



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE
E BIOTECNOLOGIA DA REDE BIONORTE



CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E DA MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLO EM
AMBIENTES DE VEREDAS E LAGOS NAS SAVANAS DO NORTE AMAZÔNICO

EDNALVA DANTAS RODRIGUES DA SILVA DUARTE

Boa Vista – RR

Dez/2018

EDNALVA DANTAS RODRIGUES DA SILVA DUARTE

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E DA MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLO EM
AMBIENTES DE VEREDAS E LAGOS NAS SAVANAS DO NORTE AMAZÔNICO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, na Universidade Federal de Roraima, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutora em Biodiversidade e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo.

Coorientador: Pesquisador. Dr. Etelvino Henrique Novotny.

Boa Vista – RR

Dez/2018

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

D812c Duarte, Ednalva Dantas Rodrigues da Silva.
Caracterização química e da matéria orgânica de solo em ambientes de veredas e lagos nas savanas do norte amazônico / Ednalva Dantas Rodrigues da Silva Duarte. – Boa Vista, 2018.
98 f.: il.
Orientador: Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo.
Coorientador: Pesq. Dr. Etelvino Henrique Novotny

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte.

1 – Química dos solos. 2 - Matéria orgânica. 3 – Savanas. 4 – Lagos. 5 – Roraima. I – Título. II – Melo, Valdinar Ferreira (orientador). III – Novotny, Etelvino Henrique (coorientador).

CDU – 631.41(811.4)

EDNALVA DANTAS RODRIGUES DA SILVA DUARTE

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E DA MATÉRIA ORGÂNICA DOS SOLOS
EM AMBIENTES DE VEREDAS E LAGOS NAS SAVANAS DO NORTE
AMAZÔNICO**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, na Universidade Federal de Roraima, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Biodiversidade e Conservação.

Banca Examinadora



Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo

Orientador - Departamento de Solos e Engenharia Agrícola - UFRR



Prof. Dra. Sandra Cátia Pereira Uchôa

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola - UFRR



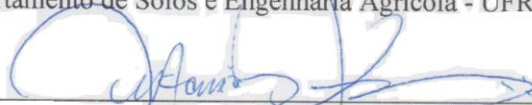
Dr. Newton Paulo de Souza Falcão

Pesquisador – INPA- COTEI- AM



Prof. Dr. Wellington Farias Araújo

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola - UFRR



Prof. Dr. Antonio Alves de Melo Filho

Departamento de Química - UFRR

Aos meus filhos Luísa e Alexandre, ao meu querido Bosco, aos meus pais Francisca e Edison, aos meus irmãos Edna, Sales, Edto e Eliton (*In memorium*), e aos meus sogros Seu Severo e Dona Conceição.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela fé, equilíbrio espiritual e força que me manteve serena em cada dia deste período.

À Universidade Federal de Roraima pela oportunidade de capacitação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Ao Programa de Pós-graduação da Rede Bionorte pelo curso de doutorado ofertado.

Ao Departamento de Química do Centro de Ciência e Tecnologia da UFRR.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

Ao Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas pelo apoio nas análises de ressonância magnética nuclear carbono - RMN-¹³C.

Ao Professor Valdinar Ferreira Melo, do curso de Agronomia da UFRR, pela orientação dedicada, obstinada e firme, que levo como exemplo para meus futuros orientandos.

Ao Pesquisador Dr. Etelvino Henrique Novotny, EMBRAPA Solos, pela coorientação e contribuição valiosa e essencial nas análises e discussões sobre a matéria orgânica de solo.

Aos membros da banca professora Sandra Cátia Pereira Uchôa, ao doutor Newton Paulo de Souza Falcão, professor Antonio Alves de Melo Filho e ao professor Wellington Farias Araújo pelas valiosas contribuições.

Aos proprietários das áreas de coleta de amostras de solos: Maria Eliza da Silva (chácara no bairro Operário) e senhor Eldson Pedroso da Silva (chácara no Bom Intento) pela disponibilização para coleta das amostras de solos, além do respeito e atenção em nos receber.

Às técnicas de laboratório do NUPAGRI Semiramys Moreira e Leidiane Alves pelo apoio e colaboração nos trabalhos de laboratório.

Aos bolsistas de iniciação científica e estagiários: Ronilson, Thiago, Sony, Ithalo, Daniel, Taiane, Bárbara, Taline, João Vítor, Kaio, Samuel, Eduarda e Ramila pela colaboração na realização dos trabalhos no campo e no laboratório.

Aos irmãos científicos Ariane Evald, Luciana Barros, Marcelle Urquiza, Selvin, Miguel, Derline, Astrid e Luís pela convivência solidária.

Aos pesquisadores Gustavo Vieira Veloso, Hugo Leonardo Farias e Pedro Aurélio Pequeno pelo apoio nos cálculos das análises estatísticas em R.

À Maola e Larissa pela construção da figura de localização dos ambientes.

À colega professora Luizalba Santos e Souza Pinheiro pela disponibilidade para ler e revisar o texto.

Aos professores do PPG-Bionorte, em especial aos que assumiram a coordenação estadual Edvan

Alves Chagas e Adriana Flach.

Aos colegas do PPG-Bionorte, Silvestre, Rosinildo, Fernando, Márcia e Debora pelo companheirismo nessa jornada árdua.

À Jomara Oliveira Sousa pelo apoio em momentos críticos dessa caminhada.

Às professoras Maria Lúcia Taveira e Viviane Cardoso de Araújo da UFRR pelo apoio incondicional nas questões da vida docente, fundamental para realização desse doutorado.

Aos colegas do Departamento de Química da UFRR: Adriana, Carlos Ramon, Nascimento, Mirla, Habel, Francisco, Simone, Luiz Antônio, Teresa, Elenilda, Franklene, Enaile, Luciana e Edineide pelo apoio nas questões burocráticas, referente ao meu afastamento parcial.

À Lucimar Carvalho de Almeida por cuidar dos meus filhos com muito amor e carinho durante todo esse período.

Ao Roberto Câmara (padrinho Tampa de Crush!) que me substituiu em muitos momentos levando meu filho Alexandre para brincar e curtir a vida de criança.

Aos meus amigos/irmãos de coração do dia a dia que frequentam minha casa e aos que estão distantes pela atenção e torcida incessante para que eu concluísse mais essa etapa de minha vida.

Aos meus familiares (tios, sobrinhos, primos e cunhados) pelo carinho e preocupação.

Que eu não perca a vontade de ter grandes amigos,
mesmo sabendo que, com as voltas do mundo, eles
acabam indo embora de nossas vidas.

(Ariano Suassuna.)

DUARTE, Ednalva Dantas Rodrigues da Silva. **Caracterização química e da matéria orgânica de solo em ambientes de veredas e lagos nas savanas do norte amazônico**. 2018. 89f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2018.

RESUMO

Os ambientes de lagos e veredas de buriti (*Mauritia flexuosa*) são de grande importância ecológica para a sustentabilidade das savanas de Roraima. Neste trabalho teve-se por objetivo estudar a matéria orgânica do solo (MOS) de lagos e veredas de buriti da savana de Roraima. Foram determinados e caracterizados a MOS, os atributos químicos (pH, P disponível, K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} , Al + H, C, N, capacidade de troca de cátions - CTC, soma de base - SB, V e m) e atividade enzimática da urease e celulase. O estudo foi realizado no município de Boa Vista, Roraima. Foram realizadas coletas de solos em cinco veredas (Embrapa, Casai, Operário, Bom Intento e Bosco) e três de lagos (Manaíra, CCA e Embrapa). As amostras de solos foram submetidas às análises químicas e da atividade enzimática da urease e celulase, além da extração e fracionamento das substâncias húmicas. As amostras de solo também foram analisadas por CHNS e RMN¹³C. Os resultados obtidos mostraram que os solos estudados são Organossolos e Gleissolos, fortemente ácidos, a maioria dos ambientes apresentaram pH na faixa de 4,1 a 4,5, baixos teores de Ca, Mg, K^+ e P disponível, demonstrando a baixa fertilidade. O P disponível na vereda Bom Intento foi alto e atribuído à ação antrópica. Os valores obtidos para a soma de base foram baixos, e para a CTC foi altos. Os teores de Al^{3+} foram elevados e caracterizam os solos como alíticos. A atividade enzimática apresentou variação entre os ambientes de lagos e veredas de buriti, demonstrando que são sensíveis à ação antrópica. Os espectros de RMN¹³C revelaram que os compostos orgânicos aromáticos são predominantes nos solos estudados. A fração humina (C-HUM) é predominante entre as frações das substâncias húmicas desses solos. Conforme os resultados obtidos os solos dos lagos e veredas de buriti da savana de Roraima podem funcionar como fonte de C e são sensíveis à ação antrópica e requerem atenção de ações de políticas que visem à conservação dessas áreas.

Palavras-Chave: Substâncias húmicas, Solos turfosos, Solos orgânicos, Ambientes anóxicos, Solos da Amazônia.

DUARTE, Ednalva Dantas Rodrigues da Silva. **Caracterização química e da matéria orgânica de solo em ambientes de veredas e lagos nas savanas do norte amazônico**. 2018. 89f. Tese Preliminar (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2018.

ABSTRACT

The environments of buriti lakes and trails (*Mauritia flexuosa*) are of great ecological importance for the environmental sustainability of the Roraima savanna. The objective in this work was to study soil organic matter (SOM) of lakes and buriti riparians of the Roraima savanna, chemical attributes (pH, P, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Al³⁺, Al + H, C, and N), cation exchange capacity (CEC), sum of base, base saturation (V) and enzymatic activity of urease and cellulase. The study was carried in the municipality of Boa Vista, Roraima. The soils were collected in five riparians (Embrapa, Casai, Operário, Bom Intento and Bosco) and three lakes (Manáira, CCA and Embrapa). The soil samples were submitted to chemical and biochemical analyzes, besides the extraction and fractionation of the humic substances. As soil samples were also characterized by CHN and ¹³C-NMR. The results were as follows: Histosols and Gleysols, strongly acidic, most environments presented pH range from 4.1 to 4.5, low available Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ and P contents, demonstrating the low fertility. The P available in the Bom Intento riparian was high and can be attributed due to the anthropic action. The values obtained for the sum of base were low, and for CEC it was high. The Al³⁺ contents were high and characterize the soils as allitic. The enzymatic activity presented variation between the environments lakes and buriti riparians, demonstrating that they are sensitive to anthropic action. The ¹³C-NMR spectra revealed that the aromatic organic compounds are predominant in the studied soils. Humic fraction (C-HUM) is predominant as fractions of the humic substances of these soils. According to the results, the soils of lakes and buriti trails of the savanna of Roraima can function as a source of C and are sensitive to anthropic action and require attention of policy actions aimed at the conservation of these areas.

