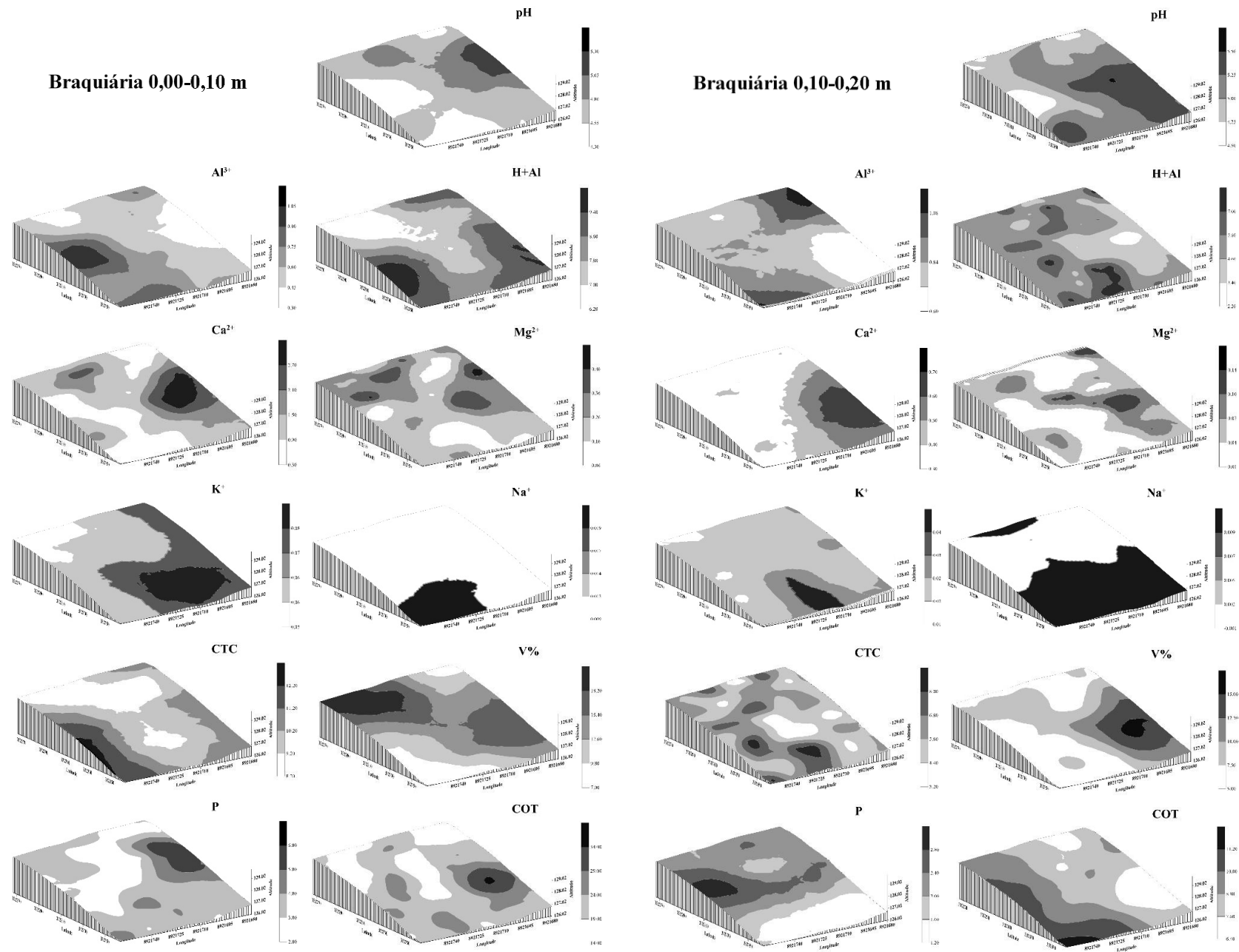


Figura 2.11 Mapas de krigagem dos atributos químicos do solo em área de braquiária em Porto Velho, Rondônia.

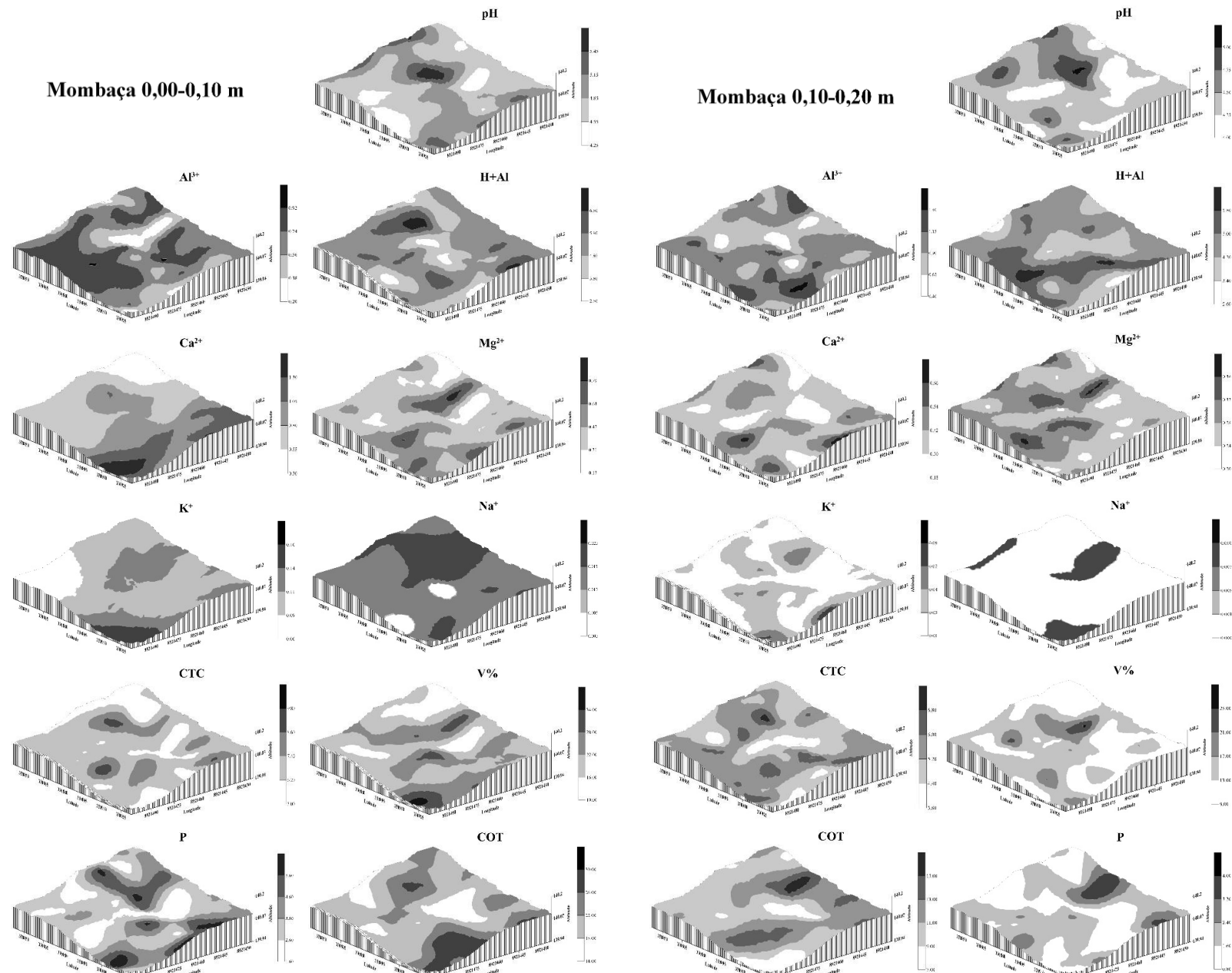


Figura 2.12 Mapas de krigagem dos atributos químicos do solo em área de mombaça em Porto Velho, Rondônia.

Os semivariogramas escalonados para as três áreas estudadas são apresentados na Figura 2.13. O modelo ajustado aos gráficos é o esférico que apresentou R^2 variando de 0,57 a 0,73 e a validação cruzada oscilando de 0,76 a 0,85. Oliveira et al. (2015b), também observaram que, em áreas de floresta e pastagem o modelo esférico se ajusta melhor para os atributos químicos do solo. As áreas estudadas apresentaram valores de alcance variando de 20,12 a 23,04 m, sendo encontrado os maiores valores na área de braquiária e menores valores na área de mombaça. Em relação a GDE, todas as áreas apresentaram forte dependência espacial, exceto braquiária na profundidade de 0,00-0,10 m (Cambardella et al., 1994).

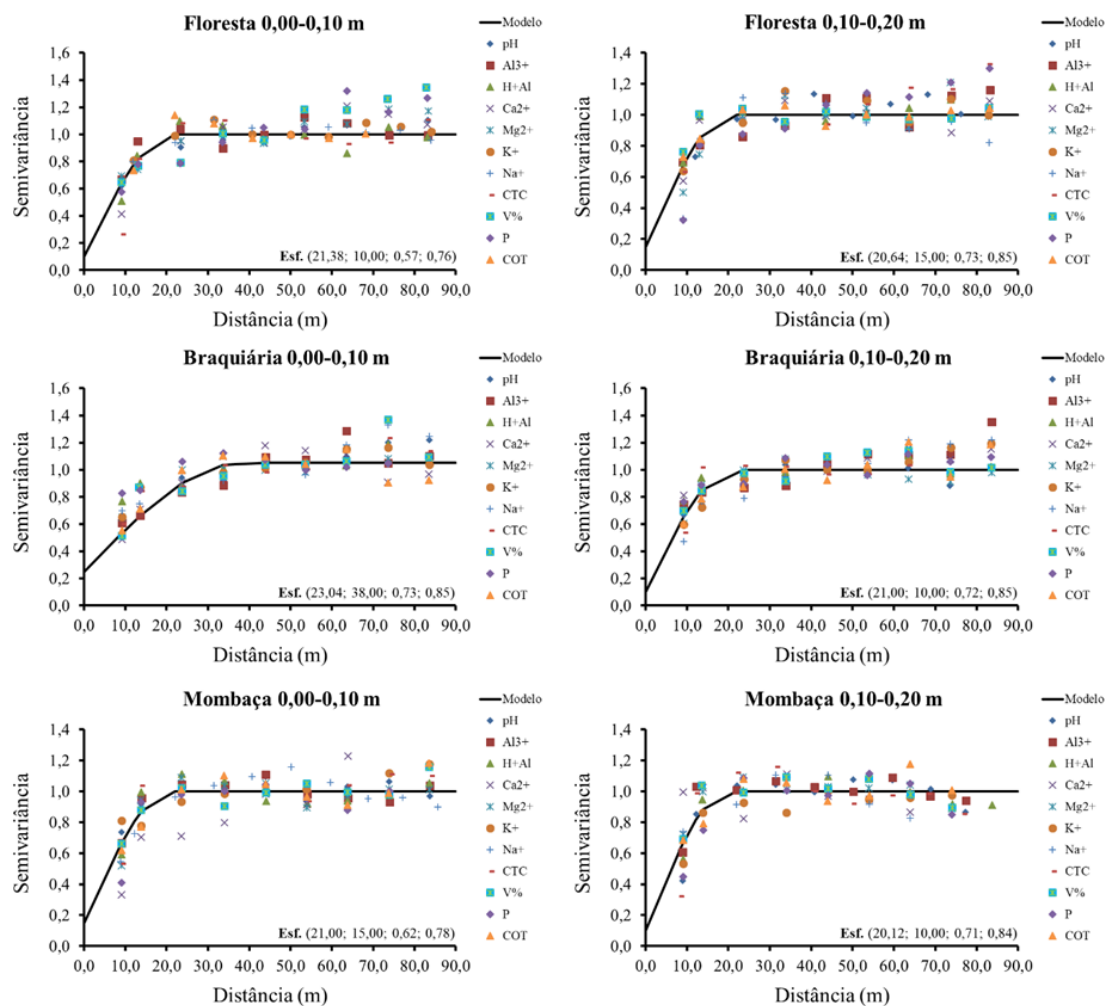


Figura 2.13 Semivariogramas escalonados para os ambientes estudados em Porto Velho, Rondônia. Os valores entre parêntese indicam respectivamente: alcance, grau de dependência espacial, R^2 e validação cruzada.

Na Tabela 2.4 está sendo apresentado a densidade mínima de amostragem com base na faixa estimada pelos semivariogramas escalonados, para os ambientes estudados. O ambiente de mombaça na profundidade de 0,10-0,20 m, apresentou o maior valor de

densidade de amostragem, sendo 13 amostras ha⁻¹, com espaçamento de 20 m, entretanto o ambiente de floresta na profundidade de 0,00-0,10 m apresentou o menor valor, sendo 9 amostras ha⁻¹, com espaçamento de 21 m. Os valores de densidade de amostragem encontrados nesse trabalho são maiores que os encontrados por Oliveira et al. (2015b) que utilizou os semivariogramas escalonados no planejamento de amostragem das propriedades químicas do solo no Amazonas.

Tabela 2.4 Densidade e espaçamento mínimos da amostragem para propriedades químicas do solo em diferentes ambientes estudados em Porto Velho, Rondônia.

Projeto de amostragem		Floresta	Braquiária	Mombaça
Densidade de amostragem 0,00-0,10 m	Pontos ha ⁻¹	9	10	12
Densidade de amostragem 0,10-0,20 m	Pontos ha ⁻¹	10	12	13
Espaçamento 0,00-0,10 m	m	21	23	21
Espaçamento 0,10-0,20 m	m	20	21	20

2.3.4. Zonas de manejo do solo

Zonas de manejo são subáreas de parcela maior onde os atributos do solo podem ser considerados homogêneas, elas levam em consideração não apenas a mesma classe de solo, mas também a variabilidade espacial existente dentro de uma mesma classe de solo (Oliveira et al., 2019). Portanto a zona de manejo pode ser definida dentro da mesma classe de solo a partir de amostras de solo em grades (Lal e Stewart, 2015), usados para desenvolver semivariogramas. Análises multivariadas, principalmente as de componentes principais, tem sido utilizada para sintetizar novas variáveis a partir da interação de diversas variáveis originais, e com isso diferenciar zonas dentro dos mesmos sistemas de manejo dos solos (Panishkan et al., 2010).

A Figura 2.14 mostra o semivariograma para os ajustes dos fatores de pontuação obtidos a partir da análise de componentes principais. Os semivariogramas dos F1 (CP1) para a profundidade 0,00-0,10 m nos diferentes ambientes estão relacionados as bases trocáveis (Ca²⁺ e Mg²⁺) e aos componentes da acidez do solo (pH e Al³⁺), os semivariogramas dos F2 (CP2) estão relacionados ao P e COT. Na profundidade de 0,10-0,20 m, o F1 está relacionado aos componentes da acidez do solo (pH, Al³⁺ e H+Al) e ao COT, no F2 está relacionado apenas ao Ca²⁺. Os semivariogramas ajustaram ao modelo esférico e apresentaram R² e validação cruzada variando de 0,76 a 0,88 e 0,76 a 1,00 respectivamente. Analisando espacialmente, o F1 na profundidade de 0,00-0,10 m para área de braquiária apresentou GDE moderado (64,52%) e o maior alcance (68,00 m), enquanto as demais áreas apresentaram GDE forte. O F2 apresentou GDE forte para todas as áreas estudadas, sendo observado o maior alcance para área de floresta (25,00

m). O F1 na profundidade de 0,10-0,20 m apresentou GDE moderado para braquiária (52,38%) que também apresentou o maior alcance (73,00 m), as demais áreas apresentaram forte GDE. Já o F2 apresentou apenas GDE forte para todas as áreas avaliadas.

Ao avaliarmos os mapas de krigagem dos escores (Figura 2.15), observamos, a formação de cinco zonas de manejo. Burak et al. (2012), evidenciaram que, quanto maior são os escores, maior são sua contribuição para correlações positivas, entre as variáveis que compõe cada fator, em contrapartida, quanto menor for os escores maior é a contribuição para correlações negativas. Desta forma, ao observamos os mapas do F1 para profundidade de 0,00-0,10 m, evidenciamos que a maior parte dos scores é positivo para as áreas de pastagens, enquanto que, na área de floresta apresentaram maiores escores negativos. As áreas que apresentaram scores positivos indicam correlação direta entre o pH e as bases (Ca^{2+} e Mg^{2+}), entretanto as áreas que apresentaram maior scores negativos é devido ao Al^{3+} que é menos disponível a medida que o pH e as bases aumentam. Para F2, a área de floresta apresentou maior parte dos scores positivo, enquanto as áreas de pastagens apresentaram maior parte negativa, evidenciando que o COT em florestas tá correlacionado a disponibilidade de P e nos ambientes de pastagens isso acontece com menos frequência. Para profundidade de 0,10-0,20 m, F1 na área de floresta presentou maior parte dos scores positivo enquanto, os escores das áreas de pastagens apresentaram maior parte de scores negativos, indicando que o COT em floresta está correlacionado com os componentes de acidez, entretanto essa correlação ocorre com menos frequência em pastagens. Essas correlações observadas evidenciam que, cada zona em cada ambiente necessita de manejos diferenciados, mais ou menos intensivo, e com isso aumentar a eficiência do uso dos recursos naturais, reduzir o impacto da agricultura no ambiente e otimizar os custos econômicos para o sistema de cultivo (Santos et al., 2017; Matias et al., 2019).

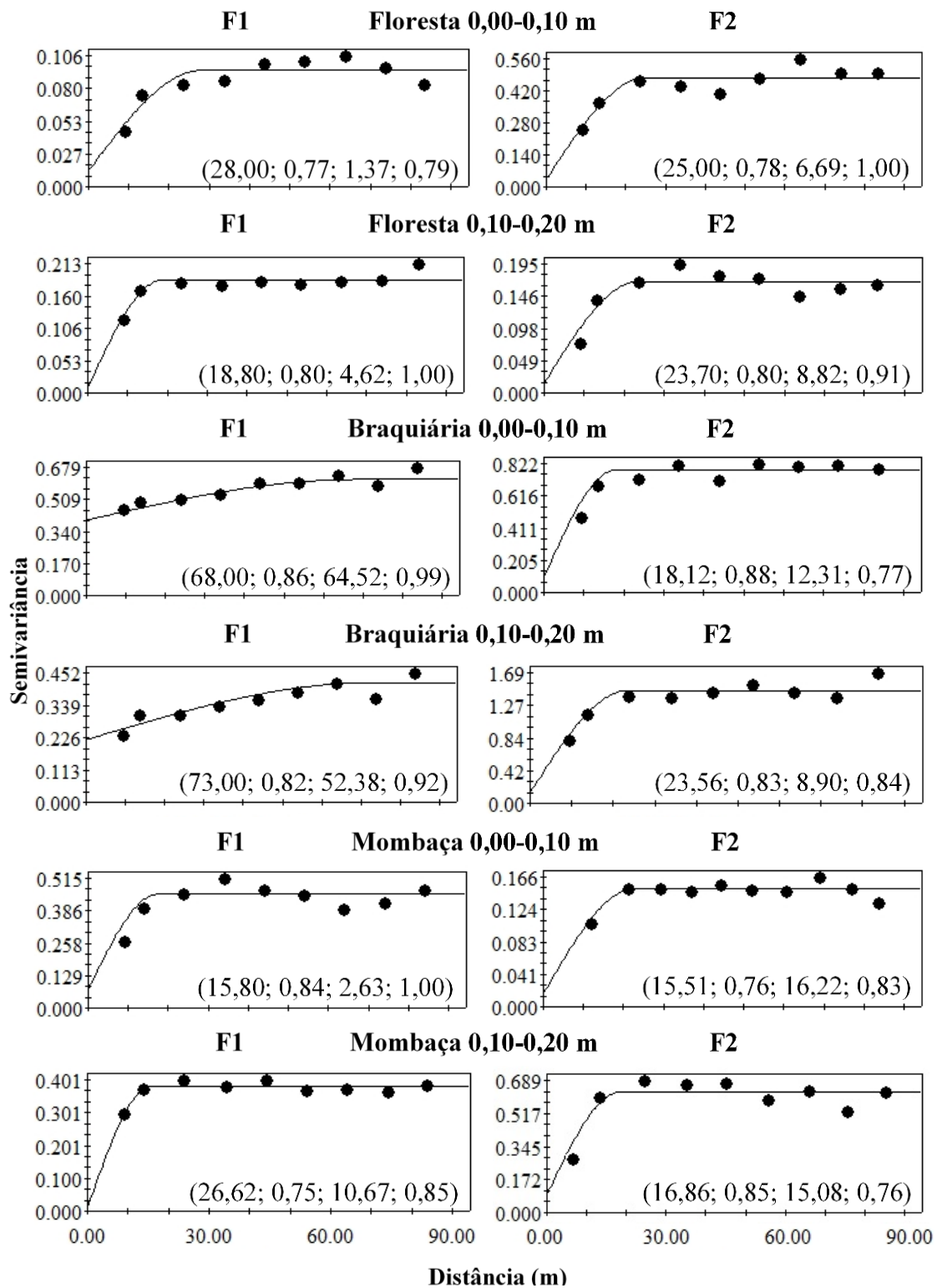


Figura 2.14 Semivariogramas experimentais ajustados aos valores de escores dos componentes principais para os diferentes ambientes estudados em Porto Velho, Rondônia. Os valores entre parênteses, são respectivamente: alcance, R^2 , grau dependência espacial (GDE) e validação cruzada.