Keywords: Humic substances, Histosol, Peatland, Anoxic environments, Amazonian soils.

LISTA DE FIGURAS

REFERENCIAL TEÓRICO

Figura 1 - Vereda de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) da savana roraimense..... 20

CAPÍTULO 1

Figure 1. Location of study environments..... 35

Figure 2. Chemical characterization of soils of lakes and buriti riparian, pH in H₂O, Al³⁺, H⁺ Al, Ca²⁺, Mg²⁺, and K⁺ in the savanna region of Boa Vista, Northern Amazonia, Brazil..... 36

Figure 3. Sum of bases (SB), cation exchange capacity (CEC), base saturation (V), and aluminum saturation (m) of lakes and buriti riparian environments, in the savanna region of Boa Vista, Northern Amazonia, Brazil 37

Figure 4. Mean values of total organic carbon (TOC) and available phosphorus (P) from the lakes and buriti riparian environments in the savanna region of Boa Vista, Northern Amazonia, Brazil 37

Figure 5. Mean levels of available phosphorus (P) in depth in lake (L) and buriti riparian environments (CA: Casai, BI: Bom Intento, EP: Embrapa, OP: Operário, and BO: Bosco riparians), in the savanna of the Northern Amazon, Brazil 38

Figure 6. Mean contents of the chemical attributes of soils in the lake (L) environment, in the savanna of the Boa Vista region, Northern Amazonia, Brazil 39

Figure 7. Mean contents of the chemical attributes of the soils of buriti riparian environments (CA: Casai, BI: Bom Intento, EP: Embrapa, OP: Operário, and BO: Bosco riparians), in the savanna of northern Amazon, Brazil 40

Figure 8. Mean values of available P and total organic carbon (TOC) in lakes and buriti riparian in the savanna of the Boa Vista region, Northern Amazonia, Brazil 41

Figure 9. Principal component diagram showing the distribution of the environments (lakes and buriti riparian) according to chemical attributes..... 42

Figure 10. Principal component diagram showing the distribution of environments according to chemical attributes..... 42

CAPÍTULO 2

Figura 1 – Mecanismos de formação das substâncias húmicas..... 47

Figura 2 – Localização dos ambientes de estudo. Os pontos 1-Bom Intento (V), 2-Bosco (V), 3-Casai (V), 4-CCA (L), 5-Embrapa (L) 6-Embrapa (V) 7-Manaíra(L) e 8-Operário (V) foram coletados em ambiente de veredas (V) e lagos (L)..... 50

Figura 3 – Gráfico da MOS obtida por PMI: (a) Comparação da MOS entre os ambientes de lagos e veredas, (b) comparação de MOS entre os lagos e (c) comparação de MOS entre as veredas 57

Figura 4 – Teor de Carbono nas profundidades 0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30, 0,30-0,40 e 0,40-0,50 m..... 57

Figura 5 – Distribuição de conteúdo de carbono entre os ambientes e lagos e veredas 58

Figura 6 – Espectro de RMN ¹³C de solos sob Savanas de Boa Vista-RR, em ambientes de Veredas e Lagos na profundidade de 0,10-0,20 m..... 59

CAPÍTULO 3

Figura 1 – Localização dos ambientes de estudo. Os pontos 1-Bom Intento (V), 2-Bosco (V), 3-Casai (V), 4-CCA (L), 5-Embrapa (L) 6-Embrapa (V) 7-Manaíra(L) e 8-Operário (V) foram coletados em ambiente de veredas (V) e lagos (L)..... 72

Figura 2 – Diagrama de componente principal correlacionando os atributos químicos e a atividade enzimática da celulase..... 81

Figura 3 – Diagrama de componente principal correlacionando entre os atributos químicos e a atividade enzimática da urease 82

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Caracterização química dos solos dos ambientes estudados lagos (L) e veredas (V) e as profundidades 54

Tabela 2 – Frações húmicas dos solos de lagos e veredas de buriti (*Mauritia flexuosa*) na savana de Roraima.....56

CAPÍTULO 3

Tabela 1 – Atributos químicos dos solos em lagos e veredas de buriti (*Mauriti flexuosa*) da savana de Roraima.....76

Tabela 2 – Valores médios de NT, COT e C/N para os cinco ambientes de veredas (V) e três de lagos (L) sob solo de savana de Roraima 78

Tabela 3 – Valores médios de atividade enzimática do solo (urease, e celulase) e desvio padrão em cinco ambientes de veredas (V) e três de lagos (L) sob savana de Roraima..... 80

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	15
2.REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1.AS SAVANAS DO NORTE AMAZÔNICO	18
2.2.SOLOS HIDROMÓRFICOS.....	20
2.3.A MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLO (MOS)	21
2.4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	23
2.5 ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO	24
3.OBJETIVOS	26
3.1.OBJETIVO GERAL	26
3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
4.JUSTIFICATIVA	27
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
CAPÍTULO 1 - Chemical of Soils with Histic Horizon of Lakes and Riparian of the Savanna, Northern Amazonia, Brazil	33
Abstract.....	33
1. Introduction.....	33
2. Material and methods.....	34
2.1 <i>StudyEnvironments</i>	34
2.2 <i>Characterization of Study Environments</i>	35
2.3 <i>Collestion and Preparation of Soil Samples</i>	35
2.4 <i>Soil Chemical Characterization</i>	35
2.5 <i>Statistical Analysis</i>	35
3. Results and discussion	36
3.1 <i>Chemical Characterization of Soils in lakes and Buriti Riparian</i>	36
3.2 <i>Soil Chemical Characterization in Lake Environments</i>	38
3.3 <i>Chemical Characterization of Soils in Buriyi Riparian Environments</i>	38
3.4 <i>Available Phosphorus and Total Organic Carbon Between Lake and Buriti Riparian Environments</i>	38
3.5 <i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	41
4. Conclusions.....	42
References	43

CAPÍTULO 2 - Caracterização da matéria orgânica de Solos de veredas e lagos da Savana de Roraima, Amazônia Setentrional, Brasil.....	46
RESUMO	46
1. INTRODUÇÃO.....	46
2. MATERIAL E MÉTODOS	48
2.1 AMBIENTES DE ESTUDO.....	48
2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES DE ESTUDO	49
2.3 COLETAS DAS AMOSTRAS DE SOLO	50
2.4 ANÁLISES QUÍMICAS DOS SOLOS	50
2.5 DETERMINAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA POR PERDA DE MASSA POR IGNIÇÃO (PMI).....	51
2.6. DETERMINAÇÃO DO CARBONO POR COMBUSTÃO SECA (CHN)	51
2.7. FRACIONAMENTO QUÍMICO DAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS	51
2.8 CARACTERIZAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR DO CARBONO - RMN 13C	52
2.9 ANÁLISE DOS DADOS.....	52
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
3.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS	53
3.2 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO POR PERDA DE MASSA POR IGNIÇÃO (PMI) E COMBUSTÃO SECA (CHN).....	55
3.3 FRAÇÕES HÚMICAS NOS ORGANOSSOLOS E GLEISSOLOS.....	55
3.4 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLO POR RMN- ¹³ C.....	58
4 CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS.....	62
CAPÍTULO 3 - Atividade enzimática, C, N e atributos químicos de solos de veredas e lagos das savanas do Norte Amazônico, Brasil.....	67
RESUMO	67
1 INTRODUÇÃO.....	68
2. MATERIAL E MÉTODOS	71
2.1 AMBIENTES DE ESTUDO.....	71
2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES DE ESTUDO	71
2.3 COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO	73
2.4- CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA	73

2.5-DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ENZIMÁTICA	73
2.6. ANÁLISE MULTIVARIADA	74
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
3.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS	74
3.2. CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) E NITROGÊNIO TOTAL (N)	75
3.3 RELAÇÃO C/N	79
3.4 ATIVIDADES ENZIMÁTICAS: UREASE E CELULASE	79
3.5 ANÁLISE MULTIVARIADA – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP).....	81
4. CONCLUSÕES	83
REFERÊNCIAS	83
CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
APÊNDICE A - Imagens dos ambientes estudados	93
APÊNDICE B - Extração e fracionamento de substâncias húmicas de solos de veredas e lagos das savanas de Boa Vista (Roraima).	94

1. INTRODUÇÃO

Em Roraima as veredas ocupam considerável área do estado que ainda não foi devidamente quantificada nem qualificada, ficando assim desconhecido a contribuição desses ambientes na dinâmica do carbono na escala local, regional e global.

O Brasil é constituído pelos biomas Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal, cada bioma com suas características peculiares como a vegetação, fauna, relevo e solo (MMA, 2018). Dentro do bioma Amazônia e tem-se o ecossistema de savana (JATI; FEARNSSIDE; BARBOSA, 2014).

A savana de Roraima forma parte do complexo de drenagem Rio Branco-Rupununi, m uma parte localizada no Brasil e outra na Guiana. Juntas, essa savana cobre mais de 60.000 km², desses 43.358 km² ficam em Roraima, representando a maior área de savana da região amazônica e o segundo habitat em superfície de Roraima (CLARK & BOBBE, 2006, CAMPOS; PINTO; BARBOSA, 2008). A savana, aqui em Roraima, também chamada de lavrado (BARBOSA & FEARNSSIDE, 2000), é a vegetação de áreas abertas que se caracterizam pela presença de plantas herbáceas e árvores isoladas.

A savana, segundo Campos, Pinto e Barbosa (2008) é uma das áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade na Amazônia e uma das áreas de endemismo da América do Sul. De acordo com o Projeto Corredores Ecológicos (MMA/PPG-7), essa região se insere no corredor norte, considerado “globalmente relevante por sua distinção biológica e de alta prioridade em escala regional” (MMA, 2016). As características ecossistêmicas e biológicas da savana são muito específicas, mas, apresenta grandes similaridades entre savanas do bioma Amazônia do que com as do bioma Cerrado (CAMPOS, PINTO; BARBOSA, 2008).

A savana possui uma hidrografia marcada por lagos, ambiente lântico, que devido ao acúmulo de águas de chuvas e do afloramento do lençol freático, formam sistemas de drenagem dando origem as veredas (MENESES; COSTA; COSTA, 2007)

O surgimento das veredas na savana segue uma sequência de eventos que inicia com a pediplanação pós-formação Boa Vista, que aplainou parte da região central do Estado, porém, ficaram algumas depressões. Posteriormente inúmeras lagoas de forma circular ocuparam essas depressões isoladas por tesos; a partir do transbordamento das várias lagoas, em coalescência, formam-se os igarapés e cursos d'água locais; os igarapés ocupados por palmeiras de buriti originaram então os sistemas de veredas (BARBOSA & MIRANDA, 2005).

A vereda é a fitofisionomia tipicamente com a palmeira do Buriti (*Mauritia flexuosa*

L.) emergente em meio a agrupamentos mais ou menos densos de espécies arbustivo-herbáceas. Nesse ambiente, os buritis apresentam altura média de 12 a 15 m e a cobertura do solo varia de 5 a 10%. Nesses ambientes os solos hidromórficos, saturados por água durante a maior parte do ano. A sua ocorrência condiciona-se ao afloramento do lençol freático, decorrente de camadas de permeabilidade diferentes em áreas sedimentares, desempenhando um papel fundamental no equilíbrio hidrológico dos cursos d'água (BASTOS & FERREIRA, 2010). Exerce ainda papel fundamental na manutenção da fauna local, pois atua como ponto de pouso para a avifauna, de refúgio, de abrigo, de fonte de alimento e de local de reprodução também para a fauna terrestre e aquática (ICMBIO, 2018).

Além dessa problemática, existe ainda o fato que o equilíbrio natural do carbono do solo nesses locais ser constantemente rompido em função das queimadas que ocorrem periodicamente durante o período de estiagem, quando o fogo é utilizado no manejo de suas áreas marginais, principalmente naquelas ocupadas por atividades agropecuárias, e na falta de controle, o fogo se espalha até chegar ao interior das veredas. Isso ocorre anualmente em grande parte das veredas do lavrado roraimense.

As consequências do impacto do fogo compreendem: assoreamento dos cursos d'água, e o colapso do solo, afetando ainda as margens dos igarapés e nascentes e redução da biodiversidade da flora e fauna, além da emissão de gases de efeito estufa (GEEs) (BARBOSA & FEARNSSIDE, 2000; FEARNSSIDE; BARBOSA; PEREIRA, 2013). Em relação a essa última temática pode-se inferir que as emissões líquidas dos GEE pelas veredas estão associadas, principalmente, às mudanças nas quantidades do carbono estocado nesse ambiente devido à ação antrópica (FEARNSSIDE; BARBOSA; PEREIRA, 2013). Assim, em virtude das quantidades de carbono que armazenam, as veredas tornam-se um dos condicionantes dos processos que regulam a emissão de CO₂, tendo em vista que a variação no estoque de C regula os teores desse elemento emitidos para a atmosfera (FEARNSSIDE; BARBOSA; PEREIRA, 2013).

Nesse cenário, os solos das savanas localizados nos ambientes de lagos e veredas de buritis, no entorno de Boa Vista, sofrem os efeitos dessa ocupação, porém seus impactos nos solos são poucos conhecidos, uma vez que há poucos estudos referentes à identificação e caracterização física, química e biológica desses solos.

Objetiva-se com este estudo caracterizar a matéria orgânica de solos em ambientes de veredas e lagos nas savanas de Roraima, identificando os tipos de solos, os teores de carbono, características químicas, físico-químicas e bioquímicas, empregando diferentes métodos e técnicas, de modo a contribuir para o entendimento da importância que a matéria orgânica

exerce na sustentabilidade dos ambientes de veredas.

No presente estudo temos o primeiro capítulo que trata da caracterização dos atributos químicos e sua correlação com a ação antrópica devido às atividades desenvolvidas no entorno dos ambientes de lagos e veredas. No segundo capítulo abordamos o estudo da matéria orgânica do solo por técnicas como a espectroscopia de ressonância magnética nuclear do carbono ^{13}RMN , além de apresentar dados de carbono orgânico total e fracionamento de substâncias húmicas. No terceiro capítulo apresentamos os resultados da atividade das enzimas urease e celulase relacionados ao C e N e demais atributos químicos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AS SAVANAS DO NORTE AMAZÔNICO

Savana, termo empregado para designar as fisionomias de vegetação aberta, é um dos maiores biomas do mundo, sendo encontrada na: África, Ásia, América do Sul e do Norte e Oceania (BARBOSA & MIRANDA, 2005; ZINCK & HUBER, 2011). Esse ecossistema cobre cerca de um quarto da superfície terrestre do mundo e são encontrados entre as florestas tropicais e os cintos subtropicais que sofrem forte pressão das atividades humanas (BARBOSA & MIRANDA, 2005).

No Brasil, encontra-se a área de Savanas no Cerrado e as Savanas da Amazônia. As Savanas do norte amazônico são caracterizadas pela vegetação aberta dos trópicos e estratos herbáceos, onde as árvores e os arbustos podem ou não estar presentes em densidades variadas (BARBOSA; CAMPOS; FEARNSSIDE, 2007; ZINCK & HUBER, 2011).

Na Amazônia, as savanas compreendem terras do Brasil, Guiana e Venezuela, ocupando uma área de 61.664 km², sendo que 43.358 km² (70%) estão localizadas no território brasileiro (BARBOSA & MIRANDA, 2005). As savanas de Roraima, extremo norte Amazônico, formam a maior porção de savana em área contínua desse bioma, pertencente ao conjunto paisagístico da ecorregião das savanas da Guiana (MMA, 2016), cuja área de savanas corresponde 19,30% da área do Estado, designada localmente de “lavrado” (MORAIS & CARVALHO, 2015). Considerando as orientações do Comitê Nacional de Zonas Úmidas (CNZU), Recomendação nº. 7 de 11 de junho de 2015, as savanas de Roraima são classificadas como áreas úmidas naturais (MMA, 2015). Cerca de 1% da área de savana de Roraima é coberta por corpos d’água, refúgios montanos e buritizal com características únicas e funções ecológicas que contribui para a regulação e manutenção dos recursos hídricos, habitats de flora e fauna, além de ser ecossistema de trânsito gênico de diferentes espécies animais e vegetais (BARBOSA; CAMPOS; FEARNSSIDE, 2007; MMA, 2015).

Uma das características marcante da savana é a hidrografia formada por lagos, ambiente lântico, que devido ao acúmulo de águas de chuvas e do afloramento do lençol freático, que formam sistemas de drenagem por onde a água escoar e dá origem as veredas (MENESES; COSTA; COSTA, 2007).

Apesar da importância ecológica das savanas para a sustentabilidade ambiental, essas

áreas, justamente pela sua disponibilidade de água e a vegetação esparsa, atraem a ocupação humana. Em Roraima ela é intensa, por exemplo, a própria cidade de Boa Vista, é completamente situada na Savana e desde a sua criação como capital do estado de Roraima em 1950, teve seu crescimento populacional iniciado a partir dos anos 80, com picos em 1995 e 2005, com isso veio à expansão urbana direcionada para os setores sudoeste e oeste, ambientes típicos de savana. Essa expansão urbana é caracterizada por não ter um planejamento adequado, padrão da urbanização das cidades brasileira (SILVA; ALMEIDA; ROCHA, 2009), e ocupa de forma indevida as áreas de preservação permanente (APPs) dos lagos e veredas de buriti, o que gera implicações negativas a esses ecossistemas (GARCIA et al., 2015). Atualmente, a expansão urbana é predominante em direção oeste, invadindo áreas consideradas rurais, como por exemplo, a ocupação do bairro Operário, área destinada às chácaras que visava atender famílias que trabalham na agricultura familiar, e que hoje tem feições rurais e urbanas convivendo mutuamente (PORTELA & MOURA JÚNIOR, 2008; PORTELA, 2009). Destaca-se nessa direção da expansão, área no entorno do de estudo, lago Manaíra, o Conjunto Manaíra, no bairro Laura Moreira, criado pela Lei N° 840 de 25 de maio de 2006, e com recursos do Programa Federal Minha Casa Minha Vida. Vale ainda mencionar as áreas de expansão de Boa Vista ambientadas em lagos e veredas as fazendas ao longo da RR-321, como a vicinal do Bom Intento, a aproximadamente 17 km de Boa Vista, ao longo da RR-205 que liga Boa Vista ao município de Alto Alegre, nas proximidades do Km 26; ao longo da BR-174, km 496 (EMBRAPA, 2000), e na área de Monte Cristo, BR-174.

Na tipologia da vegetação característica de savana encontram-se as veredas de buriti (Figura 1), típicos de ambientes aquáticos lóticos, rasos e com grande quantidade de matéria orgânica acumulada em função da presença de plantas aquáticas como ciperáceas e herbáceas, além de gramíneas terrestres (CARVALHO, 2005). Essas formações de buritizais podem ser distribuídas de forma linear (acompanhado os canais de drenagem, igarapés) ou agrupadas, que estão associadas aos paleocanais de rios (CARVALHO & CARVALHO, 2016). Em trabalho de Meneses, Costa e Costa (2007) sobre os lagos de Boa Vista, destacaram que o buriti, além de ocupar as margens dos igarapés ocupam as áreas úmidas ou encharcadas e forma as veredas, ambiente similar aos do Cerrado do Brasil Central.

Figura 1 - Vereda de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) da savana roraimense.



Fonte: Acervo pessoal: Valdinar Ferreira Melo (2016).

No Brasil, em conformidade com a Lei 12.561, os lagos e veredas de buriti são áreas de preservação permanente (APPs) (BRASIL, 2012). As APPs são de importância ecológica e de sustentabilidade ambiental e a conservação e preservação dessas áreas demandam ações governamentais das diferentes esferas de governo em conjunto com a sociedade em geral, que sensibilize e eduquem as pessoas que vivem no seu entorno, pois a preservação desses ambientes integrados aos seus elementos naturais depende da forma como as pessoas cuidam, respeitam e valorizam os solos dessas áreas (MUGGLER, 2006; ZINCK & HUBER, 2011).

2.2 SOLOS HIDROMÓRFICOS

Os solos dos ambientes de lagos e veredas de buritizais (*Mauritia flexuosa*) das savanas de Roraima são solos hidromórficos, uma vez que em condições naturais são mal drenados, saturados por água permanentemente ou por um determinado período do ano. Em função da estagnação da água, os solos nessas condições apresentam horizontes subsuperficiais na cor cinza, denominado gleização, processo característico dos Gleissolos (VALE JÚNIOR & SCHAEFER, 2010).

Solos hidromórficos são solos que apresentam alagamento temporário ou permanente, o que causa depleção de oxigênio (ambiente anóxico) por um longo período de tempo e são caracterizados pela redução do ferro e dependendo das circunstâncias, o ferro ferroso (Fe^{2+}) se acumula no perfil e dá uma cor cinza esverdeada ou azulada, formando

manchas de ferrugens ou concreções de ferro férrico dentro dos horizontes minerais (DUCHAUFOR, 1982; IBGE, 2005; SOUSA, 2013). Esses solos podem ocorrer em todos os tipos de climas e relevo, associado à vegetação característica, material de origem ou a má drenagem (DUCHAUFOR, 1982).