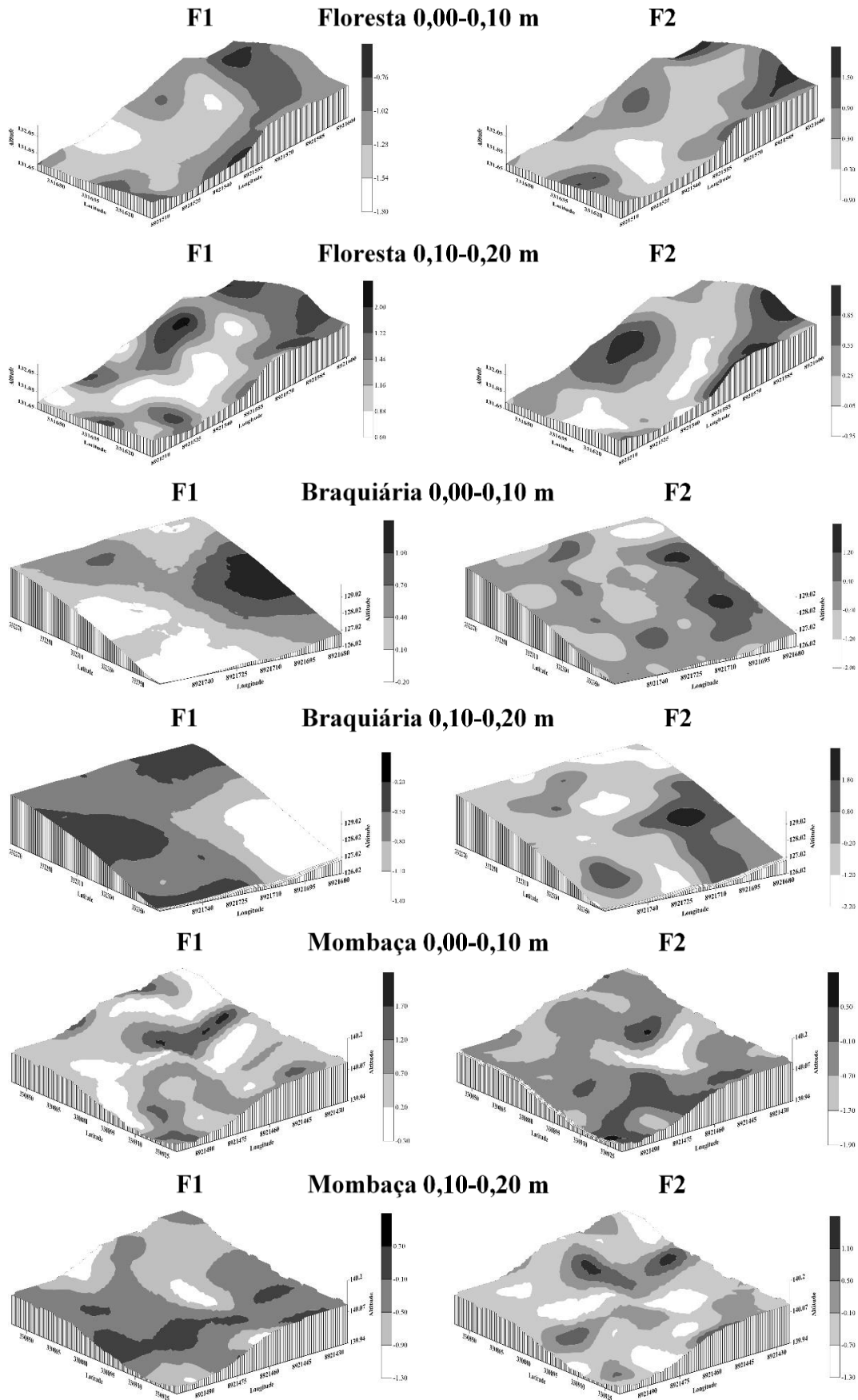


Figura 2.15 Mapas de krigagem dos valores de escores dos componentes principais para os diferentes ambientes estudados em Porto Velho, Rondônia.

2.4. Conclusões

A conversão de floresta em pastagens utilizando fogo é mais sensível próximo a superfície do solo. Proporciona incremento nos valores de pH e bases trocáveis, reduzindo os teores de alumínio trocável e acidez potencial, entretanto, induz perdas de fósforo e carbono orgânico do solo.

Através da multivariada observamos a formação de dois grupos, a floresta e as pastagens. O ambiente de floresta é caracterizado por ser mais ácido, possuindo maiores teores de P, carbono orgânico total, alumínio trocável e acidez potencial, enquanto os ambientes de pastagens são caracterizados por possuírem pH mais elevado, e maiores teores de bases trocáveis. Dentre os ambientes de pastagens a mombaça apresentou fertilidade mais elevada.

Observamos maior variabilidade espacial dos atributos químicos no ambiente com mombaça, atribuímos isso a maior intensidade de pastejo e aos micros relevos que direcionam o fluxo de água e nutrientes. A variabilidade nas áreas gerou zonas de manejos específicos para os componentes de acidez, bases trocáveis, fósforo e carbono orgânico dos solos. Nesses ambientes para cada zona é necessário manejos diferenciados, mais ou menos intensivo, para que se tenha mais eficiência no uso dos recursos naturais, reduzindo assim o impacto da agricultura no ambiente e otimizando os custos econômicos.

2.5. Referências bibliográficas

- Adamy, A., 2010. **Geodiversidade do estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 337 p.
- Alencar, N. M.; Melo, J. C.; Santos, A. C.; Cunha, O. F. R.; & Paula Neto, J. J. Distribuição espacial das propriedades do solo, produção do capim-marandu com a intensidade de pastejo. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, v. 24, n. 4, p. 338-349, 2016. doi: 10.13083/reveng.v24i4.602
- Alleoni, L. R. F.; Mello, J. W. V. D.; & Rocha, W. S. D. D. **Química e Mineralogia do Solo**, vol. 2, SBCS, Viçosa (2009), pp. 69 – 122
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M. & Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, 711–728, 2013. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- Araújo, E. A.; Ker, J. C.; Mendonça, E. S.; Silva, I. R.; Oliveira, K. O. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011. doi: 10.1590/S0044-59672011000100012

Artur, A. G.; Oliveira, D. P.; Costa, M. C.; Romero, R. E.; Silva, M. V.; & Ferreira, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, 141-149, 2014. doi: 10.1590/S1415-43662014000200003

Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes – ABIEC, 2019. **Perfil da pecuária no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/PublicacoesLista.aspx>>. Acessado em 09/05/2019.

Assunção, S. A.; Pereire, M. G.; Rosset, J. S.; Berbara, R. L. L.; García, A. C. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 658, p. 901–911, 2019. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.271

AZEVEDO, E. C. **Uso da Geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso**. 2004. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Agrícola Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Bottega, E. L.; Queiroz, D. M.; Pinto, F. A. C.; Souza, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013. doi: 10.1590/S1806-66902013000100001

Braz, A. M. B.; Fernandes, A. R.; Alleoni, L. R. F. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in Amazon. **Land Degradation & Development**, v. 24, n. 1, p. 33-38, 2013. doi: 10.1002/ldr.1100

Burak, D. L.; Passos, R. R.; & Andrade, F. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 538-547, 2012. doi: 10.1590/S0006-87052012000400012

Burak, D. L.; Passos, R. R.; Sarnaglia, S. A. Utilização da análise multivariada na avaliação de parâmetros geomorfológicos e atributos físicos do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 9, p. 1-11, 2010.

Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-11, 1994. doi: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x

Campos, M. C. C.; Ribeiro, M. R.; Souza Júnior, V. S. D.; Ribeiro Filho, M. R.; & Costa, E. U. C. D. Segmentos de vertente e atributos do solo de uma topossequência na região de Manicoré, AM. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 501-510, 2010. doi: 10.1590/S1806-66902010000400001

Carvalho, J. L. N.; Raucci, G. S.; Cerri, C. E. P.; Bernoux, M.; Feigl, B. J.; Wruck, F. J.; & Cerri, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 175-186, 2010. doi: 10.1016/j.still.2010.07.011

Cavalcante, E. G. S.; Alves, M. C.; Souza, Z. M.; Pereira, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 237-243, 2011. doi: 10.1590/S1415-43662011000300003

Ceddia, M. B.; Vieira, S. R.; Villela, A. L. O.; Mota, L. S.; Anjos, L. H. C.; Carvalho, D. F. Topography and spatial variability of soil physical properties. **Scientia Agrícola**, v. 66, p. 338-352, 2009. doi: 10.1590/S0103-90162009000300009

Chagas, C. S.; Fontana, A.; Carvalho Junior, W.; Caires, S. M. Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1441-1453, 2013. doi: 10.1590/S0100-06832013000600002

Cravo, M. S.; Smyth, T. J.; Brasil, E. C. Calagem em Latossolo amarelo distrófico da Amazônia e sua influência em atributos químicos do solo e na produtividade de culturas anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 895-908, 2012. doi: 10.1590/S0100-06832012000300020.

Dalchiavon, F.C.; Carvalho, M.P.; Andreotti, M.; Montanari, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012. doi: 10.1590/S1806-66902012000300006

Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 4.ed. revisada e ampliada. Brasília. 2018, 353 p.

Feng, C.; Ma, Y.; Fu, S.; & Chen, H. Y. Soil carbon and nutrient dynamics following cessation of anthropogenic disturbances in degraded subtropical forests. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 8, p. 2457-2467, 2017. doi: 10.1002/ldr.2781

Franzluebbers, A. J.; Stuedemann, J. A.; Franklin, D. H. Water infiltration and surface-soil structural properties as influenced by animal traffic in the Southern Piedmont USA. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 27, p. 256–265, 2011. doi: 10.1017/S1742170511000378

Freitas, K. R.; Rosa, B.; Ruggiero, J. A. et al. Avaliação da composição químico bromatológica do capim Mombaça (*Panicum maximum*) submetidos a diferentes doses de nitrogênio. **Bioscience Journal**, v.23, n.3, p.1-10, 2007.

Freitas, L.; Casagrande, J. C.; Oliveira, I. A.; Campos, M. C. C.; Silva, L. S. Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 10, n. 1, p. 17–26, 2015. doi: 10.5039/agraria.v10i1a3928

Galang, M. A.; Markewitz, D.; & Morris, L. A. Soil phosphorus transformations under forest burning and laboratory heat treatments. **Geoderma**, v. 55, n 3-4, p. 401-408, 2010. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.12.02

Gamma Design Software (GS+). **Geostatistics for the environmental sciences**. 7. ed. Plainwell: Gamma Design, 2004.

Golden Software Inc. (1999). **SURFER for Windows, Realese 13.0: Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers, user's guide**. New York, USA.

Guimarães, E. C. **Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um Latossolo Roxo** [dissertação]. Campinas: Universidade de Campinas; 1993.

Hong, S.; Piao, S.; Chen, A.; Liu, Y.; Liu, L.; Peng, S.; ... & Zeng, H. Afforestation neutralizes soil pH. **Nature communications**, v 9, n. 1, p. 520, 2018. doi: 10.1038/s41467-018-02970-1

Isaaks, E. H.; Srivastava, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press; 1989.

Jeddi, K.; Chaieb, M. Changes in soil properties and vegetation following livestock grazing exclusion in degraded arid environments of South Tunisia. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 205, n. 3, p. 184-189, 2010. doi: 10.1016/j.flora.2009.03.002

Lal, R.; & Stewart, B. A. In R. Lal & B. A. Stewart (Eds.), **Soil-specific farming: Precision agriculture**. Boca Raton, FL: EUA: CRC Press, 2015.

Lisbôa, F. M.; Donagemma, G. K.; Burak, D. L.; Passos, R. R.; Mendonça, E. S. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1184-1193, 2016. doi: 10.1590/s0100-204x2016000900018

Mantovanelli, B. C.; Campos, M. C. C.; Alho, L. C.; Franciscan, U.; Nascimento, M. F.; & Santos, L. A. C. Distribuição espacial dos componentes da acidez do solo em área de campo natural na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 14, p. 1, 2016. doi: 10.1590/S1806-66902010000400001

Matias, S. S. R.; Matos, A.; Landim, J.; Feitosa, S.; Alves, M. A.; & Silva, R. Recomendação de calagem com base na variabilidade espacial de atributos químicos do solo no Cerrado brasileiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 4, p. 896-907, 2019. Doi: doi.org/10.19084/rca.17735

Mendonça, V. Z.; Mello, L. M. M.; Pereira, F. C. B. L. et al. Corn production for silage intercropped with forage in the farming-cattle breeding integration. **Engenharia agrícola**, v.34, n.4, p.738-745, 2014. doi: 10.1590/S0100-69162014000400013

Merten, G. H.; Araújo, A. G.; Biscaia, R. C. M.; Barbosa, G. M. C.; Conte, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, v. 152, p. 85–93, 2015. doi: 10.1016/j.still.2015.03.014

Navarrete, D.; Sitch, S.; Aragao, L. E. O. C.; Pedroni, L. Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon leads to contrasting soil carbon dynamics depending on land management practices. **Global Change Biology**, v. 22, p. 3503–3517, 2016. doi: 10.1111/gcb.13266

Negreiros Neto, J. V.; Santos, A. C.; Guarnieri, A.; Souza, D. J. A. T.; Daronch, D. J.; Dotto, M. A.; Araújo, A. S. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um

Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 193-204, 2014. doi: 10.5433/1679-0359.2014v35n1p193

Oliveira, I. A. D.; Campos, M. C. C.; Marques Junior, J.; Aquino, R. E. D.; Teixeira, D. D. B.; & Silva, D. M. P. D. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil chemical properties in Southern Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 31-39, 2015b. doi: 10.1590/01000683rbc20150525

Oliveira, I. A. D.; Marques Junior, J.; Campos, M. C. C.; Aquino, R. E. D.; Freitas, L. D.; Siqueira, D. S.; Cunha, J. M. D. Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de Argissolos da Região de Manicoré, AM. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 668-681, 2015a. doi: 10.1590/01000683rbc20140496

Oliveira, J. F.; Mayi, S.; Marchão, R. L.; Corazza, E. J.; Hurtado, S. C.; Malaquias, J. V.; ... & de Guimarães, M. F. Spatial variability of the physical quality of soil from management zones. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 6, p. 1251-1273, 2019. doi: 10.1007/s11119-019-09639-9

Panishkan, K.; Areekijsee, M.; Sanmanee, N.; Swangjang, K. Soil classification based on their composition using principal component analysis. **Environment Asia**, v. 7, n. 1, p. 47-52, 2010.

Pantoja, J. C. M.; Campos, M. C. C.; Lima, A. F. L.; Cunha, J. M. D.; Simões, E. L.; Oliveira, I. A. D.; Silva, L. S. Multivariate analysis in the evaluation of soil attributes in areas under different uses in the region of Humaitá, AM. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 5, 2019. doi: 10.4136/ambi-agua.2342

Perigolo, N. A.; Medeiros, M. B.; Simon, M. F. Vegetation types of the upper Madeira River in Rondônia, Brazil. **Brittonia**, v. 69, n. 4, p. 423-446, 2017. Doi: 10.1007/s12228-017-9505-1

Perin, E.; Ceretta, C. A.; & Klamt, E. Time of agricultural use and chemical properties of two Ferralsols in the Planalto Médio region of the State of Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 665-674, 2003.

Petter, F. A.; Lima, L. B.; Morais, L. A.; Tavanti, R. F. R.; Nunes, M. E.; Freddi, O. S.; Marimon, B. H. Cultivation of soybeans and cover crops as low carbon agriculture strategy: CO₂ sequestration and increase in carbon stocks in a southern Amazon Oxisol. **Geoderma Regional**, 2017. doi: 10.1016/j.geodrs.2017.09.001

Sana, R.S.; Anghinoni, I.; Brandão, Z.N.; Holzschuh, M.J. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v. 18, n. 10, p. 994-1002, 2014. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p994-1002

Santos, K. E. L.; Bernardi, A. D. C.; Bettioli, G. M.; & Crestana, S. Geoestatística e geoprocessamento na tomada de decisão do uso de insumos em uma pastagem/geostatistics and gis in the decision making of the use of inputs in a pasture. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 11, n. 3, p. 294-307, 2017. doi: 10.18011/bioeng2017v11n3p294-307

Silva Neto, E. C. D.; Pereira, M. G.; Frade Junior, E. F.; Silva, S. B. D.; Carvalho Junior, J. A. D.; & Santos, J. C. D. Temporal evaluation of soil chemical attributes after slash-and-burn agriculture in the Western Brazilian Amazon. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 41, e 42609, 2019. doi: 10.4025/actasciagron.v41i1.42609

Silva, J. L.; Ribeiro, K. G.; Herculano, B. N.; Pereira, O. G.; Pereira, R. C.; Soares, L. F. P. Massa de forragem e características estruturais e bromatológicas de cultivares de *Brachiaria* e *Panicum*. **Ciência animal brasileira**, v. 17, n. 3, p. 342-348, 2016. doi: 10.1590/1089-6891v17i332914

STATSOFT Inc 7.0. **Statistica (data analysis software system)**. USA: 2004.

Teixeira, P. C.; Donagema, G. K.; Fontana, A.; & Teixeira, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 3^a ed. revista e ampliada. – Brasília, DF: Embrapa, 2017, 573 p.

Torres, F. N.; Richter, R.; Vohlan, M. A. Multisensoral approach for high-resolution land cover and pasture degradation mapping in the humid tropics: A case study of the fragmented landscape of Rio de Janeiro. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 78, p. 189-201, 2019. doi: 10.1016/j.jag.2019.01.011

Trangmar, B. B.; Yost, R. S.; Uehara, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Adv. Agron.**, v. 38, p. 54-94, 1985.

Vieira, A. C.; Melloni, R.; Melloni, E. G. P.; Guimarães, M. C.; Freitas, M. S.; & Pecoraro, D. Fogo e seus efeitos na qualidade do solo de pastagem. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 6, p. 1703-1711, 2016.

Vitória, E. L.; Fernandes, H. C.; Teixeira, M. M.; Cecon, P. R.; Lacerda, E. G. Correlação linear e espacial entre produtividade de *brachiaria brizantha*, densidade do solo e porosidade total em função do sistema de manejo do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 5, p. 909-919, 2012. doi: 10.1590/S0100-69162012000500010

Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. cap. 2, p. 319-344.

Yeomans, J. C.; Bremner, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988. doi: 10.1080/00103628809368027

Zanão Júnior, L. A.; Lana, R. M. Q.; Carvalho-Zanão, M. P.; Guimarães, E. D. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, v.57, n.3, p.429-438, 2010. doi: 10.1590/S0034-737X2010000300021

Zenero, M. D. O.; Silva, L. F. S. D.; Castilho, S. C. D. P.; Vidal, A.; Grimaldi, M.; Cooper, M. Characterization and classification of soils under forest and pasture in an agroextractivist project in Eastern Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-17, 2016. doi: 10.1590/18069657rbc201601650

3. Capítulo III: Atributos físicos do solo em áreas sob conversão floresta/pastagem no norte de Rondônia, Brasil

Resumo

A principal causa de degradação física em áreas de pastagens é o sobrepastoreio, que aliado a solos pouco produtivos causa a perda de milhões de hectares de solos agrícolas ao ano. Com isso são necessários trabalhos que monitorem quais atributos físicos são mais sensíveis a degradação, gerando informações para que se possa propor manejos de solos, que visem aspectos econômico, social e ambiental. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar, os impactos causados nos atributos físicos do solo, em floresta convertidas em pastagens no norte de Rondônia, Brasil. O estudo foi realizado no município de Porto Velho Rondônia, em três áreas, uma com floresta e duas com pastagens (braquiária e mombaça). Em campo foram coletadas amostras de solo deformadas, na profundidade de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m nas três áreas de estudo. Em laboratório foram realizadas as análises físicas, textura, agregados e porosidade, compactação, além disso foram realizadas análise de carbono orgânico do solo. Em seguida foram realizadas as análises uni, bi e multivariada, e também a análise geoestatística. A conversão de floresta em pastagens, impactou negativamente nos agregados, compactação, porosidade e acúmulo de carbono orgânico do solo. Os ambientes estudados são influenciados pelos teores elevados de areia e argila, que interferem na agregação, compactação, porosidade e acúmulo de carbono no solo. Observamos maior variabilidade espacial dos atributos físicos no ambiente com mombaça, atribuímos isso a maior intensidade de pastejo e pisoteio animal.