A saturação por água nesses ambientes associada à atividade microbiana leva à diminuição da taxa de oxigênio dissolvido (SOUSA, 2013). E assim, nesses ecossistemas a atividade microbiana é reduzida, dando espaço à atividade microbiana anaeróbica, que pode utilizar o Fe^{3+} como aceptor de elétrons, ao invés do O_2 , que é escasso (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; NEUE et al. 1997). O metabolismo anaeróbico é importante para os ecossistemas terrestres, em especial para a ecologia microbiana do solo e para os processos biogeoquímicos do C, N e S, além de outros elementos, pois promovem a ciclagem de materiais orgânicos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Ademais, solos nessas condições, normalmente, apresentam acúmulo de resíduos vegetais, pela restrição à sua decomposição pela falta de oxigênio, resultando em teor de matéria orgânica elevado, com horizonte hístico de coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, característico dos Organossolos, como por exemplo, os solos de savanas de veredas de buritis e de lagos (MELO; VALE JÚNIOR; UCHÔA, 2010). E assim, os solos hidromórficos configuram-se como grandes armazenadores de carbono, característica marcante dos solos de turfeiras (BISPO, 2015; CIPRIANO-SILVA et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2010).

2.3 A MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLO (MOS)

A MOS é todo material orgânico presente no solo como serapilheira, frações orgânicas lábeis, biomassa microbiana, material orgânico solúvel em água e material orgânico estabilizado (húmus) (STEVENSON, 1994; SILVA & MENDONÇA, 2007).

A MOS constitui aproximadamente 5% da parte sólida dos solos minerais e é composta por uma mistura de resíduos animais e vegetais, em diferentes estados de decomposição diferentes, com funções no solo relacionadas aos processos de ciclagem e retenção de água e nutrientes, agregação do solo, dinâmica da água e fonte de energia para a atividade biológica (SOUSA et al. 2013). A decomposição dos restos de folhas, raízes, cascas, animais e atividade biológica dos microrganismos associadas ao intemperismo das rochas, ação do clima e temperatura, formam a MOS (NOVAIS et al, 2007; SANTOS et al., 2011; STEVENSON, 1994).

A MOS é dividida em fração viva, aproximadamente 4%, e não-vivente que corresponde a aproximadamente 96%. A fração viva é constituída por raízes e pela fauna do solo constituída de macrofauna, mesofauna e microfauna (SILVA & MENDONÇA, 2007).

A MOS, assim como seu precursor, que é a biomassa, é composta de carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H), nitrogênio (N), enxofre (S) e fósforo (P), elementos essenciais para os processos dinâmicos dos ecossistemas. Considerando que o C corresponde a 58% da MOS, denominado carbono orgânico total (COT), desses aproximadamente 2% se encontra na fração viva e 98% na fração não-vivente. A fração não vivente pode ser subdividida em matéria macrorrgânica ou fração leve (3-20%) e húmus ou fração pesada (SILVA & MENDONÇA, 2007; RANGEL & SILVA, 2007).

A fração leve é constituída pelos resíduos vegetais ou animais em diferentes estágios de decomposição (SILVA & MENDONÇA, 2007). A fração leve separada da MOS recebe nome de acordo com o método de separação, por exemplo a matéria orgânica particulada (MOP) se dá através do peneiramento em peneira de *mash* 53 μm , após se fazer a dispersão das partículas em meio químico com agitação (SILVA & MENDONÇA, 2007).

O húmus, fração pesada da MOS, é subdividida em substâncias húmicas (SH) e não húmicas (SNH). As SNH são substâncias tais como carboidratos, ácidos orgânicos de baixo peso molecular, proteínas, peptídeos, aminoácidos, gorduras e ceras (STEVENSON, 1994). São biomoléculas produzidas pela atividade microbiana e em geral são facilmente degradadas por microrganismos (SOUZA, 2013). As substâncias húmicas (SH) dividem-se em ácido húmico, ácido fúlvico e humina. Essas substâncias são formadas por macromoléculas complexas de peso molecular alto, constituídas de compostos aromáticos, tais como polifenóis e poliquinonas (NASCIMENTO et al., 2010).

A MOS causa efeitos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, assim podem influenciar sobre a estrutura física, a disponibilidade de nutrientes, a sorção de elementos tóxicos e ação tamponante, contribuindo para a estabilização do pH do solo, além de favorecer à vida e crescimento de microrganismos (NOVAIS et al., 2007; SANTOS et al., 2011; STEVENSON, 1994).

Nesse contexto, os estudos têm demonstrado que na natureza e o aumento da quantidade de MOS causam efeitos positivos no funcionamento dos ecossistemas como um todo, e os solos de ecossistemas tropicais são beneficiados pela presença e aumento da MOS, pois esses solos em geral são pobres em nutrientes para as plantas, e as plantas dependem da ciclagem dos nutrientes contidos nos resíduos vegetais, além do papel fundamental no ciclo global do carbono, como fonte ou dreno, o que leva à sua participação de relevância nas

emissões de gases de efeito estufa (ZANDONADI et al., 2013).

As substâncias húmicas (SH) são substâncias químicas de coloração escura, estruturas supramoleculares, complexas e que sofrem transformação no solo pelos processos de humificação e mineralização, correspondem a aproximadamente 95% da MOS e são mais resistentes ao ataque microbiano (SOUSA et al., 2015).

As SH são constituídas de três frações denominadas de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina. A extração e o fracionamento dessas substâncias são realizados por meio da solubilidade em soluções ácidas ou básica. Os ácidos fúlvicos, frações amarelo claro, são solúveis em meio ácido e básico. Os ácidos húmicos, frações marrom/castanho escuro, são solúveis em base e insolúvel em ácido. A terceira fração denominada humina, de cor cinza e suas variações de tom, é insolúvel em ácido e base (STEVENSON, 1994). Segundo Ebeling et al. (2010), o conteúdo de ácidos húmicos, humina e ácidos fúlvicos influencia na qualidade da MOS.

2.4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Os estudos sobre as características químicas e propriedades físicas de solo ao longo dos tempos tem despertado o interesse dos pesquisadores, pois conhecendo essas características é possível que o homem possa compreender um pouco mais a dinâmica dos solos seja em áreas nativa ou de conversão, contribuindo assim para a execução de um manejo de solo mais eficiente quanto ao aumento da fertilidade do solo e ao estabelecimento da paisagem, identidade de um local, de modo a contribuir para uma maior sustentabilidade do meio ambiente.

São encontrados vários estudos sobre os atributos químicos do solo de ecossistemas tropicais, porém ainda existe uma lacuna a ser preenchida com estudos referentes aos solos de Roraima. Nesse sentido, Feitosa et al. (2016) realizaram estudos nas savanas de Roraima no qual determinaram o pH em água e em KCl, os teores de Al, K, P, carbono orgânico, entre outros atributos, concluíram que os atributos do solo e não a classe taxonômica explicam o equilíbrio dinâmico entre a Floresta e a Savana no Nordeste de Roraima. Sousa et al (2015), visando contribuir para o conhecimento da qualidade de solos de áreas alagadas, apresentaram os atributos químicos de solos de áreas úmidas, veredas da região central do bioma Cerrado, Centro-Oeste do Brasil.

2.5 ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO

Enzimas são biomoléculas da classe das proteínas que atuam como catalisadores para aumentar a velocidade das reações bioquímicas (MANISHA, 2017). No solo, as enzimas são essenciais para a transformação e ciclagem de nutrientes (KANDELER, 2015).

A atividade enzimática é uma variável bioquímica e microbiológica que está entre os indicadores de qualidade do solo, uma vez que são sensíveis e respondem mais rapidamente a qualquer alteração sofrida por ação natural ou antrópica, buscando assegurar a saúde biológica e ambiental (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007; PANCHOLY & RICE, 1973).

O solo é essencial para manutenção da vida na Terra (BALOTA et al., 2013), e entre seus constituintes tem-se as enzimas do solo, proteínas que têm a função de catalisar as reações químicas e são importantes para os ciclos biogeoquímicos, participando da formação da matéria orgânica, ciclagem dos nutrientes e estrutura do solo (SOUSA, 2013).

As enzimas podem atuar dentro (endoenzimas) ou fora da célula (exoenzima), no caso do solo, atuam essencialmente exoenzimas e permanecem ativas com ou sem o crescimento microbiano (MOREIRA & SIQUEIRA 2006). Esse grupo de substâncias químicas podem ser desnaturadas pela ação da temperatura, pH, força iônica e pela presença ou ausência de inibidores ou ativadores (TABATABAI, 1994).

Os estudos enzimáticos mais frequentes estão ligados ao metabolismo do C e dos macronutrientes C, N, P e S, como a celulase, urease, fosfatases ácida e alcalina e a arissulfatase, respectivamente (SOUSA, 2013). As enzimas são indicadores biológicos, e a medida da atividade enzimática do solo que fornece informações sobre sua atividade microbiana e catalítica do solo (FACCI, 2008).

A atividade enzimática é resultado da atividade dos organismos bióticos (plantas, animais e microrganismos). A determinação da quantidade das enzimas do solo pode ser feita por medida direta da atividade enzimática por meio da catálise de um substrato específico em condição padrão (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

A atividade enzimática pode ser diminuída por valores de pH muito alto ou muito baixo, que podem, no entanto, ser influenciadas por processos naturais e/ou atividades antrópicas desconhecidas, em maior ou menor quantidade (UTOBO & TEWARI, 2015).

Considerando a importância da atividade enzimática como indicadores de qualidade de solos, alguns países como a Áustria, República Tcheca entre outros países utilizam essa propriedade nos programas de monitoramento de qualidade de solo (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

As enzimas urease e celulase são enzimas da classe da hidrolase e são importantes para a ciclagem de nutrientes do solo e hidrólise da MOS (PURCENA, 2014). A determinação da atividade da urease indica a capacidade do solo transformar o nitrogênio orgânico em mineral, processo denominado de mineralização, influenciado pelo pH, temperatura, a quantidade de substrato entre outras variáveis (CARVALHO, 2005; SILVA et al., 2018). A celulase catalisa a hidrólise de constituintes da matéria orgânica do solo auxiliando na ciclagem de nutrientes (GRÉGGIO & NAHAS, 2007).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a matéria orgânica de solos em ambientes de veredas e lagos nas savanas de Roraima, visando, sobretudo, entender a contribuição desses ambientes na dinâmica do carbono em uma escala local e regional.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar os atributos químicos e físico-químicos dos solos, identificando suas diferentes unidades pedogenéticas nos ambientes de veredas e lagos da Savana;
2. Quantificar e qualificar a matéria orgânica do solo, por meio do fracionamento, extração e análise das substâncias húmicas, espectroscopia RNM-¹³C e atividades das enzimas urease e celulase;
3. Correlacionar os atributos dos solos com os diferentes ambientes estudados e, possibilitando a classificação das desses solos e estabelecer indicadores de qualidade dos solos;
4. Determinar a atividade enzimática urease e celulase do solo.

4. JUSTIFICATIVA

Os ambientes de veredas e lagos constituem uma paisagem marcante do estado de Roraima e são ambientes de grande importância ecológica uma vez que são fontes de água e de riqueza e diversidade de plantas e animais. Apesar do reconhecimento da importância desses ambientes da savana roraimense, ainda são poucos os estudos e informações científicas realizadas sobre esses ecossistemas naturais. Nesse contexto, situou-se a problemática da pesquisa e buscou-se responder às perguntas:

1. Qual a composição química e características das substâncias húmicas constituintes da matéria orgânica dos solos de lagos e veredas na savana de Roraima?
2. Qual a influência das substâncias húmicas na dinâmica do carbono e atributos de estabilidade da matéria orgânica dos solos desses ambientes?
3. Qual a relação entre a atividade enzimática e a matéria orgânica desses solos?

Buscando solução para questões desse tipo, essa pesquisa foi desenvolvida e espera-se contribuir, não só para um maior conhecimento desses ambientes, mas também orientar para uma melhor utilização, preservação e monitoramento dos ambientes estudados.

As análises e caracterização de substâncias húmicas em solos de ambientes de veredas e de lagos nas savanas de Roraima justifica-se pela sua contribuição para o conhecimento mais aprofundado das propriedades físico-químicas e químicas, como por exemplo, estrutura molecular dos compostos presentes nos solos de ambientes de veredas e lagos nas savanas de Roraima, o que pode levar à inovação visando à conservação dessas áreas, visando uma relação homem-natureza baseada na sustentabilidade (MELO et al., 2010). Ainda segundo Melo et al. (2010) destaca-se a contribuição de fornecer mais informações sobre as substâncias húmicas de solos tropicais, campo muito amplo da investigação científica e com muito a ser estudado sobre os solos sob savanas de Roraima.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S. L.; MELO, G. M. P.; SOUZA, R. C.; MELO, W. J. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.8, 221-278. 2013.

BARBOSA, R. I, MIRANDA, I. S. Diversidade de Savanas de Roraima. **Ação Ambiental**, Viçosa, n.32, p. 19-23, jul/ago. 2005.

BARBOSA, R. I.; CAMPOS, F. P.; FEARNside, P. M. The “Lavrado” of Roraima: Biodiversity and conservation of Brazil’s Amazonian savannas. **Functional Ecosystems and Communities**, v. 1, n. 1, p. 30-42, 2007.

BARBOSA, R. I; FEARNside, P.M. As lições do fogo. **Ciência Hoje**, v, 27, n 157, p.35-39, jan./fev., 2000.

BASTOS; L. A; FERREIRA, I. M. Composição fitofisionômicas do bioma Cerrado: Estudo sobre o subsistema Vereda. **Revista Espaço**, v. 12, n. 1, jan/jun, p. 97-108, 2010.

BOA VISTA. Lei Complementar n. 924, de 28 de novembro de 2006. Dispõe sobre o Plano Diretor Estratégico e Participativo de Boa Vista e dá outras Providências. Disponível em: <http://www.boavista.rr.gov.br/site/arq/boavista_legislação_06022014123941.pdf>. Acesso em 02 jul. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 06 fev. 2018.

BISPO, D. F. A, CHISTOFORO, C.; SILVA, M. L. N., BARBOSA, M.S., SILVA, B. P. C., BARRAL, U. Characterization of headwaters peats of the rio Araçuí, Minas Gerais state, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(2), 475-489. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140337>

CAMPOS, C.; PINTO, F.; BARBOSA, R.I.; **O Lavrado de Roraima: Importância Biológica, Desenvolvimento e Conservação na maior savana do Bioma Amazônia**. Boa Vista: MCT/INPA/NP-RR, 8p., 2008. Disponível em:<

http://agroeco.inpa.gov.br/reinaldo/RIBarbosa_ProdCient_Usu_Visitantes/2008Diagnostico_LAVRADO_MMA.pdf>. Acesso em: 07 jan 2019.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Auracaria angustifolia* (Bert.), no estado de São Paulo**. 2005. 79p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agrossistemas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CARVALHO, T. M.; CARVALHO, C. M.; MORAIS, R. P. Fisiografia da paisagem e aspectos biogeomorfológicos do lavrado, Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.17, n.1, 93-107, 2016.

CIPRIANO-SILVA, R.; VALLADARES, G.S; PEREIRA, M. G; ANJOS, L. H. Caracterização de Organossolos em Ambientes de Várzea do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p.26-38, 2014.

CLARK; J. T.; BOBBE, T.; Using remote sensing map and monitor fire damage in forest ecosystems. In: WULDER, M. A.; FRANKLIN, S. E.; (Eds.) **Understanding forest disturbance and spatial patterns: remote sensing and GIS approaches**. London: Taylor & Francis: Chapter 5, 2006.

DUCHAUFOR, P. **Pedology**. George Allen & Unwin. 1982. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-6003-2_12>. Acesso em: 13 ago. 2018.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H.C.; PEREZ, D. V.; PEREIRA, M. G; GOMES, F. W.F. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias húmicas em Organossolos háplicos de várias regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 325 -336, 2011.

EMBRAPA. RODRIGUES, T. E.; GAMA, J. R. N. F.; RÊGO, R.S.; LIMA, A. A. C.; SILVA, J. M. L.; BARRETO, W. O. **Caracterização e classificação dos solos do Campo Experimental de Água Boa – Embrapa Roraima, Boa Vista (RR)**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 43p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 54).

FACCI, L. D.; FREITAS, S. S.; DE MARIA, I.C. Atividade de urease e microrganismos amonificadores sob diferentes usos de solo. In: FertBio, 2008. **Anais eletrônicos [...]** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. Disponível em: http://www.diadecampo.com.br/arquivos/materias/%7B05636454-8294-4383-91E2-EFB82E197908%7D_94_1.pdf. Acesso em 29 out. 2018.

FEITOSA, K. K, A.; VALE JÚNIOR, J. F.; SCAHAEFER, C. E. G. R.; SOUSA, M. I. L.; NASCIMENTO, P. P. R. R. Relações solo-vegetação em “ilhas” florestais e savanas adjacentes no nordeste de Roraima. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 26, n.1, p. 135-146, jan/mai. 2016.

FEARNSIDE, P.M; BARBOSA, R. I.; PEREIRA, V. B. Emissões de gases de efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros. **Revista Agro@ambiente**, v.7, n.1, p.95-11, jan./abr. 2013.

GARCIA, Y. M.; CAMPOS, S.; SPADOTTO, A. J.; CAMPOS, M.; SILVEIRAS, G. R. P. Caracterização de conflitos de uso do solo em APPs na bacia hidrográfica do córrego Barra Seca (Pederneiras/SP). **Energia na Agricultura**, v. 30, n. 1, p. 68-73, jan-mar, 2015.

GRÉGGIO, T.C; NAHAS, E. Atividade enzimática do solo sob dois fragmentos florestais. **Científica**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 179-187, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA – IBGE. **Projeto levantamento e Classificação da Cobertura e Uso da Terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2005, 94p.

INSTITUTO CHICO MENDES DA BIODIVERSIDADE - ICMBIO. **Veredas**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/projetojalapao/pt/biodiversidade-3/fitofisionomias.html?showall=&start=5>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

JATI, S. R.; FEARNESIDE, F. M.; BARBOSA, R. I. Densidade da madeira de árvores em savanas do norte da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 1, p. 79-86, 2014:

KANDELER, E. Physiological and Biochemical Methods for Studing Soil Biota and Their Functions. In: PAUL, E. (Ed.). **Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry**. New York: Academic Press, 2015. p. 187-222.

MELO, V.F.; VALE JÚNIOR, J. F.; UCHÔA, S. C. P. Uso e manejo dos solos sob savana. In: VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds.). **Solos sob Savanas de Roraima: Gênese, classificação e relações ambientais**. p. 131-160, 2010. Boa Vista, Brasil: Gráfica Ióris.

MELO, V. F; SCHAEFER, C. E. G. R.; VALE JÚNIOR, J. F; FRANCELINO, M. R. Etnopedologia: O conhecimento indígena tradicional dos Yanomami e Wapichana em Roraima. In: Reinaldo Imbrózio Barbosa e Valdinar Ferreira Melo. (Org.). **Roraima: Homem, Ambiente e Ecologia**. Boa Vista, RR: FEMACT, 2010. p. 213-236

MANISHA, S. K. Y. Technological advances and applications of hydrolytic enzymes for valorization of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 245, Parte B. dec., p. 1727-1739, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.066>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

MENESES, M. E. N. S.; COSTA, M. L.; Caracterização mineralógica e química dos regolitos de uma área de transição savana-floresta em Roraima: uma análise da evolução da paisagem. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 1, 2012. p. 42-56.

MENESES, M. E. N. S.; COSTA, M. L.; COSTA, J. A. V. Os lagos do lavrado de Boa Vista – Roraima: fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química de sedimentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 3, 2007. p. 478-489.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Biomassas**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomassas/amazonia/mapa-cobertura-vegetal>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, p.625, 2006.

MUGGLER, C.C.; PINTO SOBRINHO, F. A.; MACHADO, V. A. Educação em Solos: Princípios, Teoria e Métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.733-740, 2006.

NASCIMENTO, P. C.; LANI, J. L.; MENDONÇA, E. S.; ZOFFOLI, H. J. O.; PEIXOTO, H. T. M. Teores de e Características da Matéria Orgânica de Solos Hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v., p. 339-348, 2010.

NEUE, H. U.; GAUNT, J. L.; WANG, Z. P; BECKER-HEIDMANN, P.; QUIJANO, C. Carbon in tropical wetlands. **Geoderma**, v. 79, n. 1-4, p. 163-185, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00041-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00041-4)

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo**. p. 471-537, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

PANCHOLY, S. K.; RICE, E. L.; Soil enzymes in relation to old field succession: amylase, celulase, invertase, dehydrogenase and urease. **Soil Science Society American Proceedings**, v.37, p.47-50, 1973.

PORTELA, V. F. Processo de Ruralização do Urbano: Agricultores Familiares na Cidade Boa Vista- Roraima, **Revista Textos e Debates**, n. 16, p. 35-59, 2009.

PORTELA, V. F.; VILHENA JÚNIOR, W. M.; Agricultura Familiar no centro Urbano: A Experiência do Bairro Operário em Boa Vista-Roraima. **Examãpaku**, v. 1, n. 1, p. 1-17, 2008.

PURCENA, L. L. A. **Prospecção de enzimas de solos de Cerrados sob plantio de cana-de-açúcar**. 2014. 106 p. Tese (Doutorado em Biologia), Instituto de Biologia - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

RANGEL; O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p.1609-1623, 2007.

SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P. CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed., Porto Alegre:

Metrópole, 636p. 2008.