Palavras-chave: Degradação física; Estrutura do solo; Geoestatística; Agricultura de precisão

Physical attributes of soil in areas under forest/pasture conversion in northern Rondônia, Brazil

Resume

The main cause of physical degradation in pasture areas is overgrazing, which combined with low productive soils causes the loss of millions of hectares of agricultural soil a year. Thus, it is necessary to work to monitor which physical attributes are more sensitive to degradation, and thus generate information so that soil management can be proposed, with a view to economic, social and environmental aspects. Therefore, the objective of the work was to evaluate the impacts caused on the physical attributes of the soil, in forests converted to pastures in northern Rondônia, Brazil. The study was carried out in the city of Porto Velho Rondônia, in three areas, one with forest and two with pastures (brachiaria and mombaça). In the field, deformed soil samples were collected at a depth of 0.00-0.10 and 0.10-0.20 m in the three study areas. In the laboratory, physical analysis, texture, aggregates and porosity, compaction were carried out, in addition to the analysis of organic carbon in the soil. Then, uni, bi and multivariate analyzes were performed, as well as geostatistical analysis. The conversion of forest to pasture, had a negative impact on aggregates, compaction, porosity and accumulation of organic carbon in the soil. The studied environments are influenced by the high levels of sand and clay, which interfere in the aggregation, compaction, porosity and carbon accumulation in the soil. We observed greater spatial variability of the physical attributes in the environment with mombaça, we attribute this to the greater intensity of grazing and trampling.

Key-words: Physical degradation; Soil structure; Geostatistics; precision agriculture

3.1. Introdução

O Brasil possui 162,19 milhões de hectares com pastagens, correspondendo a 19% do território. Essas áreas em média apresentam uma taxa de ocupação de 1,32 cabeça/ha e lotação: 0,93 UA/ha (ABIEC, 2019). Segundo Barbosa et al. (2014), os sistemas produtivos apresentam baixas taxas de lotação (<1 unidade animal UA/ha) e produtividade (<120 kg de peso vivo/ha). Esses sistemas se expandem para compensar essa ineficiência, o que mostra um claro reflexo da baixa adoção de tecnologias (Silva Filho et al., 2010). Estima-se que anualmente 12 milhões de hectares de solos agrícolas são perdidos devido a degradação. (Rickson et al., 2015).

Os atributos físicos do solo de maneira geral apresentam variação no espaço, tempo e dependem dos diferentes manejos aplicados em cultivos de pastagens, tendo modificações no reservatório de carbono no solo (Petter et al., 2017), densidade do solo, resistência do solo à penetração e porosidade (Silva et al., 2017), com isso, diminui a infiltração e acúmulo de água (Bonetti et al., 2019) aumentando os riscos de erosão, perda de nutrientes (Merten et al., 2015) e flutuações de temperatura do solo (Lal, 2015), que impactam o solo, cultura e ambiente (Busari et al., 2015). Por outro lado, estudos tem centrado esforços em avaliar de alterações na estabilidade de agregados e carbono do solo na região amazônica (Alho et al., 2014; Soares et al., 2016; Cunha et al., 2017), como forma de avaliar a qualidade estrutural do solo em função de diferentes manejos.

Há estudos que evidenciam que pastagens quando manejadas adequadamente, estocaram mais C (Seó et al., 2017), melhoram as condições físicas, elevando as porcentagens de agregados com maiores diâmetros (Soares et al., 2016), aumentando a retenção de água, taxa de infiltração e porosidade, além de diminuir a densidade do solo (Bonetti et al., 2019).

Na região amazônica, as pastagens são pouco desenvolvidas e mostram redução de produtividade nos primeiros anos de cultivo, principalmente por causa do sobrepastoreio, ausência ou reposição insuficiente de nutrientes e inadequação de espécies forrageiras para as condições edafoclimáticas locais (Neves Junior et al., 2013). Diante disto, são necessários estudos que avaliem os impactos gerados nos atributos físicos do solo, em áreas de florestas convertidas em pastagem, e com isso gerar informações relevantes na região de estudo, para que se possa propor manejos de solos, que visem aspectos econômico, social e ambiental. Em contrapartida, quando observa-se os processos de conversão floresta em pastagens, verifica-se impactos nos atributos físicos do solo de diversas ordens, que dependerão do manejo adotado nas áreas após a

conversão. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar, os impactos causados nos atributos físicos do solo, em floresta convertidas em pastagens no norte de Rondônia, Brasil.

3.2. Material e métodos

3.2.1. Caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no distrito União Bandeirantes localizado no município de Porto Velho, Rondônia, Brasil (Figura 3.1), em três áreas, sendo duas áreas sob cultivo de braquiária (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) e mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) e uma área de floresta nativa.

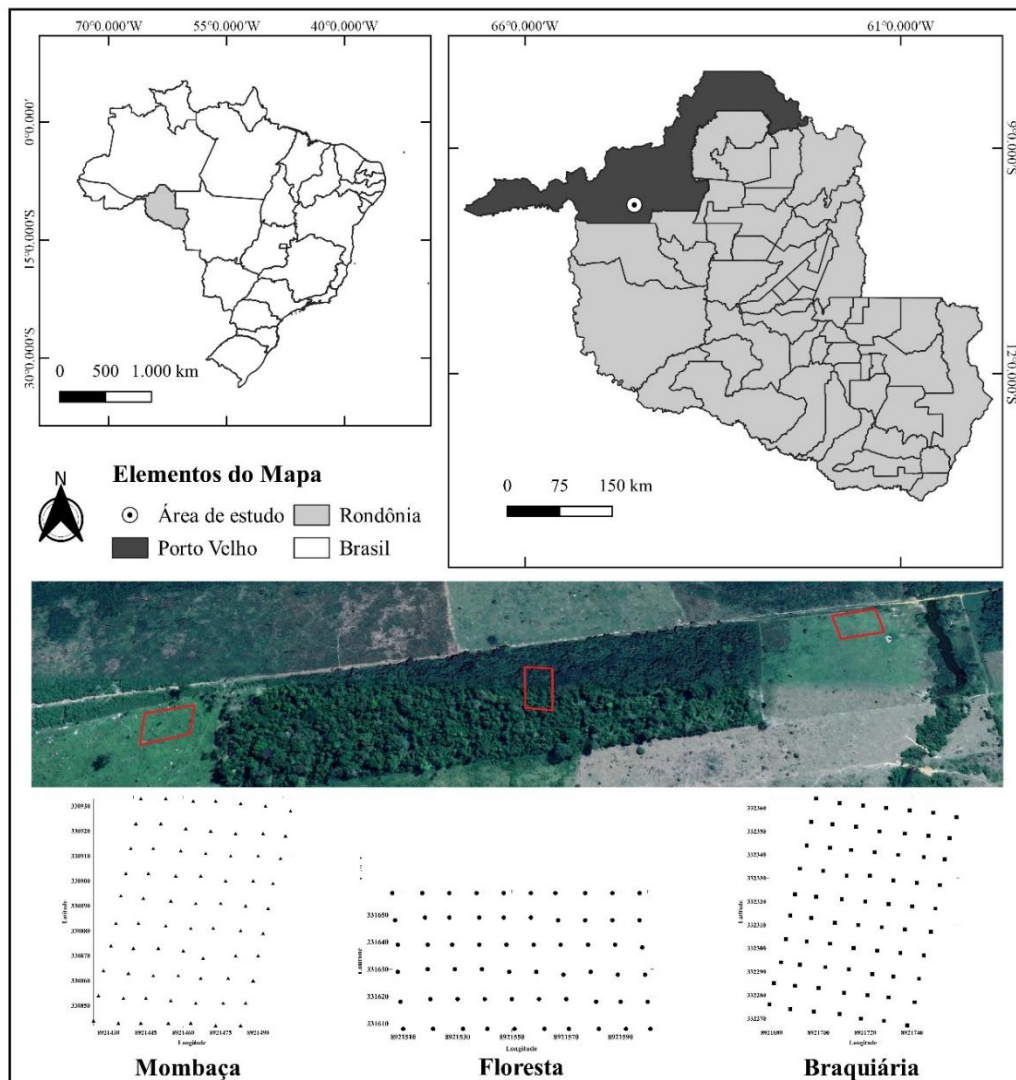


Figura 3.1 Mapa de localização e malha de amostragem da área de estudo em Porto Velho, Rondônia.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am (chuvas do tipo monção). A região apresenta uma estação seca de pequena duração entre os meses de junho a setembro. A pluviosidade anual varia de 2.500 a 2.800 mm. A temperatura anual está entre 24 a 26° C. A umidade relativa é bastante elevada, variando entre 85% a 90% na época chuvosa e entre 60 a 70% na época seca. (Alvares et al., 2013). A tipologia da vegetação é denominada, floresta ombrófila densa, constituída por árvores adensadas e multiestratificadas de 25 a 30 m de altura (Perigolo et al., 2017).

A área de estudo situa-se sobre os tabuleiros da depressão Amazônica, o relevo regional, apresenta superfície suave ondulada, com altitude variando de 100 a 200 m. Os solos encontrados são desenvolvidos a partir de coberturas sedimentares indiferenciadas, associadas a ambientes de leques aluviais, canais fluviais, planícies de inundação e lagos, constituídas por sedimentos cuja granulometria varia de cascalho a argila, com lateritização significativa (Adamy, 2010).

Os solos para os diferentes usos possuem relevo local variando de plano a suave ondulado e bem drenados. São classificados como Latossolo Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura argilosa segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018).

Para implantação das áreas de pastagem foram realizadas desmatamento com sucessivas queimadas ao longo do tempo, as queimadas tiveram o intuito de facilitar a limpeza para posterior semeadura das forragens. Ao todo são 110 animais criados em toda a área de 44,28 ha, que ficam 45 dias alterando entre o piquete com braquiária e o piquete com mombaça. A área com braquiária possui 26,36 ha, foi implantada em 2008, ficou um ano sem uso e foi usada com pouca frequência até 2010, após isso utilizou-se 4,5 animais ha. A área com mombaça possui 17,92 ha, foi introduzida em 2007, ficou três anos sem uso, após isso utilizou-se 6,14 animais por hectare no rodizio de 45 dias entre a braquiária.

3.2.2. Metodologia de campo

Em campo foi estabelecida uma malha de 90 x 60 m para as áreas com braquiária e mombaça, e 90 x 50 m para a área de floresta com espaçamento regular de 10 m entre os pontos amostrais. Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento das malhas, sob as profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, perfazendo um total de 60 pontos

amostrais para área de floresta e 70 pontos para as áreas de pastagens, totalizando 400 amostras ao todo.

Os pontos de cruzamento das malhas foram georreferenciados com um equipamento de GPS para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE). Nos mesmos pontos amostrados foram realizados o levantamento altimétrico para fins de estudo do relevo nas malhas.

Para obtenção das amostras nos pontos de cruzamento das malhas, foram coletadas em cada área, amostras com estrutura preservada em forma de torrões e anéis volumétricos de 4,0 cm de altura e 5,1 cm de diâmetro interno. Essas amostras foram utilizadas para a determinação do carbono orgânico e as propriedades físicas do solo.

3.2.3. Análise de laboratório

Em cada ponto amostral foram coletadas amostras de solos, na forma de torrão, em seguida foram secas à sombra e destorroadas, de forma manual, passando-as num conjunto de peneira de 9,51 mm de diâmetro de malha, 4,76 mm de diâmetro e de 2,00 mm de diâmetro. Após o solo passar por esse processo de destorroamento, foram realizadas as análises físicas, segundo a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). Foram realizadas as análises de estabilidade de agregados, diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), classes de agregados >2 mm, de 1-2 mm e <1 mm com o solo que ficar retido na malha de 4,76 mm. Uma parte do torrão dessas amostras de solos foram separados e destorroados, os solos que passaram na peneira de malha 2 mm foram utilizados para as análises granulométricas areia, silte e argila. Com os anéis volumétricos foram realizadas as análises de resistência do solo a penetração (RSP), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (MiP) e macroporosidade (MaP) e Umidade gravimétrica (Ug).

A determinação da estabilidade dos agregados do solo foi realizada pelo método de peneiramento úmido. A separação e estabilidade dos agregados foram determinadas segundo Kemper & Chepil (1965), a qual colocou-se as amostras sobre um jogo de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,125; e 0,063 mm e submetendo-as a oscilações verticais durante 15 minutos numa frequência de 32 oscilações por minuto. Os resultados serão expressos em porcentagem dos agregados retidos em cada uma das classes das peneiras para >2 mm, de 1-2 mm, <1 mm e posteriormente serão calculados o DMP, através da fórmula proposta por Castro Filho et al. (1998), e DMG segundo

Schaller & Stockinger (1953), citados por Alvarenga et al. (1986), de acordo com as equações:

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^N n_i D_i}{\sum n_i} \quad (1)$$

$$DMG = 10^{\frac{\sum_{i=1}^N n_i \log D_i}{\sum n_i}} \quad (2)$$

em que:

n_i = porcentagem de agregados retidos em uma determinada peneira;

D_i = diâmetro médio de uma determinada peneira;

N = número de classes de peneiras.

A análise textural do solo foi determinada utilizando o método da pipeta, com solução de NaOH 1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica utilizando o agitador tipo Wagner, em aparato de rotação lenta por 16 horas a 50 rpm. As areias, grossa e fina, foram separadas por tamisação, a fração argila e silte foram separadas por sedimentação.

Para as determinações da RSP, Ds, Pt, MiP, MaP e Ug, as amostras coletadas em anéis volumétricos foram saturadas por capilaridade, até cerca de dois terços da altura do anel, de uma lâmina de água numa bandeja plástica. Após a saturação, as amostras foram pesadas e levadas à mesa de tensão, para obtenção da MiP, sendo submetidas a uma tensão de -6 KPa para retirar a água presente nos macroporos. Após atingirem o equilíbrio em um potencial matricial de -0,006 MPa, as amostras foram novamente pesadas e, em seguida, foram feitas as medidas da resistência do solo à penetração (RSP), utilizando-se um penetrógrafo eletrônico de bancada (MA-933, Marconi, SP, BR). Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa a 105 °C para a determinação da Ug, Ds e Pt, pelo método do anel volumétrico, já a MaP foi determinada pela diferença entre Pt e MiP.

O carbono orgânico total (COT) foi determinado no método via úmida de acordo com Walkley-Black, modificado por Yeomans & Bremner (1988). Onde o carbono orgânico do solo é oxidado com uma mistura de dicromato de potássio a 0,0667 mol L⁻¹, utilizou-se como indicador a difenilamina 1% e sulfato ferroso amoniacal a 0,102 mol L⁻¹ como titulante.

3.2.4. Análises estatística uni, bi e multivariada

Com a obtenção dos atributos físicos e o carbono orgânico, os dados foram submetidos às análises univariada, bivariada e multivariada, no software estatístico Statistica 7 (Statsoft, 2004).

A estatística univariada dos dados foi realizada por meio da estatística descritiva onde foram calculadas a média, mediana, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose. Além disso, foram confeccionados os gráficos de boxplot, com intuito de representar as estatísticas descritivas e distribuição primária dos dados. As comparações das médias das variáveis dentro de cada ambiente estudado foram analisadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. As hipóteses de normalidade dos dados dentro de cada ambiente foram testadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS).

A estatística bivariada foi utilizada para verificar a correlação entre duas variáveis diferentes par a par, afim de estudar a influência direta ou antagônica de uma na outra. Na avaliação foi utilizado o teste de correlação de Pearson a 5% de probabilidade entre todas as variáveis estudadas.

Para as análises multivariadas, foi realizada análise fatorial dos componentes principais (ACP), aos quais foram realizadas a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos físicos e carbono orgânico do solo que mais discriminam os ambientes, com relação as diferentes áreas em estudo, obtendo como resposta quais são os ambientes cujos atributos sofrem maior influência pela ação antrópica.

A adequabilidade da análise fatorial foi feita pela medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Bartlett, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade. A extração dos fatores foi realizada pela análise de componente principal, incorporando as variáveis que apresentaram comunalidades igual ou superior a cinco (5,0). A escolha do número de fatores a ser utilizado foi feita pelo critério de Kaiser (fatores que apresentam autovalores superiores a 1,0). A fim de simplificar a análise fatorial, foi feita a rotação ortogonal (varimax) e representada em um plano fatorial das variáveis e dos escores para os componentes principais (Burak et al., 2010).

3.2.5. Análise geoestatística

A geoestatística foi usada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos e carbono orgânico do solo para todas as variáveis em todas as áreas estudadas, e também foi utilizada para avaliar os fatores (F1 e F2) obtidos pela análise fatorial. Para

se fazer a análise geoestatística, foi necessário saber se há dependência espacial ou não dos atributos estudados, onde foi verificado por meio do gráfico do semivariograma. Com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual o semivariograma é estimada por:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (3)$$

sendo:

$\hat{\gamma}(h)$ = valor da semivariância para uma distância h ;

$n(h)$ = número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;

$Z(x_i)$ = valor do atributo Z na posição x_i ;

$Z(x_i+h)$ = valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

O ajuste dos semivariogramas foram feitos com base no melhor coeficiente de determinação (R^2) e validação cruzada (VC), estimados pelo Software GS+ 7.0 (Gamma Design, 2004). A partir desses ajustes, foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma: efeito pepita (C_0) = valor da semivariância para a distância zero, que representa o componente da variação ao acaso; variância estrutural (C_1); patamar ($C_0 + C_1$) = valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; e alcance (a) = distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (Trangmar et al., 1985).

Para a análise do grau de dependência espacial (GDE) dos atributos em estudo, foi utilizado a classificação de Cambardella et al. (1994), em que as propriedades do solo são consideradas com dependência espacial forte se a razão do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar (C_0+C_1) for menor que 25%. Se a razão estiver entre 26 a 75%, a dependência espacial é considerada moderada, enquanto que, se a propriedade do solo for maior que 75% a aproximadamente 95%, classificam-se como dependência espacial fraca.

Após o ajuste dos modelos matemáticos permissíveis, foram feitas as interpolações dos dados, por meio da krigagem no software Surfer versão 13.0 (Golden Software Inc., 1999). A construção dos mapas de Krigagem possibilitou verificar e relacionar espacialmente os atributos químicos.

Neste trabalho, foram utilizados os semivariogramas escalonados para todos as variáveis em cada área e profundidade estudada com o objetivo de reduzi-los à mesma escala, facilitando a comparação entre resultados de diferentes áreas (Ceddia et al., 2009). Os semivariogramas experimentais foram escalonados por meio da divisão das semivariâncias pela variância estatística (Guimarães, 1993). A escolha do modelo de semivariograma escalonado que melhor se ajustou aos dados foi realizada com base no R^2 e validação cruzada (VC), além do conhecimento prático do comportamento dos atributos nos ambientes.

Pelo alcance dos semivariogramas de cada variável, foi determinado o número mínimo de amostras para que seja possível promover a caracterização da variabilidade espacial de cada atributo estudado individualmente (Oliveira et al., 2015a). Essas informações possibilitaram o cálculo do número mínimo de amostragem do solo e para determinar a variabilidade de todos os atributos em ambas às profundidades nos três ambientes estudados.

$$N = \frac{A}{a^2/10.000}$$

(2)

em que:

N = número mínimo de amostras necessárias para a determinação de uma malha de amostragem;

A = área total, em ha;

a = o alcance do semivariograma, em m.