SILVA, A. E. O.; INÁCIO, E. S. B.; SALCEDO, I. H.; AMORIM, L. B. Soil enzymatic activities in areas with stages and management of forest regeneration from Caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 2, p. 405-414, abr/jun., 2018.

SILVA, P. R. F.; ALMEIDA, M. M.; ROCHA, R. A. A segregação como conteúdo da nova morfologia urbana de BOA VISTA – RR. **Revista Acta Geográfica**, ano III, n. 6, p. 47 – 53, jul/dez., 2009.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S.; Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTE, R. L. F.F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.; (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 315-318.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition and reactions**. New York: John Willey, 1994, 443p.

SOUSA, R. F. **Frações da matéria orgânica e atributos biológicos de solo em veredas conservadas e antropizadas no bioma Cerrado**. 2013. 124p. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água), Escola de Agronomia - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

SOUSA, R F.; BRASIL, E. P. F.; FIGUEREDO, C. C.; LEANDRO, W. M. Soil organic matter fractions in preserved and disturbed wetlands of the Cerrado biome. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 222-231, 2015.

TABATABAI, A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W; ANGLE, J. S; BOTTOMLEY, P. S. (Eds). **Methods of soil analyses. Part 2. Microbiological and biochemical properties**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, p. 775-833, 1994.

UTOBO, E. B.; TEWARI, L. Soil Enzymes as Bioindicators of Soil Ecosystem Status. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 13, n.1, p.147-169, 2015.

VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. Gênese e Geografia dos Solos sob Savana. In: VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C.E.G. R. (Orgs.). **Solos sob Savanas de Roraima: Gênese, Classificação e Relações Ambientais**. Boa Vista: EDUFRR, 2010. p. 17-36.

ZINCK, J. A.; HUBER, O. (Eds.). **Peatlands of the Western Guyana Highlands, Venezuela: Properties and Paleogeographic Significance of Peats Ecological Studies**, v. 217. New York: Springer, 2011. 295p. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/978-3-642-20138-7>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

ZANDONADI, D. B; SANTOS M. P.; MEDICI L. O.; SILVA J. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 14-20, 2014.

CAPÍTULO 1

Chemical of Soils with Histic Horizon of Lakes and Riparian of the Savanna, Northern Amazonia, Brazil

Received: September 5, 2018 Accepted: October 13, 2018 Online Published: December 15, 2018
doi:10.5539/jas.v11n1pxx URL: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n1pxx>

Abstract

The savanna of the northern Amazon of Brazil is an ecosystem that presents lakes and riparian of buriti (*Mauritia flexuosa* L.) in its landscape. Although these ecosystems are protected by law, they are subject to changes by anthropization in their surrounding areas. The soils of lakes and on the banks of the buriti riparian of the savanna of Boa Vista, Northern Amazonia, are hydromorphic and, although they are important ecosystems for the environmental sustainability, they are little studied. Thus, the purpose of this work was to characterize the chemical composition of these soils and relate the results to the type of anthropization. Samples were collected at the margins of five riparian and three lakes in the 0.0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.3, 0.3-0.4, and 0.4-0.5 m depth layers. Soil samples, in each environment, were taken from three points equidistant at 100 m. For soil characterization, pH in water, H + Al, Al³⁺, P, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, and total organic C (TOC) were determined. The soils of lakes and buriti riparian are of high acidity, low natural fertility, and high toxicity by Al. Buriti riparian presented the highest levels of TOC but were also the environments most susceptible to the effects of anthropization, in which Bom Intento presented values of available P from medium to high by the interference of agricultural activities.

Keywords: anthropic pressure, Histosol, hydromorphic soils, organic matter

1. Introduction

Savanna is the term that refers to areas with open vegetation and which shelters typical plant species, formed by grasses, with sparse presence of small trees and shrubs. This term is used to designate the open vegetation of Roraima, of the Amazon biome, which is part of the “Guiana savannas” ecoregion, and is associated to a set of geological and geomorphological characteristics with physical, ecological, and floristic specificities, which distinguish it from cerrados (savanna) from other parts of Brazil (Almeida, 2016; Barbosa & Miranda, 2005; Barbosa, Campos, Pinto & Fearnside, 2007; Bastos & Ferreira, 2010; T. M. Carvalho, C. M. Carvalho & Morais, 2016). Savana is an ecosystem that is fragile and susceptible to the impact of human occupation and the use of fire (Furley, 2010; Soares et al., 2015; Zinck, 2011).

In the Amazon, the savannas comprise lands of Brazil, Guyana, and Venezuela, occupying 61,664 km², 43,358 km² of which are located in the Brazilian territory (Barbosa & Miranda, 2005). The savannas of Roraima, in the extreme North of the Amazon, form the largest portion in a continuous area, belonging to the landscape of the Guiana savanna ecoregion, whose area corresponds to 19.30% of the State, designated locally of “lavrado” (Morais & Carvalho, 2015). About 1% of the savanna area is covered by bodies of water, mountain refuges, and buriti palm tree, which, despite the small representativeness within the savannas, have unique functions and characteristics, contributing to the maintenance of water resources and transit of different animal and vegetable species (Barbosa et al., 2007).

One of the prominent features of the savanna is the hydrography formed by lakes and lentic environments, which, due to the accumulation of rainwater and the upwelling of groundwater, form drainage systems through which water flows, originating the buriti riparian (Brígida-Ferreira, Röpke, & Alves-Gomes, 2012; Meneses, Costa & Costa, 2007). The buriti (*Mauritia flexuosa* L.) riparian are lotic, shallow aquatic environments with a large amount of organic matter accumulated due to the presence of aquatic plants, such as cyperaceae and herbaceous plants, as well as lowland grasses (Matos, Nunes, Silva & Oliveira, 2014). These formations of buriti palm tree lane can be distributed lineally along with drainage channels, creek (igarapés) or grouped, associated to the paleochannels (terraces) of rivers (Carvalho et al., 2016).

In Brazil, the areas of lakes and riparian of buriti palm tree are of permanent preservation (APP), which aim at the integrity of natural resources and maintenance of environmental sustainability, according to Law No. 12.651 (Brazil, 2012).

The soils of lake environments and buriti riparian of the Roraima savanna are hydromorphic, since in natural conditions they are poorly drained, saturated by water permanently or for a certain period of the year. Due to the water stagnation, the soils in these conditions present horizons with greyish and yellowish coloring, a characteristic of the Inceptsol (Gleysols). In addition, the accumulation of vegetal residues, responsible for the elevation of the organic matter content, gives rise to the histic horizon, which presents black, gray, or very dark coloration, characteristic of Hystosol (Vale Júnior & Schaefer, 2010).

The formation of Hystosol (peatlands) in these environments results from an imbalance between the accumulation and decomposition of organic materials whose deposition rate exceeds the decay rate, which is

caused by insufficient or low biological activity as a consequence of adverse environmental factors, basically excessive acidity, in addition to saturation by water for a long time, establishing anoxic conditions. In tropical lowlands, fluctuation of groundwater level, controlled by rainfall and evapotranspiration, has an important effect on the formation of peats, especially in forest swamps (Ludang, Jaya & Inoue, 2007).

Studies estimate the areas of peatlands in the Amazon around 150,000 km², suggesting a great contribution of these environments to the global carbon (C) cycle, compared with other environments of the globe (Lähteenoja, Ruokolainen, Schulman & Oinonen, 2009). Peatlands are defined as wetlands, where 80% of the area is covered by Hystosol, whose existence is a function of vegetation cover and water conditions (FAO, 1974). In these environments, anaerobic decomposition determines the type of soil organic matter (SOM) together with soil chemical conditions, weathering agents, biological nutrient cycling, and biogenic mineral production (Driessen, Deckers, Spaargaren, & Nachtergaele, 2001; Kelly, Chadwick, & Hilinski, 1998). Soil organic matter plays an important role in the biogeochemistry and ecology of streams, rivers, and lakes (Winterdahl et al., 2011) and is part of the global C cycle as a vector for transporting C from the terrestrial to aquatic and marine environments, followed by sedimentation and remineralization (Cole et al., 2007). Variations in vegetation structure evolve in response to peatland changes over time, so that tropical peat vegetation is not uniform (Page et al., 2004). However, little attention has been given to these types of environmental compartment, despite its importance in the global biogeochemical C cycle (Inubushi et al., 2003; Neue, Gaunt, Wang, Becker-Heidmann & Quijano, 1997).

Anthropic interferences, whether for agricultural reasons or urbanization, in ecosystems with occurrence of Hystosol, alter the dynamics of organic matter, with reduction in the content and changes in quality over time (Stevenson, 1994; Zinck, 2011). The use and management practices of agricultural systems interfere in the natural balance of the processes of pedogenesis in the Hystosol, accelerating losses of C, N, K, and many other nutrients, thus altering chemical attributes and the relationships between humic substances (Pereira, Ebeling, Valladares, Anjos & Espíndula Júnior, 2006), besides promoting the lowering of the superficial level, the phenomenon of subsidence (Valladares, Pereira, Anjos & Ebeling, 2008).

In many scenarios, buriti riparian are springs, or drainage headwaters, that feed the watercourses that evolve into rivers. Its vegetation accompanies this evolution, promoting a natural vegetative gradient, which begins with buritis and progresses to the formation of riparian forest, as occurs in the Cerrado biome of Central Brazil (Pivello & Coutinho, 1996), which function as ecological corridors.

These transition zones that separate well-drained clays linking pediplanes and aquatic systems aim at intercepting highland nutrients (such as nitrogen, phosphorus, and organic matter) and contaminants, including heavy metals and organic pollutants (Vidon et al., 2010), filtering sediments (Kirkkala, Ventelä & Tarvainen, 2012).

Information about soils with histic horizons of buritis and lake environments, which make up the savannas of the northern Amazon, is scarce, justifying studies that generate such information to promote the understanding of the chemical reactions in these environments and relations with physical, chemical, and biological attributes, promoting an understanding of the environmental services that these environments can exert.

In this context, the evaluation of soil chemical attributes in environments of lakes and buriti palm riparian that are under anthropic pressure is extremely important to know more deeply these environments and contribute to the monitoring of the changes that may occur, providing subsidies for the establishment of policies and actions that aim to contribute to the maintenance of the existence of these ecosystems in a sustainable way. Thus, the objective of this study was to characterize the chemical attributes of soils with a histic horizon of lakes and buriti riparian in the savannas in the Upper Rio Branco Basin, in the northern Amazon, and relate the results to the type of anthropization.

2. Material and Methods

2.1 Study Environments

The study environments are APP located in the municipality of Boa Vista, in the state of Roraima, Brazil, in the northern part of Amazonia, at the geographical coordinates 2°39'24" and 2°56'05" N, and 60°51'01" and 60°32'25" W (Figure 1).