3.3. Resultados e discussão

3.3.1. Conversão floresta em pastagens

Ao observamos a dispersão das variáveis (Tabela 3.2), percebe-se que, o coeficiente de variação (CV), apresentou valores variando de 3,19 a 88,77% sendo classificado como baixo (<12%), médio (12 a 60%) e alto (>60%) (Warrick e Nielsen 1980). Areia, argila, Ds, Ug, Pt e MiP em todas as áreas e profundidades, classe de agregados >2mm e DMG nas três áreas na profundidade de 0,00-0,10 m e DMP na área de floresta e mombaça em todas as profundidades e na área de braquiária na profundidade de 0,00-0,10 m apresentaram CV classificado como baixo. O silte, MaP, RSP, COT para

todas as áreas nas profundidades estudadas e as classes de agregados >2mm, 1-2mm, <1mm e DMG nas três áreas na profundidade de 0,10-0,20 m e DMP na profundidade de 0,10-0,20 m na área de braquiária apresentaram CV classificado como médio. Foram observados valores de CV alto apenas para classes de agregados 1-2mm na profundidade de 0,00-0,10 m nas três áreas estudadas e para classe <1mm na profundidade de 0,00-0,10 da área de floresta.

Ao avaliarmos a normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov Smirnov a 5% de probabilidade, verificou-se que a maioria das variáveis apresentaram distribuição normal, exceto para classes de agregados >2mm, 1-2mm, <1mm e DMP na área de floresta na profundidade de 0,00-0,10 m, para Ug na profundidade de 0,10-0,20 m de floresta e braquiária e nas duas profundidades de mombaça e para Pt e Mip na profundidade de 0,10-0,20 m nas áreas de mombaça. A assimetria dos dados apresentou valores variando de -1,25 a 0,99. Os valores de assimetria maiores que zero encontrados indica que os dados possuem distribuição assimétrica à direita enquanto os negativos indicam que possuem distribuição assimétrica à esquerda. Para curtose observamos valores variando de -1,35 a 2,53, esses valores devem ser preferencialmente nulos, entretanto é aceitável valores entre -2 a +2 (Negreiros Neto et al. 2014).

Ao avaliarmos a diferença na textura para os três ambientes estudados, observa-se que todas as áreas nas profundidades estudadas apresentaram diferença estatística (Figura 3.2). A área de floresta apresentou os menores teores de areia (543,70 e 476,22 g kg⁻¹) nas duas profundidades avaliadas, entretanto apresentou os maiores teores de silte (52,31 e 63,42 g kg⁻¹) e argila (399,71 e 458,65 g kg⁻¹) nas duas profundidades estudadas. A área de braquiária apresentou os maiores teores de areia (693,28 e 643,55 g kg⁻¹) e os menores de silte (26,24 e 33,01 g kg⁻¹) e argila (279,53 e 320,60 g kg⁻¹) para as duas profundidades estudadas. A área com mombaça apresentou teores intermediários em relação as outras áreas em todas as profundidades estudadas. Podemos atribuir os maiores teores de areia e menores teores de silte e argila nas áreas de pastagem em relação a floresta, a maior intensidade de remoção de partículas finas proporcionada pelos microrrelevos, principalmente devido ao condicionamento de fluxos de água (Oliveira et al., 2013), que são intensificadas pela pouca cobertura do solo proporcionada pelas pastagens. Santos et al. (2018), estudando solos em Porto Velho encontraram teores de silte maiores que 500 g kg⁻¹, e teores de areia menores que 180 g kg⁻¹, valores esses muito diferentes ao encontrado no presente trabalho.

Tabela 3.1 Análises descritiva e teste de normalidade dos dados, para os atributos físicos e carbono orgânico do solo em diferentes ambientes, em Porto Velho, Rondônia.

Parâmetros	Areia	Silte	Argila	Classes de agregados (%)			DMG	DMP	Ds	Ug	Pt	MiP	MaP	RSP	COT
	----- g kg ⁻¹ -----			>2 mm	1-2 mm	<1 mm	----- mm -----		g cm ⁻³	kg kg ⁻¹	----- m ³ m ⁻³ -----			kgf	g kg ⁻¹
Floresta															
Profundidade 0,00-0,10 m															
CV	7,48	44,88	11,08	5,72	88,77	80,84	10,33	5,12	11,34	7,48	8,18	11,19	26,84	52,46	17,49
Assimetria	0,51	0,17	-0,26	-0,88	0,38	0,53	-1,10	-1,25	-0,16	0,09	-0,25	-0,21	0,28	0,28	0,36
Curtose	-0,10	-0,99	-0,84	-0,26	-1,35	-1,19	0,59	1,29	-0,97	-0,04	0,46	-0,71	-0,35	-1,02	-0,09
KS	0,13*	0,10*	0,11*	0,21 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,14*	0,20 ^{ns}	0,09*	0,14*	0,12*	0,14*	0,10*	0,09*	0,08*
Profundidade 0,10-0,20 m															
CV	7,46	43,18	8,98	12,28	58,71	51,72	18,21	10,35	7,25	5,87	6,98	5,81	35,51	39,82	14,05
Assimetria	0,38	0,07	0,16	-0,36	0,27	0,48	-0,53	-0,64	-0,13	0,41	0,46	0,15	0,38	0,52	0,43
Curtose	-0,43	-1,11	-0,04	-1,03	-1,31	-0,95	-0,63	-0,30	0,66	0,35	-0,03	-0,71	-0,45	-0,43	-0,31
KS	0,09*	0,08*	0,07*	0,09*	0,11*	0,11*	0,10*	0,12*	0,07*	0,18 ^{ns}	0,12*	0,11*	0,12*	0,09*	0,09*
Braquiária															
Profundidade 0,00-0,10 m															
CV	5,66	36,12	11,72	4,87	68,99	45,87	10,31	4,73	11,35	11,69	11,11	11,55	33,78	35,40	22,64
Assimetria	-0,64	0,58	0,37	-0,40	0,43	0,53	-0,41	-0,88	-0,24	0,48	0,30	0,18	0,55	0,09	0,77
Curtose	0,88	-0,36	-0,36	-0,85	-1,03	-0,46	-0,61	0,42	-0,63	-0,43	-0,82	-0,24	-0,19	-0,98	0,56
KS	0,08*	0,14*	0,08*	0,12*	0,12*	0,08*	0,10*	0,11*	0,09*	0,12*	0,10*	0,08*	0,13*	0,11*	0,07*
Profundidade 0,10-0,20 m															
CV	4,48	39,79	9,81	16,75	42,56	54,57	23,44	16,97	7,54	5,24	8,92	7,28	38,80	28,96	23,64
Assimetria	-0,11	0,83	-0,42	-1,02	-0,03	0,67	-0,30	-1,22	-0,57	-0,99	0,34	-0,10	0,42	0,08	-0,46
Curtose	-0,25	0,32	-0,02	0,76	-1,20	-0,71	0,66	1,19	0,22	2,53	-0,14	-0,45	-0,75	-0,75	-0,23
KS	0,08*	0,10*	0,09*	0,12*	0,10*	0,14*	0,10*	0,15*	0,12*	0,22 ^{ns}	0,16*	0,10*	0,13*	0,06*	0,09*
Mombaça															
Profundidade 0,00-0,10 m															
CV	7,83	40,65	10,02	4,38	74,89	49,69	8,50	3,19	10,46	11,49	10,84	7,25	25,47	28,18	22,60
Assimetria	-0,17	0,47	0,03	-0,80	0,62	0,36	-1,14	-0,57	-0,52	0,99	0,72	0,41	0,51	0,25	0,17
Curtose	0,86	-0,91	-0,92	-0,34	-0,92	-1,12	1,05	-0,66	-0,27	-0,09	-0,18	0,08	-0,44	-0,73	-0,32
KS	0,07*	0,13*	0,07*	0,15*	0,16*	0,11*	0,13*	0,13*	0,10*	0,20 ^{ns}	0,15*	0,14*	0,11*	0,07*	0,09*
Profundidade 0,10-0,20 m															
CV	7,87	37,20	8,94	14,91	43,43	45,34	17,93	11,54	5,16	4,90	6,04	5,05	27,14	31,36	23,55
Assimetria	-0,81	0,16	0,11	-0,14	0,10	0,23	0,22	-0,19	-0,64	0,54	0,75	-0,14	0,48	0,42	0,39
Curtose	0,95	-1,16	-0,24	-0,53	-0,95	-1,15	-0,63	-0,66	-0,23	0,35	-0,29	1,35	-0,55	-0,46	-0,17
KS	0,12*	0,10*	0,06*	0,07*	0,07*	0,10*	0,06*	0,07*	0,11*	0,20 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,11*	0,07*	0,07*

CV = Coeficiente de Variação; KS = Kolmogorov Smirnov; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade; * significativo a 5 de probabilidade;

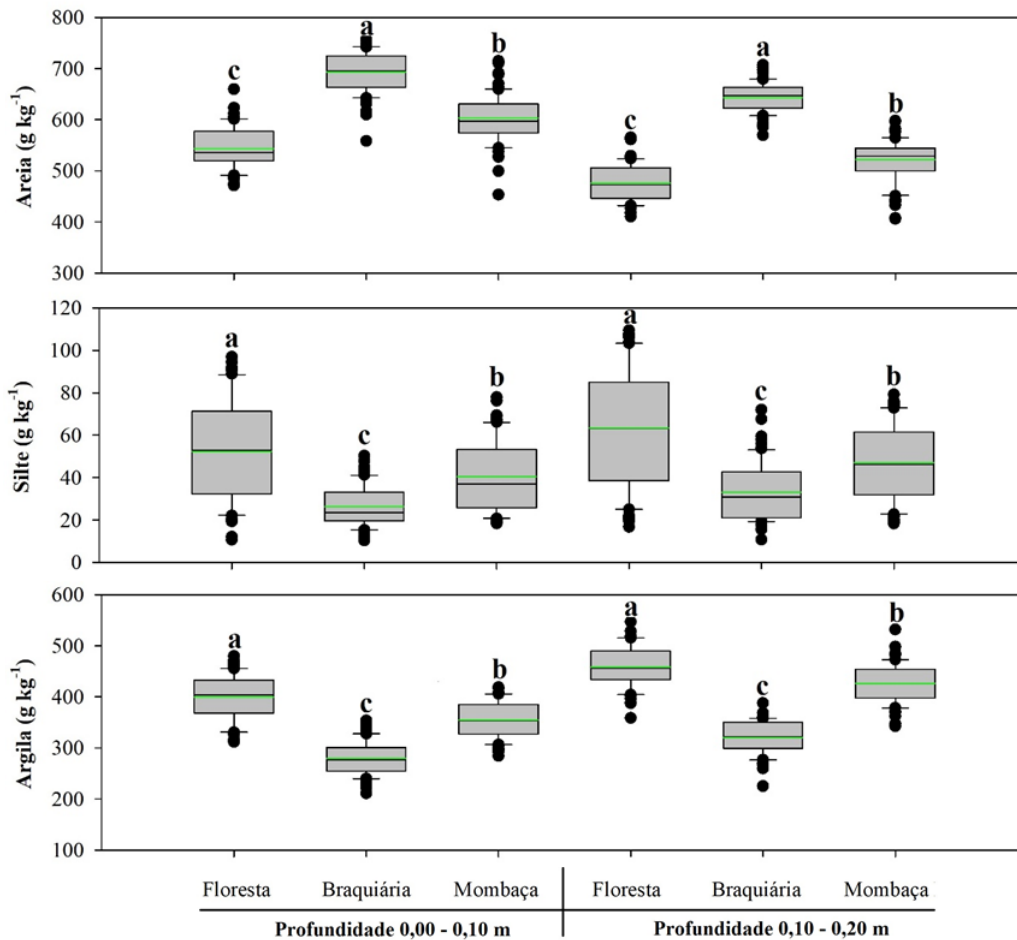


Figura 3.2 Boxplot e teste de média da textura do solo em diferentes ambientes, em Porto Velho, Rondônia. A linha verde indica o valor médio dos dados. Letras minúsculas diferentes representa que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%.

Os agregados apresentaram diferença significativa para as classes >2mm, <1mm e de 1-2mm na profundidade da 0,10-0,20 m. Foram evidenciados os maiores valores para área de floresta (94,19 e 83,07 %) em relação as áreas de braquiária (91,89 e 76,97 %) e mombaça (93,78 e 77,08 %) nas duas camadas estudadas para a classe >2mm. Entretanto a área com mombaça se aproxima mais ao ambiente de pastagem (Figura 3.3). Podemos atribuir isso a maior capacidade da mombaça em produzir massa seca (parte aérea e raiz) em relação a braquiária (Mendonça et al., 2014), que tem papel significativo na agregação do solo. Souza et al. (2020) estudando agregação do solo em áreas sob conversão floresta em ambientes cultivados, concluiu que o processo de conversão influencia na agregação do solo, e que, quando manejado adequadamente os ambientes cultivados podem se equiparar aos ambientes naturais. Para classe 1-2mm e <1mm os ambientes com pastagens nas duas camadas apresentaram os maiores valores em relação a floresta, sendo que a área com mombaça apresentou maiores valores da classe 1-2mm

(1,69 e 7,86 %) e a área de braquiária da classe <1mm (6,22 e 17,13 %). Esses valores encontrados nas áreas de pastagens em ralação a floresta não são indicativos de qualidade, mas sim de degradação, já que indicam que esses ambientes possuem maior porcentagem de agregados de menores diâmetros.

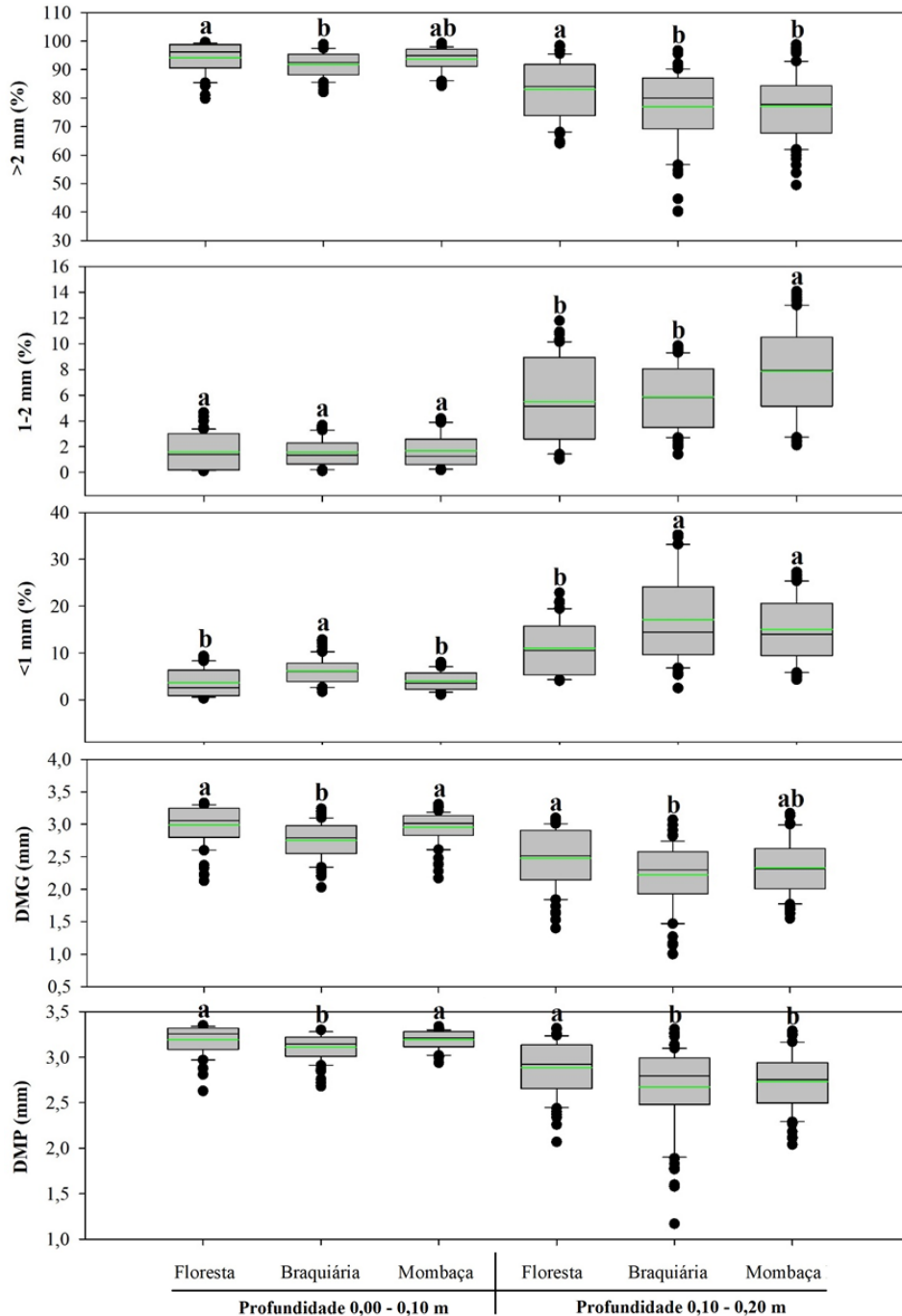


Figura 3.3 Boxplot e teste de média dos agregados do solo em diferentes ambientes, em Porto Velho, Rondônia. A linha verde indica o valor médio dos dados. Letras minúsculas diferentes representa que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%.

Em relação ao DMG e DMP a área de floresta apresentou os maiores diâmetros (DMG 2,99 e 2,48 mm; DMP 3,19 e 2,88 mm) em relação a pastagens nas duas

profundidades avaliadas, entretanto a pastagem com mombaça (DMG 2,95 mm; DMP 2,33 mm) na profundidade de 0,00-0,10 m aproximou-se mais ao ambiente de floresta. A pastagem com braquiária (DMG 2,76 e 2,22 mm; DMP 3,11 e 2,67 mm) apresentou os menores diâmetros de agregados em todas as profundidades estudadas (Figura 3.3). Cunha Neto et al. (2018), estudando atributos químicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagens, observaram que, áreas de floresta secundária e pastagem são as que contribuem mais para a estabilização dos agregados do solo nas profundidades iniciais, e que a estabilidade de agregados é mais sensível na diferenciação entre as áreas. Esses resultados evidenciam o efeito do uso do fogo na agregação do solo, discordando com os resultados encontrados por Vieira et al, (2016) que estudou o efeito do fogo na qualidade de solos com pastagens e observou que o fogo aplicado sobre pastagem, não tem efeito na estrutura do solo.

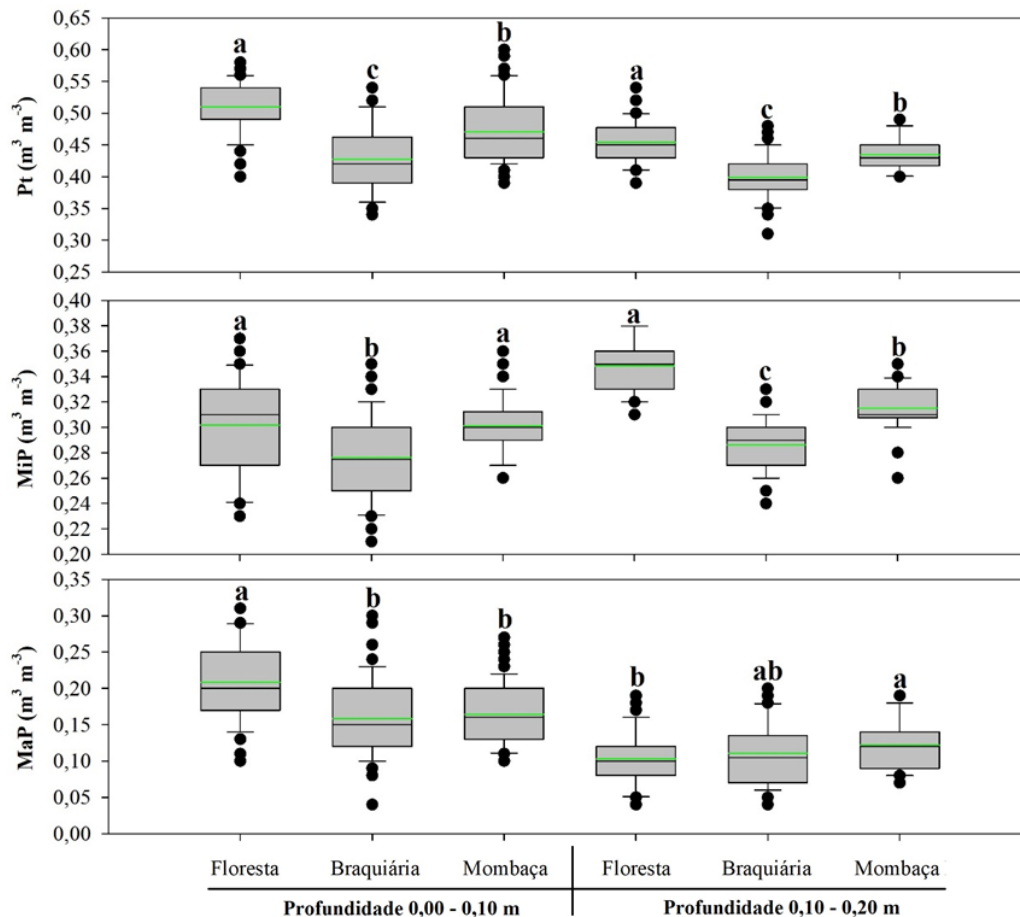


Figura 3.4 Boxplot e teste de média da porosidade do solo em diferentes ambientes, em Porto Velho, Rondônia. A linha verde indica o valor médio dos dados. Letras minúsculas diferentes representa que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%.

Ao estudarmos a porosidade do solo observamos que a área de floresta apresentou os maiores valores de Pt (0,51 e 0,45 m³ m⁻³), MiP (0,30 e 0,35 m³ m⁻³) em todas as

profundidades estudadas e de MaP ($0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) na profundidade de 0,00-0,10 m, em comparação as áreas de pastagens. Dentre os cultivos de pastagens a área com mombaça apresentou maiores valores de Pt ($0,46$ e $0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), MiP ($0,30$ e $0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e MaP ($0,16$ e $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em todas as profundidades estudadas respectivamente (Figura 3.4). Os menores valores de porosidade encontrados nas áreas de pastagens são devido a compactação originada pelo pisoteio dos animais, que aumentam os teores de MiP em relação aos macroporos, fazendo a Pt diminuir. Essas modificações dependem da intensidade do pisoteio, da umidade e do tipo de solo (Torres et al., 2014). Souza Braz et al. (2013), estudando atributos do solo em áreas sob conversão de floresta em pastagens na Amazônia, também encontraram menores valores de poros em áreas de pastagens em relação a floresta.

O ambiente de floresta apresentou os menores valores de Ds ($1,16$ e $1,40 \text{ g cm}^{-3}$) nas duas profundidades e RSP ($1,05 \text{ MPa}$) na profundidade de 0,00-0,10 m, entretanto apresentou os maiores valores de RSP ($2,00 \text{ MPa}$) na profundidade de 0,10-0,20, Ug ($0,26$ e $0,25 \text{ kg kg}^{-1}$) e COT ($23,88$ e $18,09 \text{ g kg}^{-1}$) em todas as profundidades estudadas, em comparação aos ambientes de pastagens (Figura 3.5). Esse resultado deve-se a ausência de práticas agressivas ao solo em florestas naturais, que proporciona baixos valores de Ds e altos teores de COT (Calonego et al., 2012). Cunha et al., (2017) estudando solos no sul do Amazonas observou menores valores de RSP e Ds em áreas de floresta. O ambiente sob cultivo de mombaça apresentou valores intermediário entre as áreas, se aproximando ao ambiente de floresta, para os atributos Ds ($1,32$ e $1,45 \text{ g cm}^{-3}$), Ug ($0,23$ e $0,22 \text{ kg kg}^{-1}$) e COT ($21,58$ e $10,65 \text{ g kg}^{-1}$). Já o ambiente de braquiária apresentou maiores valores de Ds ($1,39$ e $1,51 \text{ g cm}^{-3}$) e os menores valores de Ug ($0,20$ e $0,19 \text{ kg kg}^{-1}$) e COT ($21,28$ e $8,75 \text{ g kg}^{-1}$). Apesar disso os valores de Ds nas áreas estão abaixo do limite crítico ($1,75 \text{ g cm}^{-3}$) (Neves Junior et al., 2013). Os menores valores de COT nas áreas de pastagens em relação a floresta, deve-se as perdas de C em função de uma gestão inadequada que, caso continue pode comprometer a sustentabilidade dos sistemas a longo prazo em termos de balanço de carbono (Petter et al., 2017). Para RSP entre as áreas de pastagens não houveram diferenças significativas. Em geral todos ambientes não apresentaram RSP crítica ao desenvolvimento radicular das plantas, exibindo valores inferiores a 2 Mpa , que segundo Tormena et al. (1998), é o limite crítico para Latossolos e Argilosos.

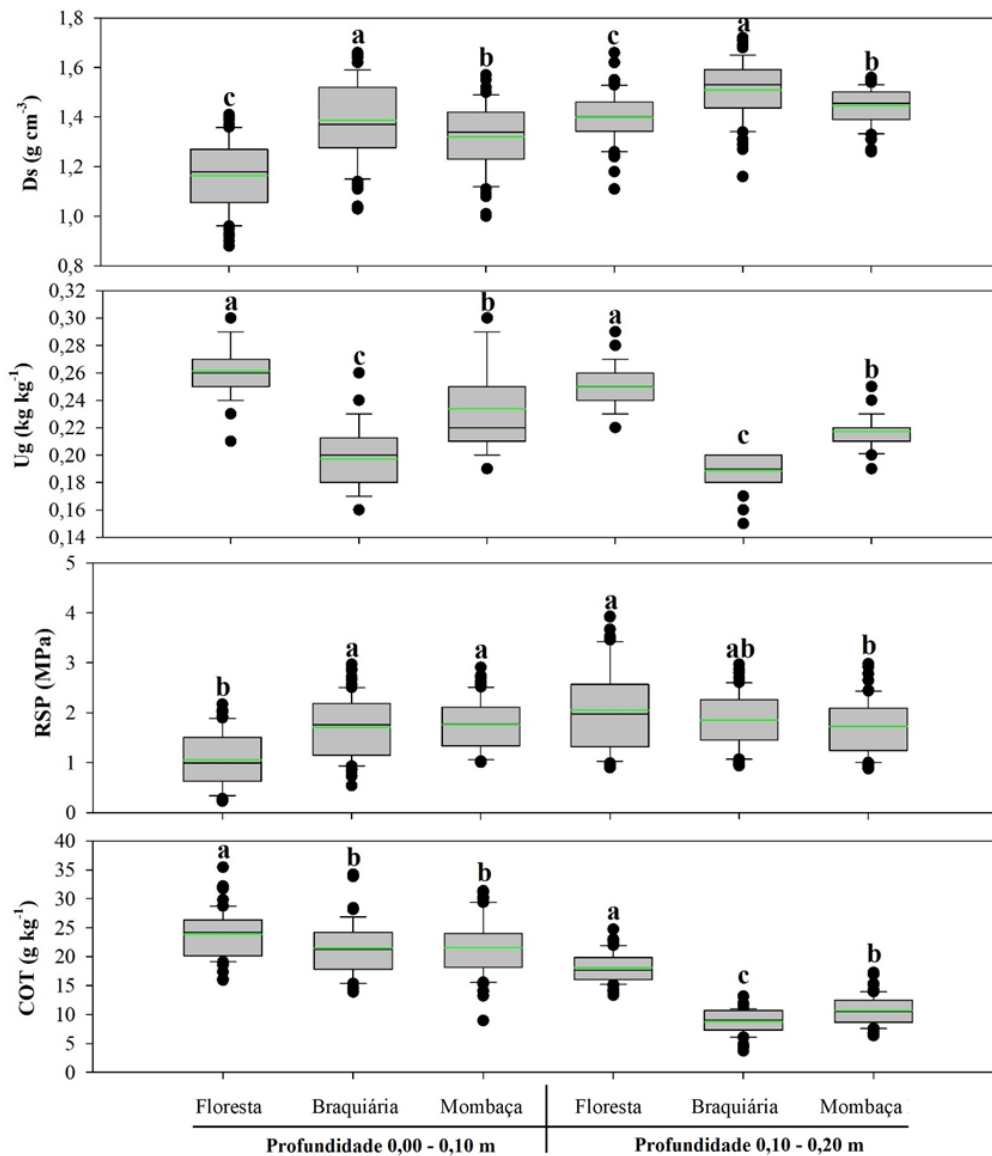


Figura 3.5 Boxplot e teste de média da densidade, umidade, resistência a penetração e carbono orgânico do solo em diferentes ambientes, em Porto Velho, Rondônia. A linha verde indica o valor médio dos dados. Letras minúsculas diferentes representa que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%.

3.3.2. Interações ambientes e atributos físicos do solo

O estudo das interações, permite avaliar a influência de um atributo no outro, por meio da correlação de Pearson, que nos indica efeito direto (quando positivo) ou inverso (quando negativo) de um atributo no outro (Tabela 3.2). Para estudas as interações dos atributos nos ambientes utilizamos a análise multivariada que nos permite observar os atributos que mais interferem e caracterizam os ambientes (Figura 3.6).

Ao observamos a textura do solo (Tabela 3.2), verificamos que a areia na área de floresta e mombaça, apresentou correlação positiva com a classe de agregados $>2mm$, DMG, DMP, Pt, MaP e COT enquanto que, para as classes 1-2mm, $<1mm$, D_s , MiP e

RSP apresentou correlação negativa. Esse resultado evidencia a influência da areia no acúmulo de COT, na agregação e na porosidade do solo, possibilitando maiores acúmulos de COT diâmetros de agregados e porosidade, e conseqüentemente menores Ds e RSP para os ambientes estudados. O silte na área de floresta e mombaça apresentou correlação positiva apenas com a classe de agregados 1-2mm. Em contrapartida a argila na área de floresta e braquiária apresentou efeito contrário ao da areia, tendo correlações positiva com as classes 1-2mm, <1mm, Ds, MiP e RSP, e correlação negativa com a classe >2mm, DMG, DMP, Pt, MaP e COT. Oliveira et al. (2015b), observou que a argila em diferentes ambientes no sul do Amazonas, proporcionou maior Ds e RSP. Ao avaliarmos o ambiente de mombaça observamos que, a as frações textural área e argila apresentaram correlação significativa apenas com os agregados do solo, sendo que, para a areia a classe >2mm, DMG, DMP e COT apresentaram correlação direta, já para as classes 1-2mm e <1mm apresentaram correlação inversa. Para argila observamos efeito contrário ao encontrado para a areia apresentando correlação positiva com as classes 1-2mm e <1mm, e correlação negativa com a classe >2mm, DMG, DMP e COT. Conforti et al. (2016) também observou influência da textura no acúmulo de COT, entretanto seus resultados são contrários ao resultado encontrados neste trabalho, onde ele observou que a argila é responsável pelo maior acúmulo de COT.

Os agregados do solo no ambiente de floresta apresentaram correlação com as variáveis relacionadas a compactação e porosidade do solo (Tabela 3.2). Os agregados de maior tamanho (>2mm, DMG e DMP) correlacionaram positivamente com Ug, Pt e MaP, enquanto que Ds, MiP e RSP correlacionaram negativamente. Os agregados de menor tamanho (classes 1-2mm e <1mm) apresentaram correlação contrária aos agregados de maiores tamanhos, evidenciando o efeito da agregação do solo, na retenção de água e no aumento de porosidade. Para as áreas de pastagens observou-se que os agregados de maior tamanho (>2mm, DMG e DMP) correlacionaram diretamente com Ug, Pt e MaP, e inversamente com Ds, enquanto que, as classes 1-2mm e <1mm correlacionaram diretamente com Ds e inversamente com Ug, Pt e MaP. Souza et al. (2019), estudando atributos físicos dos solos em diferentes cultivos no sul do Amazonas, também observou correlação positiva de DMG e DMP com Ug, Pt e MiP.

A Ds e RSP para as três áreas estudadas, apresentaram correlação positiva com MiP e negativa com Ug, Pt e MaP (Tabela 3.2). Bonetti et al. (2019), observaram em um Latossolo Vermelho que, o pisoteio animal intensivo em pastagens aumenta a Ds e consequentemente RSP, fazendo com que reduza significativamente o volume de poros dilatados maior que 100 μm , em 0,20 m de profundidade.

O COT para as três áreas estudadas correlacionou diretamente com a classe >2mm, DMG, DMP, Ug, Pt e MaP, entretanto correlacionou-se inversamente com as classes de agregados 1-2mm, <1mm e Ds. Apenas na área de floresta observou-se correlação negativa significativa de COT com MiP e RSP (Tabela 3.2). Assis et al. (2015), estudando atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, observou correlação positiva do COT com Pt e MaP, e correlação negativa com Ds e MiP.

A análise fatorial apresentou resultados satisfatórios para as profundidades 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m ($KMO = 0,815$ e $0,839$ $p < 0,05$ para o teste de esfericidade de Barlett) para as variáveis nas áreas avaliadas, mostrando adequação à construção dos Componentes Principais (CPs), que possibilitou reduzir as variáveis originais em dois fatores (Figura 3.6).

Avaliando a profundidade de 0,00-0,10 m, observamos que os dois fatores foram responsáveis por explicarem 77,59% da variância das variáveis com autovalores maiores que 1. O CP1 explica 50,64%, sendo responsável pela agregação do solo (>2mm, 1-2mm, <1mm, DMG e DMP) o CP2 explica 26,95% da variância, sendo responsável pela compactação (Ds e RSP), porosidade (MaP e Pt) e COT do solo. No CP1, >2mm, DMG e DMP apresentaram valores positivos enquanto, as classes 1-2mm e <1mm apresentaram valores negativos, isso indica que os atributos que apresentaram os mesmos sinais possuem correlação direta enquanto os que possuem sinais opostos possuem correlação inversa. No CP2, MaP, Pt e COT apresentaram valores positivos, enquanto Ds e RSP apresentaram valores negativos.

Na profundidade de 0,10-0,20 m os dois fatores foram responsáveis por explicarem 79,88% da variância explicativa. O CP1 explicou 49,35% sendo responsável pela agregação do solo (>2mm, 1-2mm, <1mm, DMG e DMP), o CP2 explicou 30,63% sendo responsável pela textura (areia, argila), porosidade (Ug, Pt e MiP) e COT do solo. No CP1, >2mm, DMG e DMP apresentaram valores positivos, enquanto as classes 1-2mm e <1mm apresentaram valores negativos. No CP2, argila, Ug, Pt, MiP e COT apresentaram valores positivos, enquanto a areia apresentou valor negativo. Oliveira et

al. (2015b), também observou relações diretas entre COT e a porosidade do solo, e relação inversa entre agregados de maior tamanho com de menores tamanho, para diferentes ambientes no sul do Amazonas.

Ao avaliarmos as nuvens de scores do plano fatorial para profundidade de 0,00-0,10 m, verifica-se que os ambientes não se distinguem uns dos outros, apenas a braquiária que se distancia um pouco mais do ambiente de floresta. Com isso, podemos apenas informar os atributos que mais discriminam os ambientes. A floresta é caracterizada por apresentar maior agregação (>2mm, DMG e DMP), poros de maior tamanho (Pt e MaP) e maiores teores de COT, enquanto que para os ambientes de pastagens apresentaram menor agregação (1-2mm e <1mm) e maior compactação (Ds e RSP) do solo. Essa diferença é devido a remoção da vegetação nativa que alterou a estrutura do solo. Isso ocorre devido a maior exposição da superfície do solo de pastagens aos impactos diretos das gotas da chuva, que favorecem a destruição de agregados, e selecionam as partículas intensificando o processo de erosão seletiva de partículas de menor diâmetro (argila e silte) (Shi et al., 2017). Couto et al. (2016), avaliando através da estatística multivariada, em diferentes ambientes no sudoeste amazônico, observaram que ambiente de pastagem e floresta não diferiram estatisticamente, corroborando com nossos resultados encontrados. Oliveira et al. (2015b), avaliando solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas, também verificaram que ambientes de floresta e pastagem não diferenciaram por meio da análise multivariada.

Para a profundidade de 0,10-0,20 m foi possível observar a formação de dois grupos, o grupo um, formado pela mombaça e floresta, e o grupo dois, formado pela braquiária. Entretanto, a área de mombaça funciona como um ambiente intermediário entre a floresta e a braquiária sendo mais próxima ao ambiente de floresta. O grupo um é caracterizado pelos maiores teores de argila, agregação (>2mm, DMG e DMP), volumes de poros (Pt e MiP), umidade (Ug) e teores de COT, já o grupo dois é composto pela braquiária que é discriminada pelo maior teor de areia e maior desagregação (1-2mm e <1mm) do solo. Assis et al. (2015), avaliando atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, constataram que, na profundidade de 0,10-0,20 a Ds e o arranjo poroso do solo discriminaram os sistemas integrados da pastagem degradada.

Podemos atribuir essa maior similaridade da mombaça ao ambiente de floresta a três fatores: a capacidade do capim mombaça em produzir biomassa (Mendonça et al., 2014); a declividade do terreno ser menor na floresta e mombaça em relação a braquiária

(Figura 15) (Souza et al., 2019); ao maior tempo de uso (Souza et al., 2020) e de descanso que a mombaça possui em relação a braquiária.

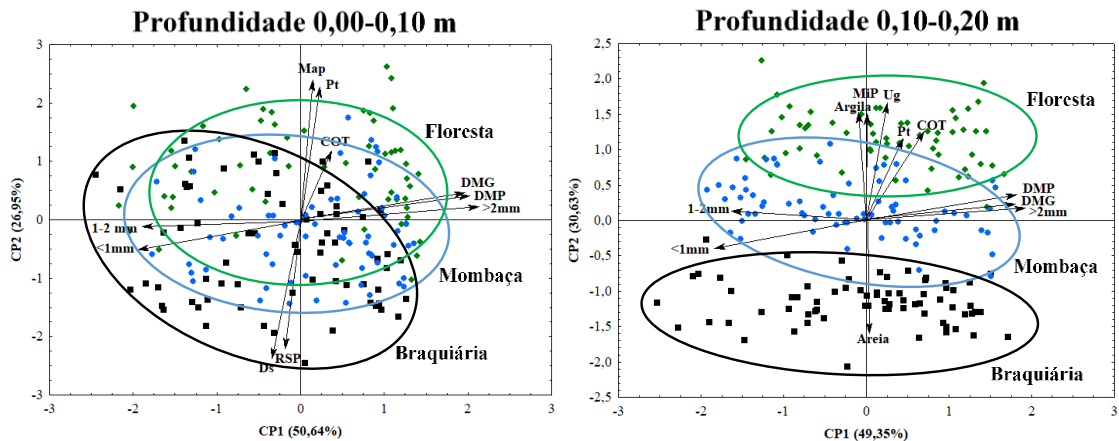


Figura 3.6. Plano fatorial dos atributos físicos e carbono orgânico do solo em áreas de floresta e pastagens, em Porto Velho, Rondônia.

3.3.3. Variabilidade espacial

A análise geoestatística, avaliada por meio dos semivariogramas, evidenciou dependência espacial para todos os atributos físicos dos solos estudados. Os semivariogramas foram ajustados ao modelo esférico para todos ambientes e profundidades estudadas (Figura 3.7, 3.8 e 3.9). Segundo Isaaks e Srivastava (1989), os modelos esféricos descrevem propriedades do solo com alta continuidade espacial, ou seja, menos erráticas a curtas distâncias. Os semivariogramas ajustados apresentaram bons coeficiente de determinação (R^2) e validação cruzada (VC), variando de 0,75 a 0,97 e 0,75 a 1,00 respectivamente.

O alcance indica a distância máxima em que o atributo está correlacionado espacialmente (Dalchiavon et al., 2012). Ao avaliarmos o alcance, observa-se que na área de floresta nas duas profundidades o DMG (16,00 e 16,00 m) apresentou o menor alcance, enquanto na profundidade de 0,00-0,10 m o maior alcance foi observado para MaP (88,60) e na profundidade de 0,10-0,20 m para Ds e areia (89,00 m) (Figura 3.7). Na área de braquiária para profundidade de 0,00-0,10 m, o DMG (14,8 m) apresentou o menor valor enquanto o MaP (89,9 m) o maior valor, para profundidade de 0,10-0,20 m, foi observado menor valor de alcance para silte (12,28 m) e maior para MiP e MaP (89,00 m) (Figura 3.8). No cultivo de mombaça nas duas profundidades respectivamente o silte (17,97 e 14,95 m) apresentou os menores valores enquanto que Ug (67,10 e 76,00 m) os maiores valores (Figura 3.9). De maneira geral a área com mombaça apresentou os

menores valores de alcance para maioria dos atributos físicos estudados em relação as demais áreas, indicando que essa área possui maior variabilidade e é mais heterogênea (Figura 3.7, 3.8 e 3.9). Essa maior variabilidade está relacionada à maior intensidade de pastejo, na área de mombaça (6,14 animais ha⁻¹) em relação a área de braquiária (4,50 animais ha⁻¹) e também pelas zonas de preferência de pastejo (Alencar et al., 2016). Santos et al. (2016), atribuiu a maior variabilidade dos atributos físicos do solo, a curvatura da superfície da forma do solo. Guimarães et al. (2016), estudando atributos físicos do solo em pastagens, observou em Latossolo sob pastagem que Ds apresentou alcance de 35,7 m enquanto MaP apresentou 49,70 m.