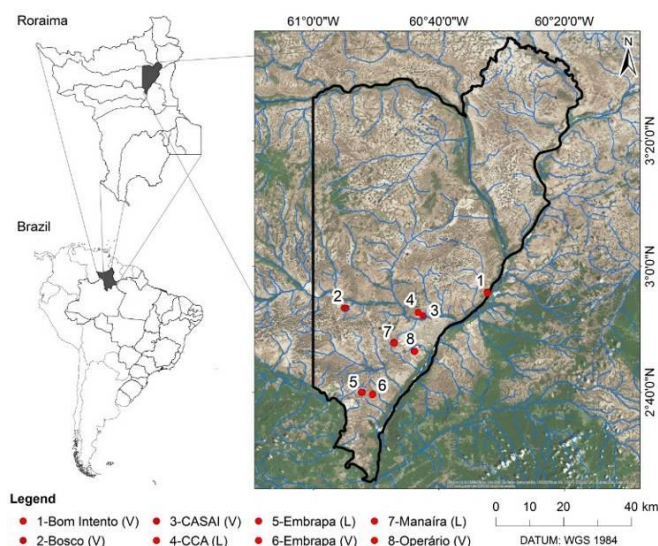


Figure 1. Location of study environments

2.2 Characterization of Study Environments

The study environments, consisting of three lakes (4-CCA, 5-Embrapa, and 7-Manaíra) and five buriti riparian (1-Bom Intento, 2-Bosco, 3-Casai, 6-Embrapa, and 8-Operário), are included in the Boa Vista formation domain, whose relief varies from plane to gently undulating, with an altitude varying from 80 to 100 m, forming an extensive planation surface, elaborated during a long dry climatic phase in the lower and medium Pleistocene (Brazil, 1975), inserted in the Pediplane of Rio Branco-Rio Negro (Meneses et al., 2007).

The climate is tropical humid (Aw, according to the Köppen classification system), with rains during summer (April to September), with annual average rainfall around 1,750 mm. The dry period (October to March) presents precipitation around 60 mm in the driest month and annual average temperature of 27.4 °C (Araújo et al., 2001).

In the studied environment, a savanna vegetation is found in the lakes, largely of grasses and cyperaceae, interspersed with shrubby vegetation such as murici (*Byrsonima* spp.), and in environments of buriti riparian with pioneer formations, the characteristic botanical species is buriti (*Mauritia flexuosa* L.) (Barbosa & Miranda, 2005; Benedetti, Vale Júnior, Schaefer, Melo & Uchôa, 2011; Meneses et al., 2007; Miranda & Absy, 1997).

The soils are characterized as hydromorphic, since the buriti riparian and lakes are environments saturated by water for a long period of the year, with a thick organic layer (histic horizon), being classified as Organossolo and Gleissolo (Brazilian System of Soil Classification, Santos et al., 2013) corresponding to Histosol and Inceptisol (USA taxonomy) Histosol and Gleysol (WRB), respectively, resulting from high accumulations of plant residues, with varying degrees of decomposition (Santos et al., 2013).

2.3 Collection and Preparation of Soil Samples

Soil samples were collected in the 0.0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.3, 0.3-0.4, and 0.4-0.5 m depth layers in five buriti riparian and three lakes, considering the differences of environmental features within the study areas, with three replicates at each collection point, spaced 100 m apart. In the buriti riparian, samples were collected at a distance of 5 m from the water course and, in the lakes, a transept was made, starting 10 m from the border passing through the center during the dry season of the lakes. Deformed samples were collected in PVC pipes (0.70 × 0.30 m) because the saturation conditions by water does not to allow the opening of trench below 0.30 m depth. After removal of the coarse root fractions, the samples were air-dried, crushed, and passed through 2-mm mesh sieves.

2.4 Soil Chemical Characterization

The chemical characterization of soils occurred according to Silva (2009). The pH was determined in water (1:2.5, v/v). Potential acidity (H + Al) was determined by extraction with 0.5 mol L⁻¹ calcium acetate solution at pH 7.0. Exchangeable aluminum, calcium, and magnesium were extracted with 1.0 mol L⁻¹ KCl solution. The Al³⁺ was quantified by acid-base titration with 0.025 mol L⁻¹ NaOH solution. Exchangeable Ca and Mg were quantified by complexometric titration with 0.0125 mol L⁻¹ EDTA. Available P and K were extracted with acid double solution (0.05 mol L⁻¹ HCl + 0.0125 mol L⁻¹ H₂SO₄), K determined by flame photometry and P by UV-visible molecular spectrophotometry. The sum of bases (SB), total cation exchange capacity (CTC), base saturation (V), and aluminum saturation (m) were calculated from the results obtained. Total organic carbon (TOC) was quantified by dry combustion on Perkin Elmer elemental analyzer series II 2400.

2.5 Statistical Analysis

The data were subjected to descriptive statistical analysis, represented in boxplot graphs, and the multivariate analysis. Principal Component Analysis (PCA) was used to determine the correlation between chemical attributes and collection sites (lake and buriti riparian), and between environments. In all analysis the software R 3.4 (R Core Team, 2017) was used in conjunction with the ExpDes.pt, factoextra, and FactoMineR packages

(Ferreira, Cavalcanti & Nogueira, 2018; Kassambara & Mundt, 2017; Lê, Josse & Husson, 2008).

3. Results and Discussion

3.1 Chemical Characterization of Soils in Lakes and Buriti Riparian

Values of pH in H₂O were low in the two environments evaluated (Figure 2). In the lakes, the pH values ranged from 4.42 to 4.74, and in the buriti riparian, from 4.13 to 4.82. In terms of acidity, the environments did not present expressive variations but indicated very acidic soils. However, these environments were less acidic than the peatland soils studied by Zinck (2011) in the savannas of Venezuela and Guyana. These environments, in terms of acidity, resemble the dryland soils of the savannas of the northern Amazonia, studied by Benedetti et al. (2011) and Feitosa, Vale Júnior, Schaefer, Sousa & Nascimento (2016). This high acidity results from the advanced weathering of savanna soils, characteristic of tropical regions and low levels of bases. These values corroborate Valladares et al. (2008), which are the result of both the nature of plant material and of soil origin material, as opposed to soils of temperate regions with high base saturation (V), enriched by limestone and moss vegetation and swamp environments (Grozav & Rogobete, 2012).

The values of Al³⁺ in the lakes ranged from 0.75 to 2.66 cmol_c kg⁻¹ (Figure 2B), whereas those of buriti riparian varied from 0.50 to 7.95 cmol_c kg⁻¹. The higher values in buriti riparian are attributed to higher organic matter contents. The Casai and Bom Intento riparian had Al³⁺ values higher than 4 cmol_c kg⁻¹, which indicate an alitic character and higher toxicity (Sousa, Miranda, & Oliveira, 2007). The values found are below the Inceptisol (Gleysol) of the Roraima savanna (Benedetti et al., 2011) and soils of buriti riparian of the southeastern region of Brazil (Guimarães, Araújo, & Corrêa, 2002).

The values of potential acidity (H + Al) were higher in the palm swamps than in the lakes (Figure 2C). According to Zinck (2011), the high values of potential acidity are related to the pH dependent surface load of the humic substances, with H⁺ strongly bound in the carboxyl and hydroxyl functional groups that behave like weak acids. The H + Al values of the present study are higher than those obtained by Fonseca (2017) and Sousa, Brasil, Figueiredo & Leandro (2015) and compatible with those reported by Bispo et al. (2015).

In both evaluated environments (lakes and buriti riparian), the Ca²⁺ and Mg²⁺ contents were low, but variations occur between the environments (Figures 2D and 2E). The values obtained in the samples from the lakes were higher than in the buriti riparian. In peat soils of Venezuela, Zinck (2011) verified this variation in Ca²⁺ and Mg²⁺ contents attributed to the probable permanence of these nutrients in the soil due to the formation of complexes with the organic matter. In the studied environments, these higher values in the lake environment may be justified by the fact that the CCA lake is an area of sediment accumulation from the Apoteri balsatic formation, keeping the values of these elements elevated by promoting differences between the environments. In general, the Ca²⁺ and Mg²⁺ values in this study were higher than those obtained by Sousa et al. (2015).

In relation to the K⁺ contents (Figure 2F), the highest levels in the palm swamp environments may be associated with partially decomposed vegetation and flooded environment for a given period, which contributes to the input of these ions to the soil (Bispo et al., 2015; Cipriano-Silva, Valladares, Pereira & Anjos, 2014).

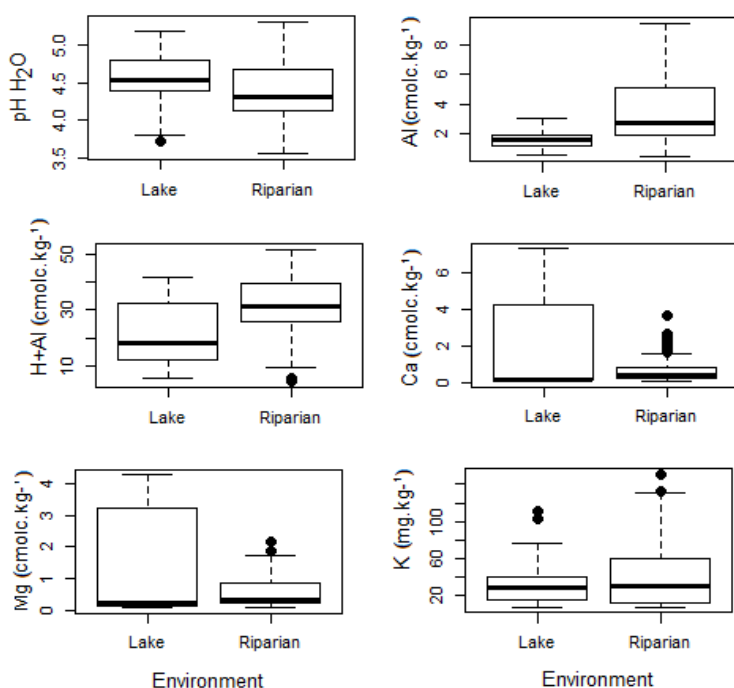


Figure 2. Chemical characterization of soils of lakes and buriti riparian, pH in H₂O, Al³⁺, H + Al, Ca²⁺, Mg²⁺, and K⁺ in the savanna region of Boa Vista, Northern Amazonia, Brazil

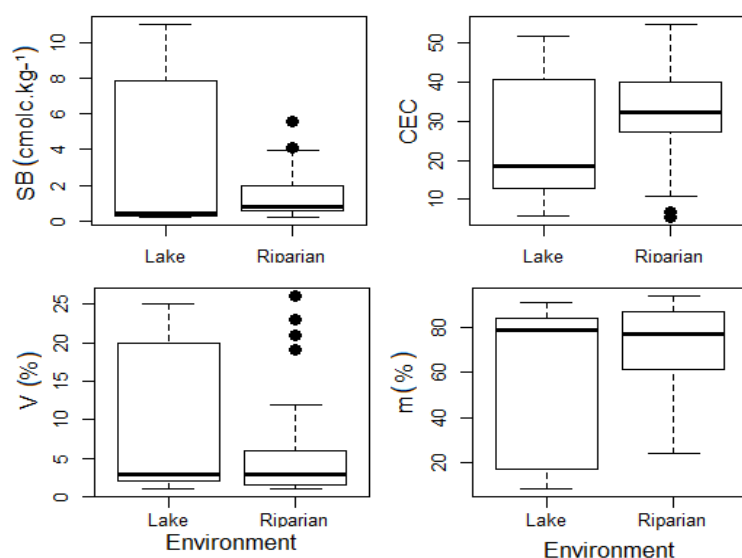


Figure 3. Sum of bases (SB), cation exchange capacity (CEC), base saturation (V), and aluminum saturation (m) of lakes and buriti riparian environments, in the savanna region of Boa Vista, Northern Amazonia, Brazil

For the SB (Figure 3), the values are low in both environments and are linked to low Ca, Mg, and K contents in soils and source material, as was also observed in soils with peats of Guyana and Venezuela (Zinck, 2011). However, the results of this study are higher than those obtained for organic soils in southeastern Brazil, in studies conducted by Bispo et al. (2015), and for Amazon soils by Feitosa et al. (2016).