O Grau de Dependência Espacial (GDE) apresentou valores variando de 0,04 a 66,67 entre as áreas estudadas, apresentando dependência espacial forte (GDE<25%) e moderada (26%>GDE<75%) (Cambardella et al., 1994), indicando que, as variáveis não estão distribuídas aleatoriamente no espaço (Cavalcante et al., 2011). A área de floresta, na profundidade de 0,00-0,10 m, apresentou GDE forte para Argila, >2mm, 1-2mm, DMG, Ds e COT, enquanto os demais atributos apresentaram moderada dependência espacial. Na profundidade de 0,10-0,20 m, areia, silte, argila, >2mm, 1-2mm, <1mm e DMG apresentaram GDE forte e os demais moderado (Figura 3.7). A área de braquiária, na profundidade de 0,00-0,10 m as variáveis relacionadas a textura e agregados e COT apresentaram GDE forte, as variáveis relacionadas a compactação e porosidade apresentaram GDE moderado, já na profundidade de 0,10-0,20 m, a textura e as classes de agregados >2mm, de 1-2mm e Pt apresentaram GDE forte, o restante dos atributos apresentaram GDE moderado (Figura 3.8). A área com mombaça apresentou GDE forte na profundidade 0,00-0,10 m, para areia, silte, >2mm, <1mm, DMP, MiP e COT, e na profundidade de 0,10-0,20 m para silte, >2mm, DMP, Ds, MaP, RSP e COT. As demais variáveis nas duas profundidades apresentaram GDE moderado (Figura 3.9). As variáveis relacionadas a textura (areia, silte e argila) na maioria das vezes apresentaram GDE forte, isso é um indicativo que essas variáveis são mais influenciadas pelas propriedades intrínsecas do solo ligadas aos fatores de formação (Cambardella et al., 1994). Guimarães et al. (2016), avaliando a variabilidade espacial em áreas de pastagens para diferentes classes de solos, observou em um Latossolo dependência espacial para Ds, MaP, MiP e Pt.

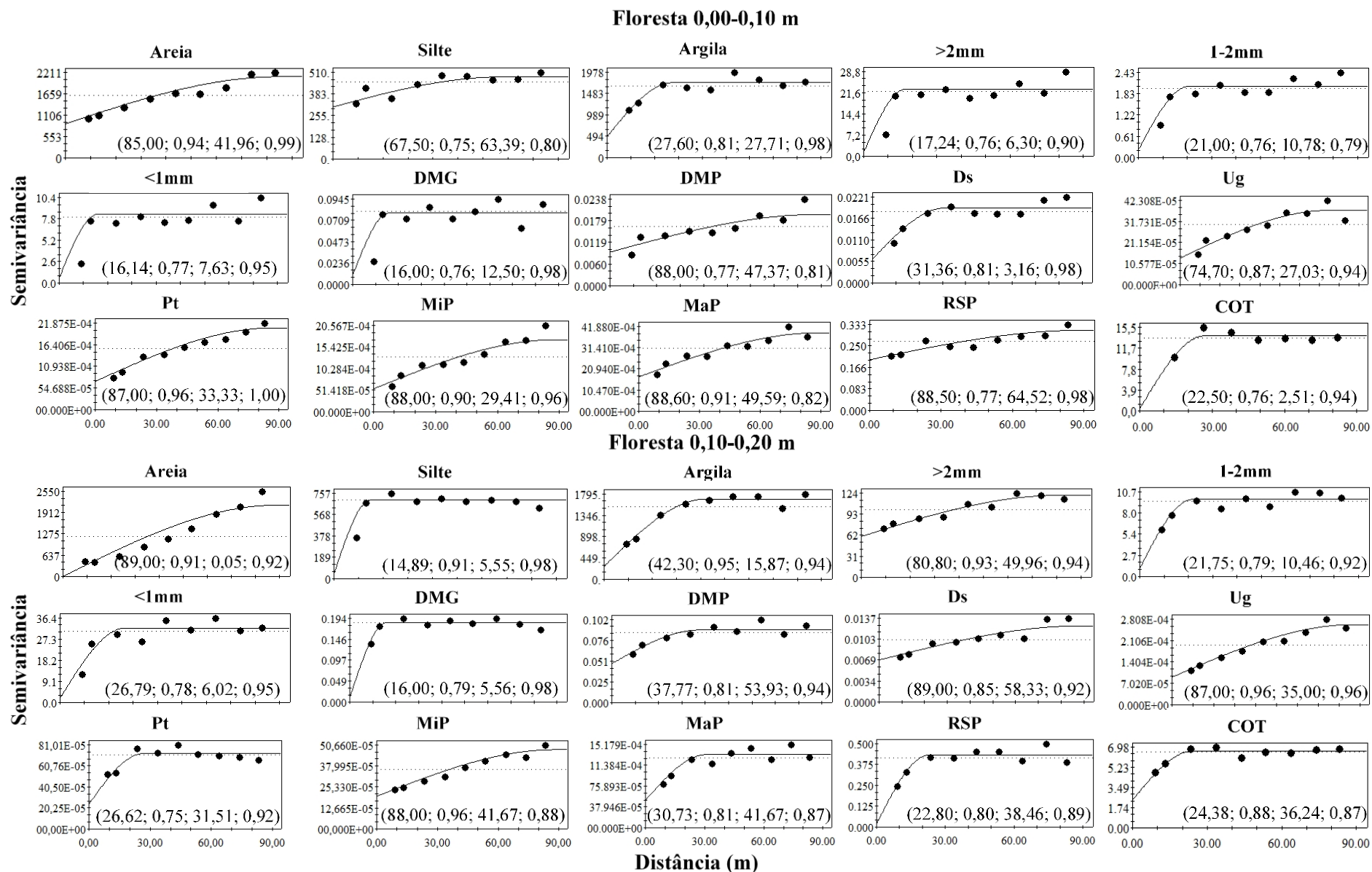


Figura 3.7 Semivariogramas dos atributos físicos do solo em área de floresta em Porto Velho, Rondônia. Os valores entre parênteses, são respectivamente: alcance, R², grau dependência espacial (GDE) e validação cruzada.

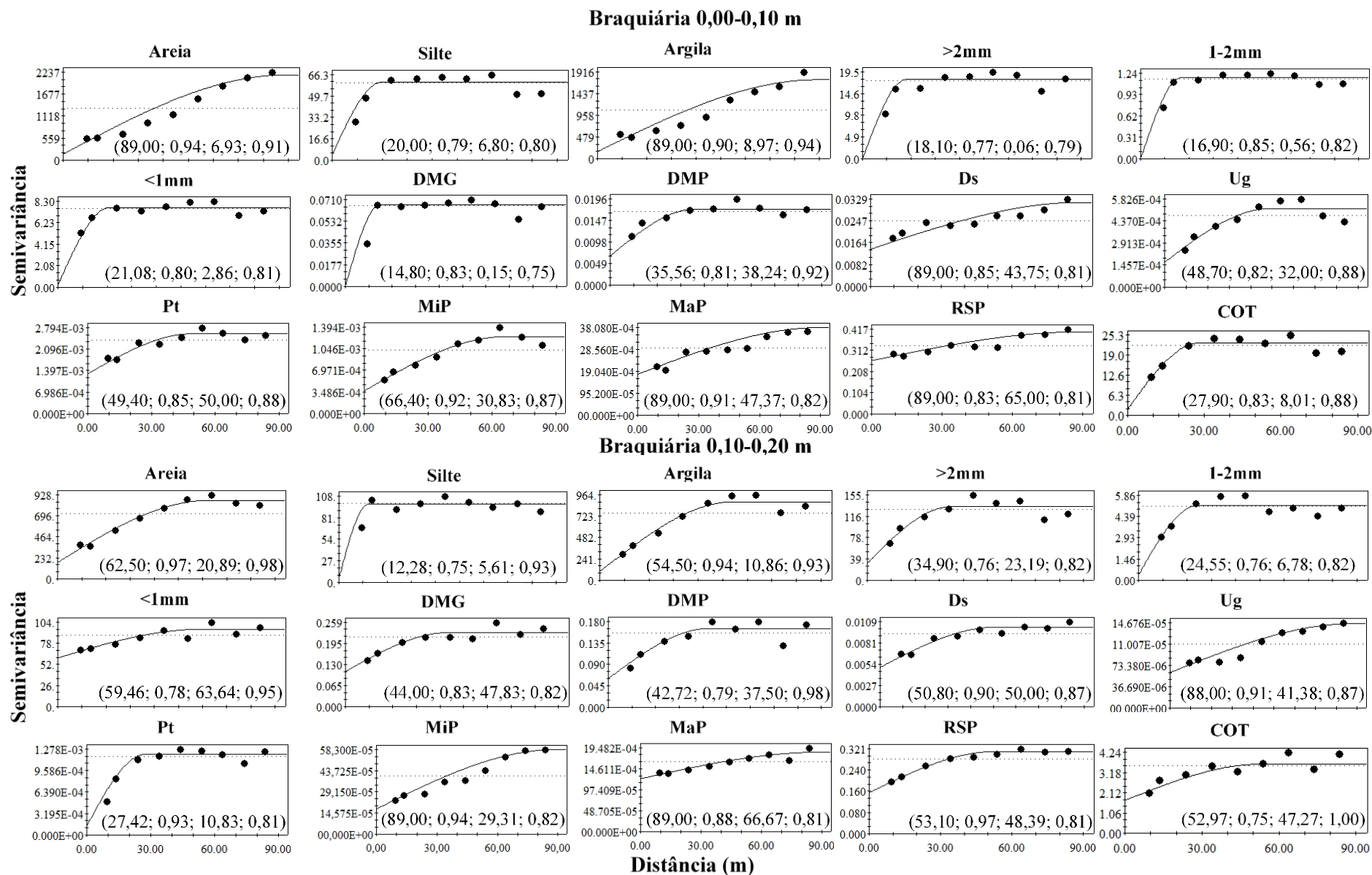


Figura 3.8 Semivariogramas dos atributos físicos do solo em área de braquiária em Porto Velho, Rondônia. Os valores entre parênteses, são respectivamente: alcance, R², grau dependência espacial (GDE) e validação cruzada.

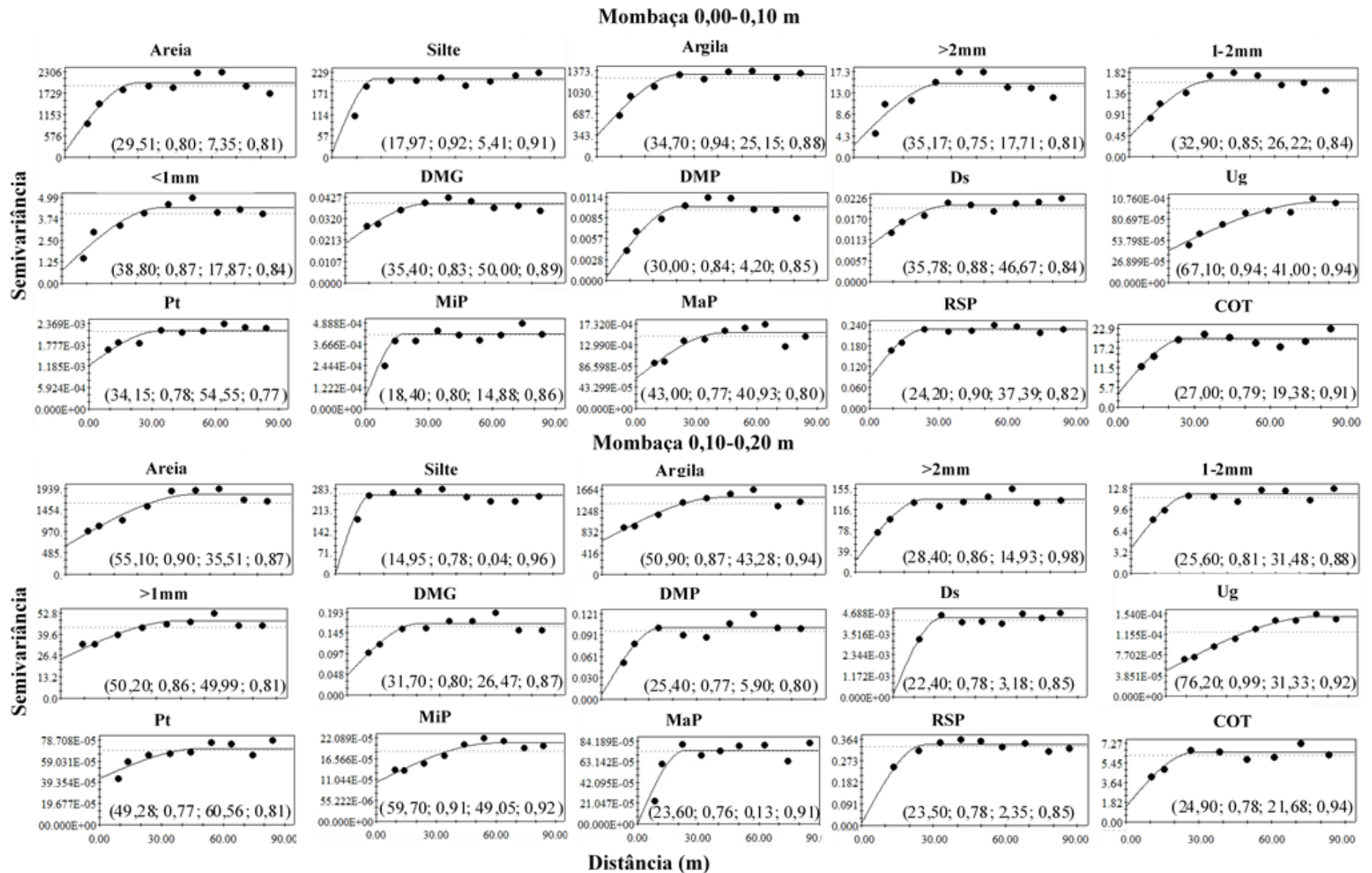


Figura 3.9 Semivariogramas dos atributos físicos do solo em área de mombaça em Porto Velho, Rondônia. Os valores entre parênteses, são respectivamente: alcance, R^2 , grau dependência espacial (GDE) e validação cruzada.

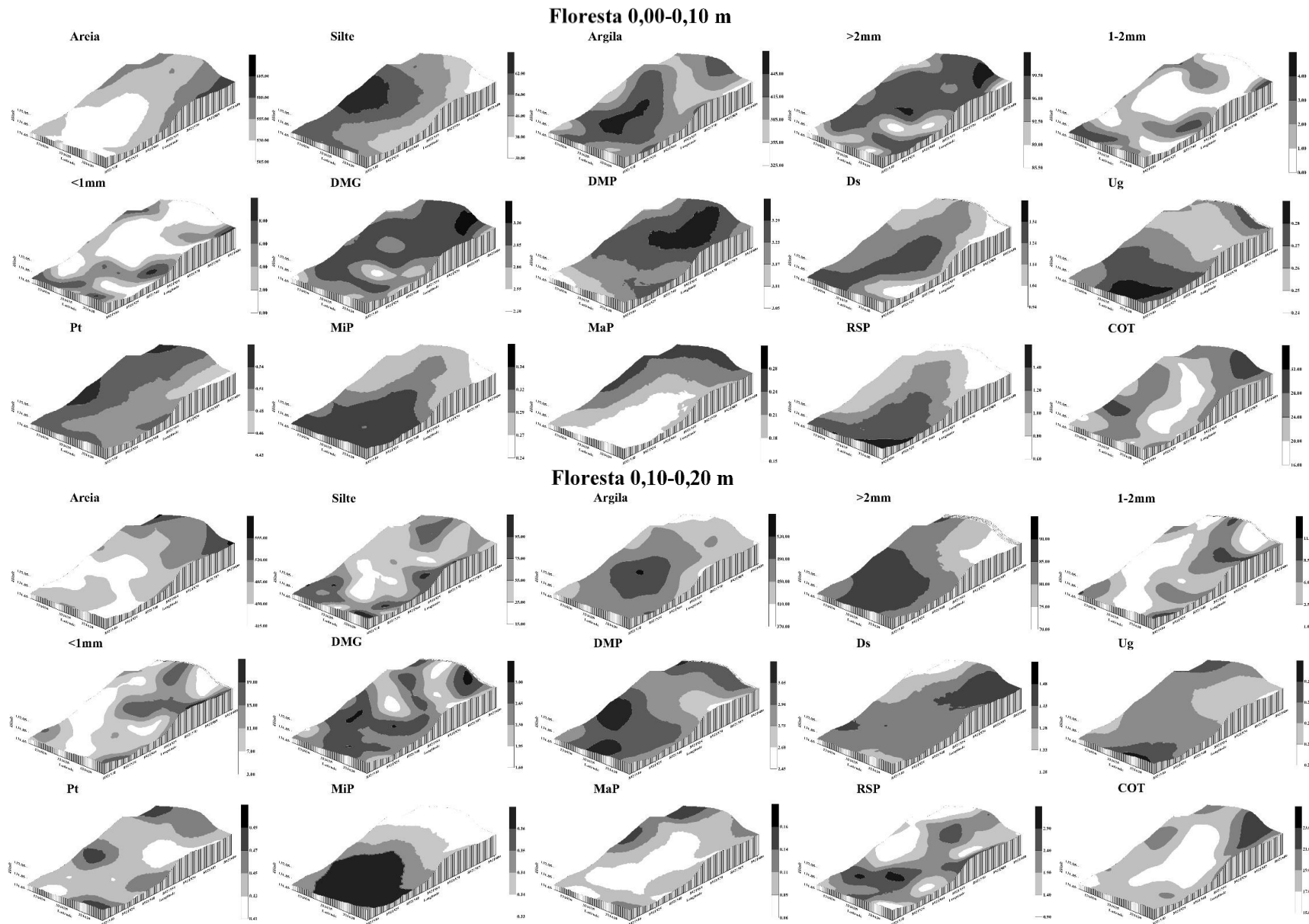


Figura 3.10 Mapas de krigagem dos atributos físicos do solo em área de floresta em Porto Velho, Rondônia.

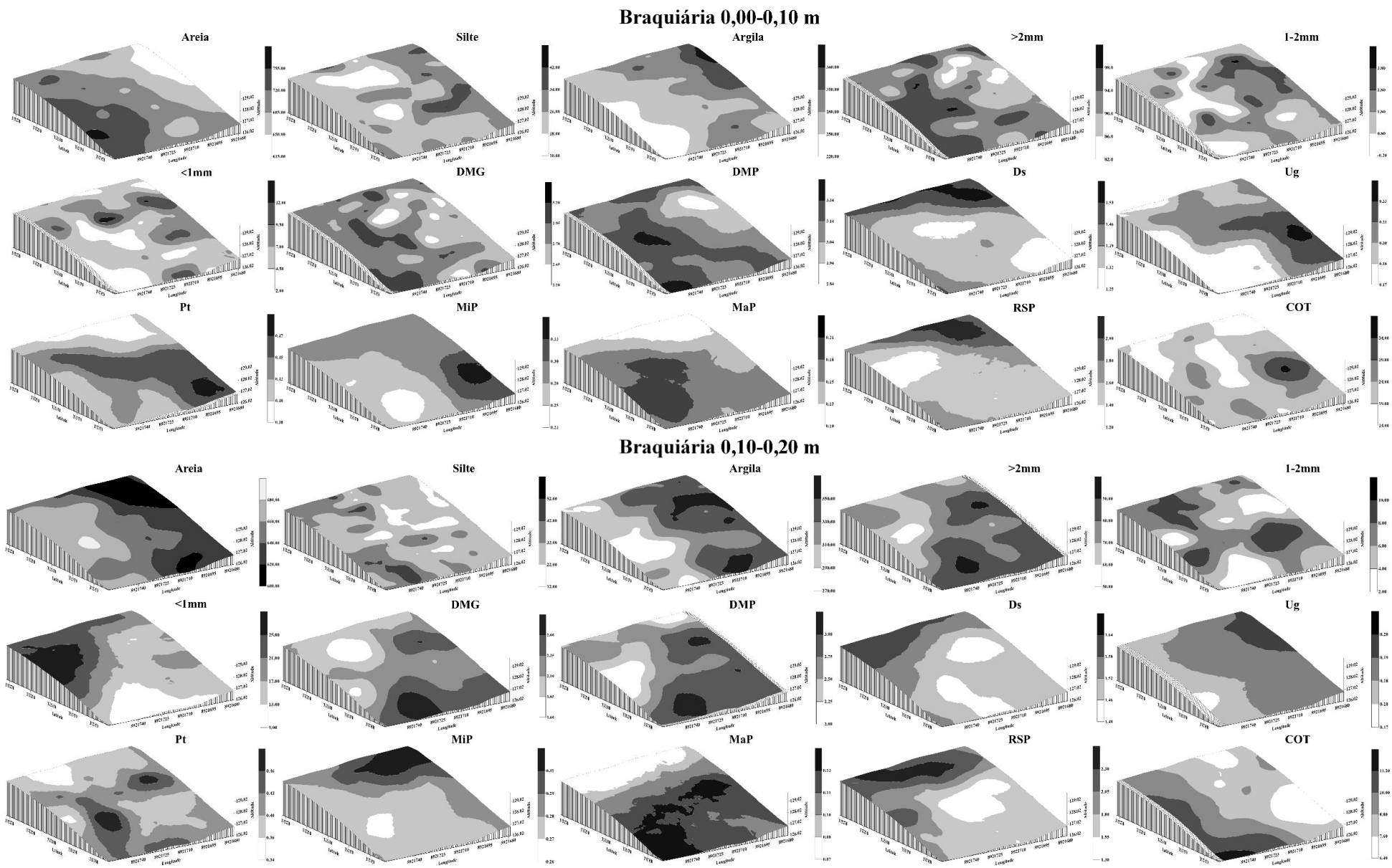


Figura 3.11 Mapas de krigagem dos atributos físicos do solo em área de braquiária em Porto Velho, Rondônia.

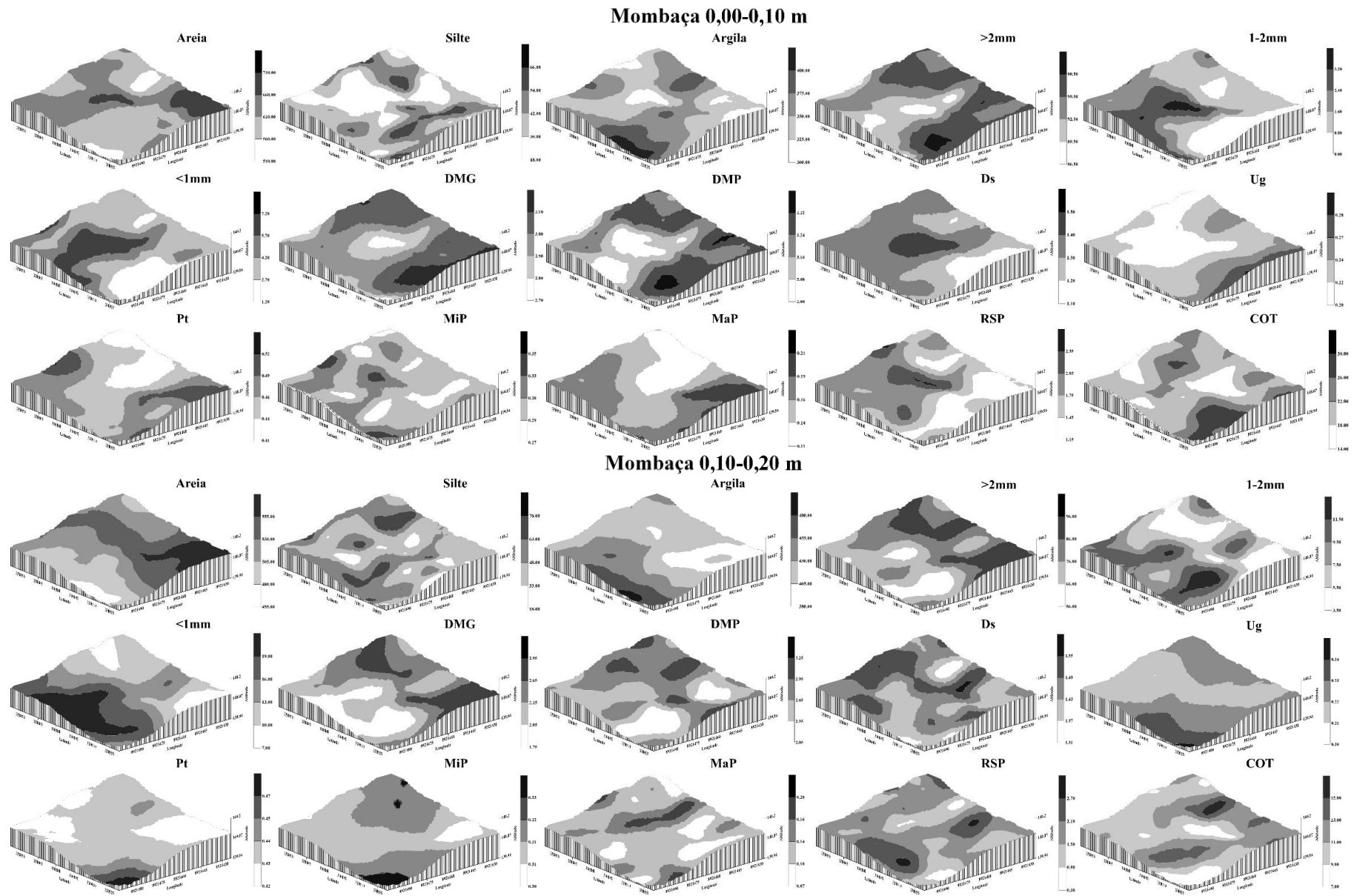


Figura 3.12 Mapas de krigagem dos atributos físicos do solo em área de mombaça em Porto Velho, Rondônia.

Os mapas da distribuição espacial dos atributos físicos estão sendo apresentados em cinco intervalos regulares de valores para cada atributo, permitindo maior compreensão da distribuição (Figuras 3.10, 3.11 e 3.12). O estudo da distribuição espacial das propriedades físicas do solo, pode ser usado para selecionar indicadores de potencial de armazenamento e fluxo de água subterrânea (Alvarenga et al., 2012) e identificar regiões degradadas da pastagem (Grego et al., 2012). Através dos mapas é possível observar correlações espaciais entre os atributos, principalmente aos relacionados a compactação com os relacionados a porosidade do solo. Além disso, é possível observar quais atributos são mais influenciados pelo relevo (2016). Observa-se que as variáveis relacionadas a textura do solo sofrem mais alterações em funções do relevo. Isso deve-se aos microrrelevos presentes nas áreas, que condicionam os fluxos diferenciados de água e com ela as partículas de solo das partes mais elevadas para as baixadas (Oliveira et al., 2013).

Os semivariogramas escalonados para as três áreas estudadas são apresentados na Figura 3.13. O modelo ajustado aos gráficos é o esférico que apresentou R^2 variando de 0,52 a 0,71 e a validação cruzada oscilando de 0,76 a 0,84. Estudos realizados por Aquino et al. (2015), avaliando áreas de floresta e pastagem respectivamente, observaram que o modelo esférico e exponencial foram o que mais se ajustaram para atributos físicos do solo. As áreas estudadas apresentaram valores de alcance variando de 30,00 a 50,00 m, sendo encontrado os maiores valores na área de braquiária e menores valores na área de mombaça. Aquino et al. (2015) e Cunha et al. (2017) observaram valores de alcance próximos aos encontrados no presente trabalho. Em relação a GDE, todas as áreas apresentaram moderada dependência espacial, exceto floresta na profundidade de 0,00-0,10 m, que apresentou GDE forte (Cambardella et al., 1994). Aquino et al. (2015), avaliando a variabilidade espacial dos atributos físicos em solos no sul do Amazonas, observaram GDE moderado para ambientes de floresta e pastagem.

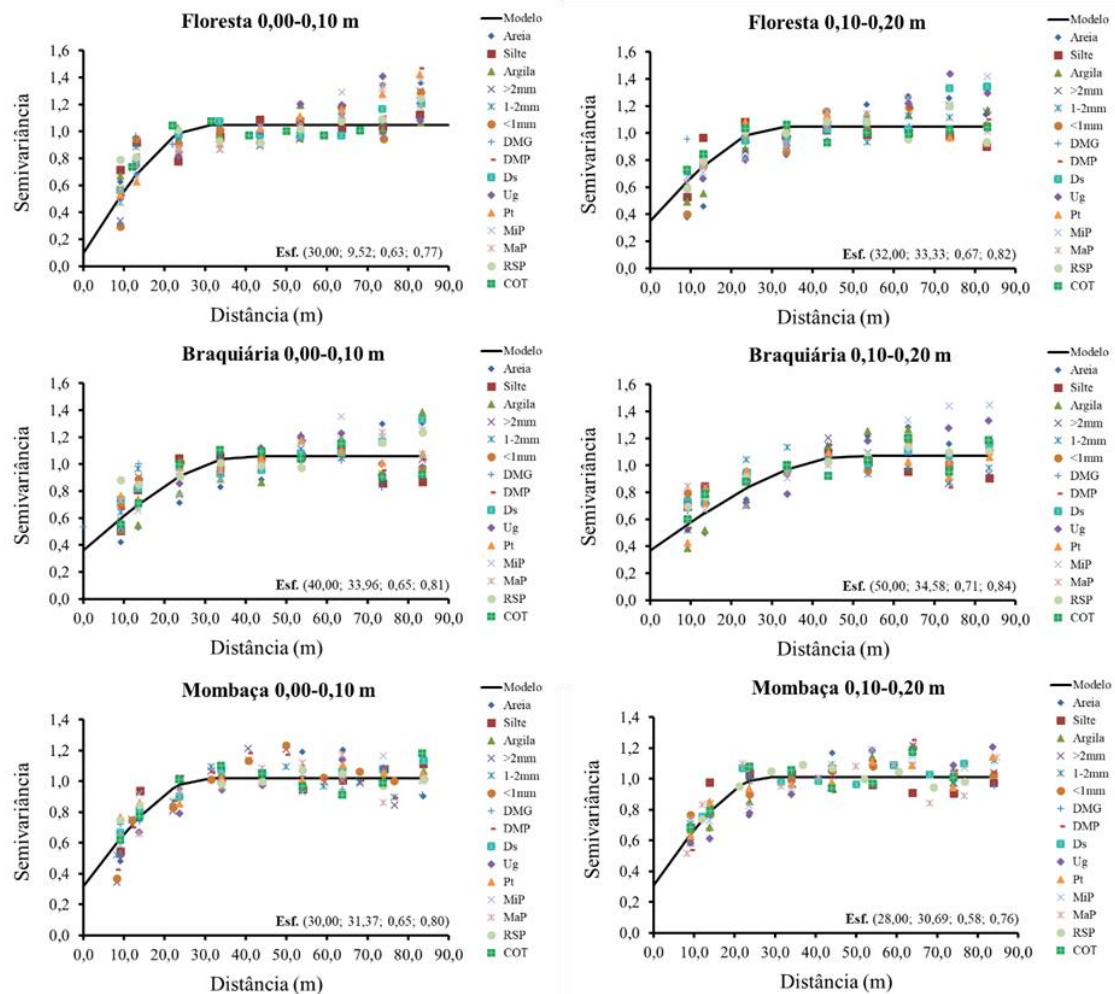


Figura 3.13 Semivariogramas escalonados para os ambientes estudados em Porto Velho, Rondônia. Os valores entre parêntese indicam respectivamente: alcance, grau de dependência espacial, R^2 e validação cruzada.

Na Tabela 3.3 está sendo apresentado a densidade mínima de amostragem com base na faixa estimada pelos semivariogramas escalonados dos atributos físicos, para os ambientes estudados. O ambiente de mombaça apresentou as maiores densidades de amostragem nas duas profundidades (6 e 7 amostras ha^{-1}), com espaçamento entre amostras de 30 e 28 m. O ambiente de braquiária em todas as profundidades apresentou o menor valor de densidade de amostragem, sendo 3 e 2 amostras ha^{-1} , com espaçamento de 40 e 50 m. Os valores de densidade de amostragem encontrados nesse trabalho são inferiores aos encontrados por Aquino et al. (2015) que estudou solos no sul do Amazonas.

Tabela 3.3 Densidade e espaçamento mínimos da amostragem para propriedades físicas e carbono orgânico do solo em diferentes ambientes estudados em Porto Velho, Rondônia.

Projeto de amostragem		Floresta	Braquiária	Mombaça
Densidade de amostragem 0,00-0,10 m	Amostras ha ⁻¹	5	3	6
Densidade de amostragem 0,10-0,20 m	Amostras ha ⁻¹	4	2	7
Espaçamento 0,00-0,10 m	m	30	40	30
Espaçamento 0,10-0,20 m	m	32	50	28

3.3.4. Zonas de manejo do solo

A intensa atividade agrícola acelera os processos de degradação física do solo quando realizadas de forma irracional, principalmente pelas práticas de manejo uniforme das áreas sem levar em consideração a variabilidade espacial do solo. Diante disto, tem sendo utilizado cada vez mais zonas de manejos, visando diminuir a variabilidade natural das áreas, garantindo uma produção elevada sem agredir o solo (Oliveira et al., 2019).

A Figura 3.14 mostra os semivariogramas para os ajustes dos fatores de pontuação obtidos a partir da análise de componentes principais. Os semivariogramas dos F1 para a profundidade 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m nos diferentes ambientes estão relacionados aos agregados do solo (classes >2mm, 1-2mm, <1mm, DMG e DMP) e os semivariogramas dos F2 na profundidade 0,00-0,10 estão relacionados a compactação (Ds e RSP), porosidade (Pt e MaP) e acúmulo de COT do solo, enquanto na profundidade de 0,10-0,20 m estão relacionados a textura (areia e argila), porosidade (Pt, MiP e Ug) e acúmulo de COT. Esse resultado evidencia os atributos que estão interligados e que são mais sensíveis para definição de zonas de manejo. Em seu estudo Oliveira et al. (2019), observou que a porosidade estrutural é mais sensível para a definição de zonas de manejo. Os semivariogramas ajustaram ao modelo esférico e apresentaram R² e validação cruzada variando de 0,75 a 0,96 e 0,76 a 1,00 respectivamente. Analisando espacialmente, o F1 observa-se que o alcance variou de 21,10 a 85,00 m nas duas profundidades, sendo observado o maior valor na profundidade de 0,00-0,10 m para área de floresta. Para F2 observamos alcance variando de 27,25 a 89,00 m, sendo observado os maiores valores na área de braquiária e na profundidade de 0,10-0,20 m da área de floresta. Em relação ao GDE observamos que no F1 a área de mombaça nas duas profundidades, floresta na profundidade de 0,10-0,20 m e braquiária na profundidade de 0,00-0,10 m apresentaram forte dependência espacial, enquanto que as demais profundidades das áreas apresentaram dependência espacial moderada. O F2 apresentou forte dependência espacial para maioria das áreas e profundidades estudadas, exceto para profundidade 0,10-0,20 m da área de mombaça. Burak et al. (2016) estudando a

variabilidade espacial dos atributos físicos na produtividade de café, observou dependência espacial moderada para os fatores F1 e F2.

Ao avaliarmos os mapas de krigagem dos escores (Figura 3.15), observamos, a formação de cinco zonas de manejo. Para F1 na área de floresta na profundidade de 0,10-0,20 m, braquiária na profundidade de 0,00-0,10 m e para mombaça nas duas profundidades, devido a maior variabilidade, apresentaram zonas de manejo complexa para os atributos relacionados aos agregados do solo.

O F2 nos três ambientes avaliados para as duas profundidades, apresentou baixa variabilidade, apresentando zonas de manejos menos complexas para a textura, porosidade e acúmulo de carbono no solo. Burak et al. (2012), evidenciaram que, quanto maior são os escores, maior são sua contribuição para correlações positivas, entre as variáveis que compõe cada fatores, em contrapartida, quanto menor for os escores maior é a contribuição para correlações negativas.

Desta forma, ao observamos os mapas dos F1 e F2 para todas as profundidades, evidenciamos que a maior parte dos scores positivos estão presentes nas áreas de floresta, enquanto que, nas áreas de pastagens observamos maior parte de escores negativos, entretanto entre as pastagens a braquiária apresentou escores menores em relação a mombaça. A maior proporção de escores positivos na área de floresta deve-se a maior presença de agregados de maiores tamanhos, maior quantidade de poros grandes e maior acúmulo de carbono no solo, entretanto os escores negativos nas pastagens deve-se a menor quantidade de agregados maiores, compactação do solo, menor quantidade de poros de maiores tamanho e ao menor acúmulo de carbono no solo. Essas correlações observadas evidenciam que, cada zona específica de manejo dentro de cada ambiente necessita de manejos diferenciados, mais ou menos intensivo, favorecendo maior eficiência do uso dos recursos naturais do solo e assim reduzir os impactos causados pela pecuária no ambiente e otimizar os custos econômicos para o sistema de pastagens (Santos et al., 2017).

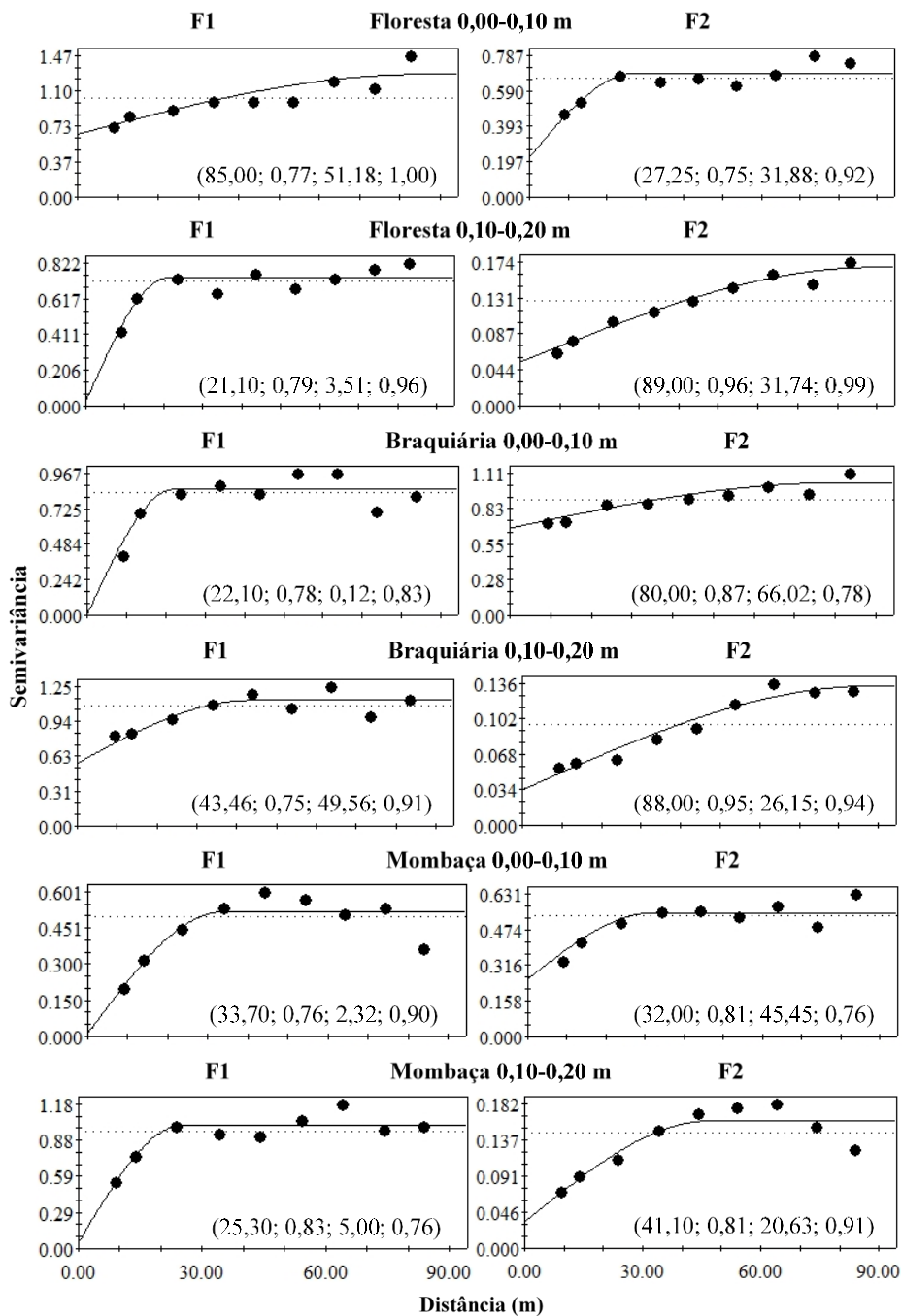


Figura 3.14 Semivariogramas experimentais ajustados aos valores de escores dos componentes principais para os diferentes ambientes estudados em Porto Velho, Rondônia. Os valores entre parênteses, são respectivamente: alcance, R², grau dependência espacial (GDE) e validação cruzada.

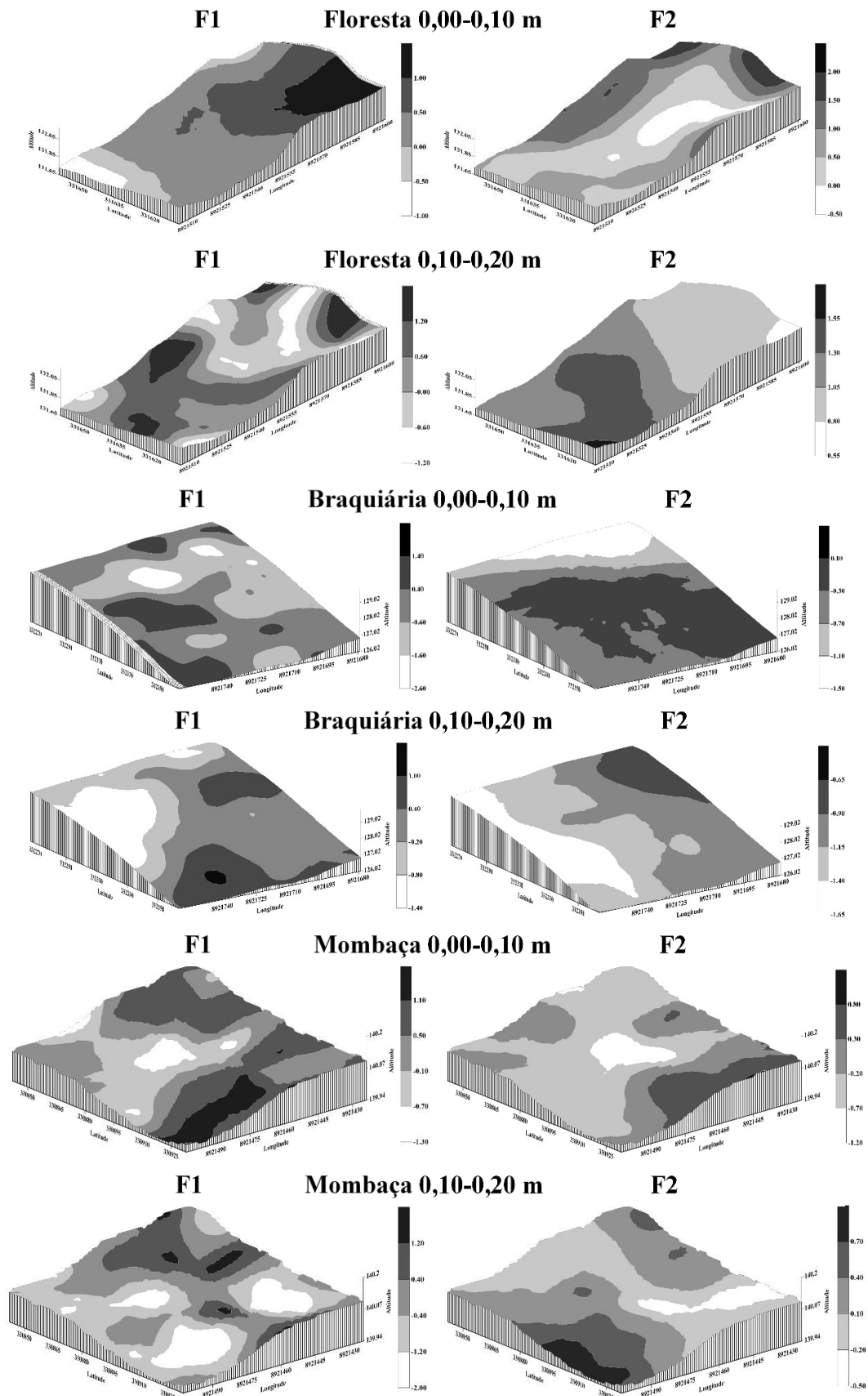


Figura 3.15 Mapas de krigagem dos valores de escores dos componentes principais para diferentes ambientes estudados em Porto Velho, Rondônia.

3.4. Conclusões

A conversão de floresta em pastagens, impactou negativamente nos agregados, compactação, porosidade e acúmulo de carbono orgânico do solo. Dentre as pastagens, a área cultivada com mombaça, não degradou tanto em relação aos atributos físicos, se aproximando ao ambiente de floresta.

Os ambientes estudados são influenciados pelos teores elevados de areia e argila, que interferem na agregação, compactação, porosidade e acúmulo de carbono no solo.

Através da multivariada observamos que a floresta distanciou-se da área de braquiária e que a mombaça é uma área intermediária entre as duas. O ambiente de floresta é caracterizado por possuir mais agregados de maiores tamanhos, maior porosidade, menor compactação do solo e maior acúmulo de carbono no solo, enquanto que, os ambientes de pastagens se caracterizam por possuírem mais agregados de menor tamanho, serem mais compactados, possuírem menos poros e acumularem menos carbono no solo.

Observamos maior variabilidade espacial dos atributos físicos no ambiente com mombaça, atribuímos isso a maior intensidade de pastejo e pisoteio animal. A variabilidade nas áreas gerou zonas de manejos específicos para os agregados, compactação, porosidade e acúmulo de carbono no solo. Nesses ambientes são necessários manejos diferenciados para cada zona de manejo, para que se tenha mais eficiência no uso dos recursos naturais, reduzindo assim os custos e os impactos causados pela pecuária nos ambientes.

3.5. Referências bibliográficas

Adamy, A., 2010. **Geodiversidade do estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 337 p.

Alencar, N. M.; Melo, J. C.; Santos, A. C.; Cunha, O. F. R.; & Paula Neto, J. J. Distribuição espacial das propriedades do solo, produção do capim-marandu com a intensidade de pastejo. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, v. 24, n. 4, p. 338-349, 2016. doi: 10.13083/reveng.v24i4.602

Alvarenga, C. C.; Mello, C. R. D.; Mello, J. M. D.; Silva, A. M. D.; Curi, N. Índice de qualidade do solo associado à recarga de água subterrânea (IQSRA) na bacia hidrográfica do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1608-1619, 2012. doi: 10.1590/S0100-06832012000500025

Alvarenga, R. C.; Fernandes, B.; Silva, T. C. A.; Resende, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palha do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, n. 2, p.273-277, 1986.

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M. & Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, 711–728, 2013. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507

Aquino, R. E. D.; Campos, M. C. C.; Marques Junior, J.; Oliveira, I. A. D.; Teixeira, D. D. B.; Cunha, J. M. D. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 21-30, 2015. doi: 10.1590/01000683rbc20150524

Assis, P. C.; Stone, L. F.; Medeiros, J. C.; Madari, B. E.; Oliveira, J. D. M.; Wruck, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316

Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes – ABIEC, 2019. **Perfil da pecuária no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/PublicacoesLista.aspx>>. Acessado em 09/05/2019.

Barbosa, F. A.; Oliveira, V. T.; Bicalho, F. L.; Lopes, L. B.; Florence, E. A. S.; Mandarino, R. A.; Azevedo, H. O. Indicadores de sustentabilidade na pecuária bovina de corte – Projeto Pecuária Integrada de Baixo Carbono. In: **Anais do VI Simpósio Nacional sobre Produção e Gerenciamento da Pecuária de Corte**, pp. 67–84, 2014.

Bonetti, J. A.; Anghinoni, I.; Gubiani, P. I.; Cecagno, D.; Moraes, M. T. Impact of a long-term crop-livestock system on the physical and hydraulic properties of an Oxisol. **Soil & Tillage Research**, v. 186, p. 280–291, 2019. doi: 10.1016/j.catena.2016.04.023

Braz, A. M. B.; Fernandes, A. R.; Alleoni, L. R. F. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in Amazon. **Land Degradation & Development**, v. 24, n. 1, p. 33-38, 2013. doi: 10.1002/ldr.1100

Burak, D. L.; Passos, R. R.; & Andrade, F. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 538-547, 2012. doi: 10.1590/S0006-87052012000400012

Burak, D. L.; Passos, R. R.; Sarnaglia, S. A. Utilização da análise multivariada na avaliação de parâmetros geomorfológicos e atributos físicos do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 9, p. 1-11, 2010.

Burak, D. L.; Santos, D. A.; Passos, R. R. Variabilidade espacial de atributos físicos: relação com relevo, matéria orgânica e produtividade em café Conilon. **Coffee Science**, v. 11, n. 4, p. 455 – 466, 2016.

Busari, M. A.; Kukal, S. S.; Kaur, A.; Bhatt, R.; Dulazi, A. A. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, p. 119–129, 2015. doi: 10.1016/j.iswcr.2015.05.002

Calonego, J. C.; Santos, C. H.; Tiritan, C. S.; Cunha Júnior, J. R. Estoque de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 128-35, 2012.

Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-11, 1994. doi: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x

Castro Filho, C.; Muzilli, O.; Podanoschi, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998. doi: 10.1590/S0100-06831998000300019

Cavalcante, E. G. S.; Alves, M. C.; Souza, Z. M.; Pereira, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 237-243, 2011. doi: 10.1590/S1415-43662011000300003

Ceddia, M. B.; Vieira, S. R.; Villela, A. L. O.; Mota, L. S.; Anjos, L. H. C.; Carvalho, D. F. Topography and spatial variability of soil physical properties. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 338-352, 2009. doi: 10.1590/S0103-90162009000300009

Conforti, M.; Lucà, F.; Scarciglia, F.; Matteucci, G.; Buttafuoco, G. Soil carbon stock in relation to soil properties and landscape position in a forest ecosystem of southern Italy (Calabria region). **Catena**, v. 144, p. 23-33, 2016. doi: 10.1016/j.catena.2016.04.023

Couto, W. H. D.; Anjos, L. H. C. D.; Wadt, P. G. S.; Pereira, M. G. Atributos edáficos e resistência a penetração em áreas de sistemas agroflorestais no sudoeste amazônico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 811-823, 2016. doi: 10.5902/1980509824210

Cunha Neto, F. V. D.; Pereira, M. G.; Leles, P. S. D. S.; Abel, E. L. D. S. Chemical and physical attributes in different areas under forests cover and pasture in Além Paraíba, Minas Gerais state, Brazil. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 13-24, 2018. Doi: 10.5902/1980509831569

Cunha, J. M. D.; Gaio, D. C.; Campos, M. C. C.; Soares, M. D. R.; Silva, D. M. P., Lima, A. F. L. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 2, p. 263-281, 2017. doi: 10.4136/ambi-agua.1890

Dalchiavon, F.C.; Carvalho, M.P.; Andreotti, M.; Montanari, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012. doi: 10.1590/S1806-66902012000300006

Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 4.ed. revisada e ampliada. Brasília. 2018, 353 p.

Gamma Design Software (GS+). **Geostatistics for the environmental sciences**. 7. ed. Plainwell: Gamma Design, 2004.

Golden Software Inc. (1999). **SURFER for Windows, Release 13.0: Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers, user's guide**. New York, USA.

Grego, C. R.; Rodrigues, C. A. G.; Nogueira, S. F.; Gimenes, F. M. A.; Oliveira, A. D.; Almeida, C. G. F. D.; ... Demarchi, J. J. A. D. A. Variabilidade espacial do solo e da biomassa epígea de pastagem, identificada por meio de geostatística. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1404-1412, 2012. doi: 10.1590/S0100-204X2012000900026

Guimarães, E. C. **Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um Latossolo Roxo** [dissertação]. Campinas: Universidade de Campinas; 1993.

Guimarães, W. D.; Gripp Junior, J.; Marques, E. A. G.; Santos, N. T.; Fernandes, R. B. A. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 247-255, 2016. doi: 10.5935/1806-6690.20160029

Isaaks, E. H.; Srivastava, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press; 1989.

Kemper, W. D.; Chepil, W. S. Aggregate stability and size distribution. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, p. 499-510, 1965.

Lal, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, v. 7, p. 5875–5895, 2015. doi: 10.3390/su7055875

Mendonça, V. Z.; Mello, L. M. M.; Pereira, F. C. B. L. et al. Corn production for silage intercropped with forage in the farming-cattle breeding integration. **Engenharia agrícola**, v.34, n. 4, p.738-745, 2014. doi: 10.1590/S0100-69162014000400013

Merten, G. H.; Araújo, A. G.; Biscaia, R. C. M.; Barbosa, G. M. C.; Conte, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, v. 152, p. 85–93, 2015. doi: 10.1016/j.still.2015.03.014

Negreiros Neto, J. V.; Santos, A. C.; Guarnieri, A.; Souza, D. J. A. T.; Daronch, D. J.; Dotto, M. A.; Araújo, A. S. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 193-204, 2014. doi: 10.5433/1679-0359.2014v35n1p193

Neves Junior, A. F.; Silva, A. P.; Noronha, N. C.; Cerri, C. C. Sistemas de manejo do solo na recuperação de uma pastagem degradada em Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 232-241, 2013. doi: 10.1590/S0100-06832013000100024

Oliveira, D. P.; Ferreira, T. O.; Romero, R. E.; Farias, P. R. S.; e Costa, M. C. G. Microrrelevo e a distribuição de frações granulométricas em Cambissolos de origem calcária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 676-684, 2013. doi: 10.1590/S1806-66902013000400003.

Oliveira, I. A. D.; Campos, M. C. C.; Freitas, L. D.; Soares, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Acta Amazonica*, v. 45, n. 1, p. 1-12, 2015b. doi: 10.1590/1809-4392201400555.

Oliveira, I. A. D.; Marques Junior, J.; Campos, M. C. C.; Aquino, R. E. D.; Freitas, L. D.; Siqueira, D. S.; Cunha, J. M. D. Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de Argissolos da Região de Manicoré, AM.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, n. 3, p. 668-681, 2015a. doi: 10.1590/01000683rbc20140496

Oliveira, J. F.; Mayi, S.; Marchão, R. L.; Corazza, E. J.; Hurtado, S. C.; Malaquias, J. V.; ... e Guimarães, M. F. Spatial variability of the physical quality of soil from management zones. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 6, p. 1251-1273, 2019. doi: 10.1007/s11119-019-09639-9

Perigolo, N. A.; Medeiros, M. B.; Simon, M. F. Vegetation types of the upper Madeira River in Rondônia, Brazil. **Brittonia**, v. 69, n. 4, p. 423-446, 2017. Doi: 10.1007/s12228-017-9505-1

Petter, F. A.; Lima, L. B.; Morais, L. A.; Tavanti, R. F. R.; Nunes, M. E.; Freddia, O. S.; Marimon Jr, B. H. Carbon stocks in oxisols under agriculture and forest in the southern Amazon of Brazil. **Geoderma Regional**, v. 11, p. 53-61, 2017. doi: 10.1016/j.geodrs.2017.09.001

Rickson, R. J.; Deeks, L. K.; Graves, A.; Harris, J. A. H.; Kibblewhite, M. G.; Sakrabani, R. Input constraints to food production: The impact of soil degradation. **Food Security**, v. 7, n. 2, p. 351-364, 2015. doi: 10.1007/s12571-015-0437-x

Santos, E. A. N.; Campos, M. C. C.; Cunha, J. M.; Souza, F. G.; Wadt, P. G. S.; Pinheiro, E. N.; ... e Freitas, L. Gypsum, Soil Scarification and Succession Planting as Alternatives to Mitigate Compaction of Dystrophic Red-Yellow Latosol. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 8, p. 277-285, 2018. doi: 10.5539/jas.v10n8p277

Santos, G. L. D.; Pereira, M. G.; Lima, S. S. D.; Ceddia, M. B.; Mendonça, V. M. M.; Delgado, R. C. Curvatura da superfície e seu efeito na variabilidade espacial dos atributos do solo, Pinheiral-RJ/BR. **Cerne**, v. 22, n. 4, p. 431-438, 2016. doi: 10.1590/01047760201622042184

Santos, K. E. L.; Bernardi, A. D. C.; Bettiol, G. M.; & Crestana, S. Geoestatística e geoprocessamento na tomada de decisão do uso de insumos em uma pastagem/geostatistics and gis in the decision making of the use of inputs in a pasture. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 11, n. 3, p. 294-307, 2017. doi: 10.18011/bioeng2017v11n3p294-307

Seó, H. L. S.; Machado Filho, L. C. P.; Brugnara, D. Rationally Managed Pastures Stock More Carbon than No-Tillage Fields. **Frontiers in Environmental Science**, v. 5, p. 1-8, 2017. doi: 10.3389/fenvs.2017.00087

Shi, P.; Thorlacius, S.; Keller, T.; Keller, M.; Schulin, R. Soil aggregate breakdown in a field experiment with different rainfall intensities and initial soil water contents. **European Journal of Soil Science**, v. 68, n. 6, p. 853-863, 2017. doi: 10.1111/ejss.12472

Silva Filho, E. P.; Cottas, L. R.; Marini, G. B. S. Avaliação da compactação dos solos em áreas de pastagens e florestas em Porto Velho, Rondônia. **Boletim de geografia**, v. 28, n. 1, p. 145-155, 2010. doi: 10.4025/bolgeogr.v28i1.8441

Silva, B. E. C.; Medina, E. M.; Jolomba, M. R. Propriedades físicas do solo em função de diferentes manejos de pastagem. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 66-75, 2017. doi: 10.21206/rbas.v7i3.418

Soares, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; Oliveira, I. A.; Cunha, J. M.; Santos, L. A. C.; Fonseca, J. S.; Souza, Z. M. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 1, p. 9-15, 2016. doi: 10.4322/rca.2020

Souza, F. G. D.; Campos, M. C. C.; Pinheiro, E. N.; Lima, A. F. L.; Brito Filho, E. G. D.; Cunha, J. M. D.; Santos, E. A. T.; Brito, W. B. M. Aggregate stability and carbon stocks in Forest conversion to different cropping systems in Southern Amazonas, Brazil. **Carbon Management**, v. 11, n. 1, p. 81-96, 2020. doi: 10.1080/17583004.2019.1694355

Souza, F. G.; Campos, M. C. C.; Brito Filho, E. G.; Cunha, J. M.; Lima, A. F. L.; Sales, M. C. G.; Santos, L. A. C. Physical attributes of soil under amazon forest conversion for different crop systems in southern Amazonas, Brazil. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 99, n. 4, p. 563-574, 2019. doi: 10.1139/cjss-2019-0070

STATSOFT Inc 7.0. **Statistica (data analysis software system)**. USA: 2004.

Teixeira, P. C.; Donagema, G. K.; Fontana, A.; & Teixeira, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 3ª ed. revista e ampliada. – Brasília, DF: Embrapa, 2017, 573 p.

Tormena, C. A.; Silva, A. P.; Libardi, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998. doi: 10.1590/S0100-06831998000400002

Torres, L. C.; Barros, K. R. M.; Lima, H. V. Alterações na qualidade física de um latossolo amarelo sob pastagem. **Acta Amazônica**, v. 44, n. 4, p. 419-426, 2014. doi: 10.1590/S0044-59672014000400003

Trangmar, B. B.; Yost, R. S.; Uehara, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Adv. Agron.**, v. 38, p. 54-94, 1985.

Vieira, A. C.; Melloni, R.; Melloni, E. G. P.; Guimarães, M. C.; Freitas, M. S.; Pecoraro, D. Fogo e seus efeitos na qualidade do solo de pastagem. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 6, p. 1703-1711, 2016. doi: 10.26848/rbgf.v9.6.p1703-1711

Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. cap. 2, p. 319-344

Yeomans, J. C.; Bremner, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988. doi: 10.1080/00103628809368027