For the total cation exchange capacity (CEC), there were variations between lake and buriti riparian environments. The values obtained in this work are higher than those of Bispo et al. (2015), Feitosa et al. (2016) and Sousa et al. (2015). High CEC values in organic soils are attributed to high H + Al values, which can be attributed both to the quantity and quality of organic matter. While SB and V values (Figure 3) are very low, they reflect the losses occurred by weathering and exit of bases by the tropical climate conditions. The base saturation in the two environments is very low, mainly in the palm swamps, which characterizes the soil as dystrophic (Santos et al., 2013). Nevertheless, the values of the two environments are higher than those obtained for peat soils of Guayana and Venezuela (Zinck, 2011) and Histosol of the buriti riparian studies carried out by Bishop et al. (2015) and Guimarães et al. (2002), both in the state of Minas Gerais, Brazil. When compared to dryland savanna soils obtained by Feitosa et al. (2016), these values are lower.

In relation to the aluminum saturation (m) in the environments of lakes and buriti riparian, the values are mostly above 50% (Santos et al., 2013), which can characterize the soils of these environments as alitic, with Al toxicity. In the buriti riparian, TOC contents were higher than in lakes (Figure 4). Regardless of the environment, the results obtained for TOC were higher than the peat soils of Minas Gerais, Brazil (Bispo et al., 2015). The levels of available P were higher in buriti riparian environments when compared with lakes. These data were also higher than those observed in dryland soils of the Roraima savanna (Benedetti et al., 2011). These results show that the increase of phosphorus in these environments is due to anthropic actions, such as agricultural and urban activities with disposal of residues rich in phosphorus, contributing to increase the available P in the studied environments. The data from this study were lower than the results obtained by Zink (2011) for peatlands from Guayana and Venezuela. However, they were higher than those obtained for the peatlands of Minas Gerais, Brazil, studied by Bispo et al. (2015).

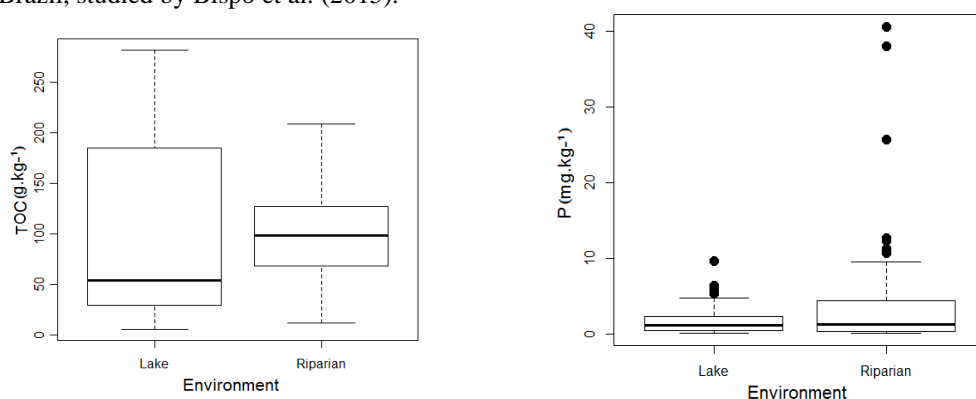


Figure 4. Mean values of total organic carbon (TOC) and available phosphorus (P) from the lakes and buriti riparian environments in the savanna region of Boa Vista, Northern Amazonia, Brazil

In general, the available P values are low, indicating low availability of P to plants, which may be associated with

the natural soil poverty and the high capacity of P complexation by the organic matter, thus evidencing the reality of the soil of Roraima savannas that are characterized as dystrophic, with low levels of available P (Beneditti et al., 2011). In soils with high organic matter content, with high load availability, P is associated with organic compounds of high molecular weight forming poorly soluble compounds, since P can be bound to compounds of high molecular weight, forming phosphate-ester-amino acids with humic substances and may be complexed with humus, Fe, and Al (Andriessse, 1988; Bedrock et al., 1995; Brannon & Sommers, 1985). These environments are considered as oligotrophic, similar to the peatland environments of Guayana and Venezuela, studied by Zinck (2011). It was also observed that the highest levels of available P were found in the buriti riparian environments, in the 0.00-0.10 m layer (Figure 5), decreasing in depth in all environments. Higher available P levels in the Bom Intento buriti riparian may be attributed to the influence of the waters of Rio Branco, which deposits P-rich sediments from rice fields and watermelon cultivation with bovine manure and mineral fertilization upstream the study area.

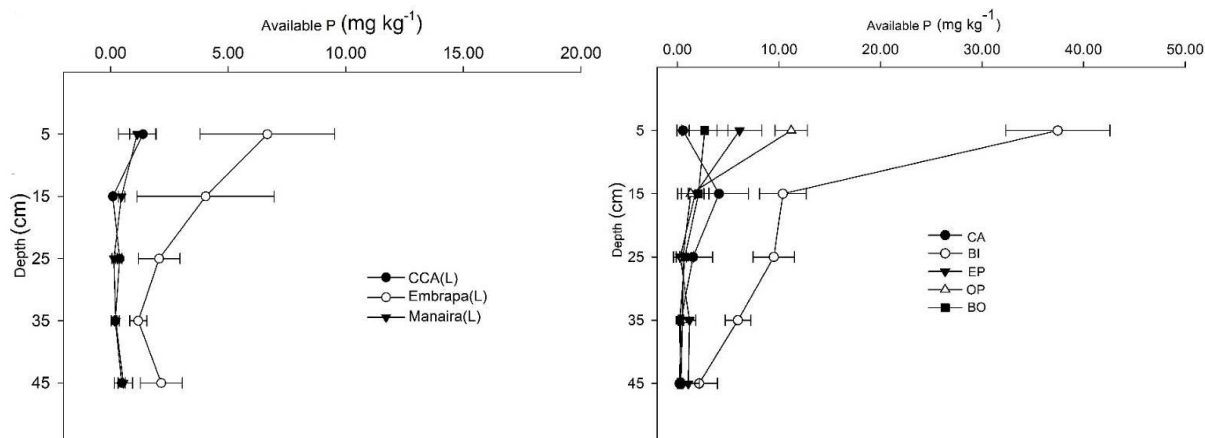


Figure 5. Mean levels of available phosphorus (P) in depth in lake (L) and buriti riparian environments (CA: Casai, BI: Bom Intento, EP: Embrapa, OP: Operário, and BO: Bosco riparians), in the savanna of the Northern Amazon, Brazil

3.2 Soil Chemical Characterization in Lake Environments

In the Embrapa lake, the higher Al^{3+} content and, consequently, higher saturation by Al^{3+} , reflect in the lower base saturation (V) (Figure 6). In the CCA lake, there was lower Al^{3+} content and higher V, with higher homogeneity in terms of pH distribution and higher values of Ca^{2+} , Mg^{2+} , and K^+ . The high values of H + Al are results of the deprotonation of H^+ of the structures of humic substances, since this environment has a higher TOC content, about four times more than the other lake environments. The CCA lake has a hydrological behavior different from the other lakes, because it remains saturated by water during almost all the year, with a small dry phase during the most critical period of rain. This lake also receives sediments from the Apoteri formation (basaltic rocks), richer in Ca and Mg, while Embrapa and Manaíra lakes remain dry for a longer period throughout the year and receive pre-weathered tertiary sediments from the Boa Vista formation.

3.3 Chemical Characterization of Soils in Buriti Riparian Environments

Among the studied buriti riparian, Bom Intento (BI) presented the highest levels of Al^{3+} and saturation by Al, with lower values of V (Figure 7). The highest values of CEC (Figure 7) can be attributed to the high values of H + Al. On the opposite side is the Operário riparian whose values of pH, Ca, and Mg were higher and, consequently, V values and SB. The highest values of nutrients that occur in the Operário buriti riparian can be attributed to the anthropic actions by the agricultural practices along the buriti riparian, with production of leafy vegetables, which may be contributing to the transport of nutrients to these environments, which are adsorbed to organic matter.

3.4 Available Phosphorus and Total Organic Carbon Between Lake and Buriti Riparian Environments.

The CCA lake has the lowest levels of available P (Figure 8) and the highest TOC content. This result in relation to P is in agreement with Novais, Smyth, and Nunes (2007), who stated that humic substances block the adsorption centers of the mineral colloids of the soil, decreasing the P adsorption capacity. The Embrapa lake presented the highest levels of P, which may be related to soil genesis, with a sandy texture and no evidence of any source of P to the soil. The location of the lake close to experimental areas of agronomic research may be contributing to increasing of P as a function of its transport through runoff waters.

For the buriti riparian environments, the Bom Intento (BI) has the highest available P content (Figure 8). In addition, by analyzing the TOC content, this buriti riparian also presents the highest C content (g kg^{-1}). This directly proportional relationship between total organic C content and organic P content contrasts with the values

obtained by Novais et al. (2007), who concluded that the organic matter blocks the soil adsorption centers, decreasing the P adsorption capacity. This may be related to the direct and indirect effects that SOM has on the availability of nutrients (Dick, Novotny, Dieckow, & Bayer, 2009).

For buriti riparian environments, higher P and TOC contents were found in buriti riparian BI, which may be related to the indirect effects that SOM has on the availability of nutrients. The main loss process of SOM is the mineralization promoted by fungi and bacteria, and maintaining TOC content is fundamental to preserve the soil quality and its environmental functionality (Dick et al., 2009).

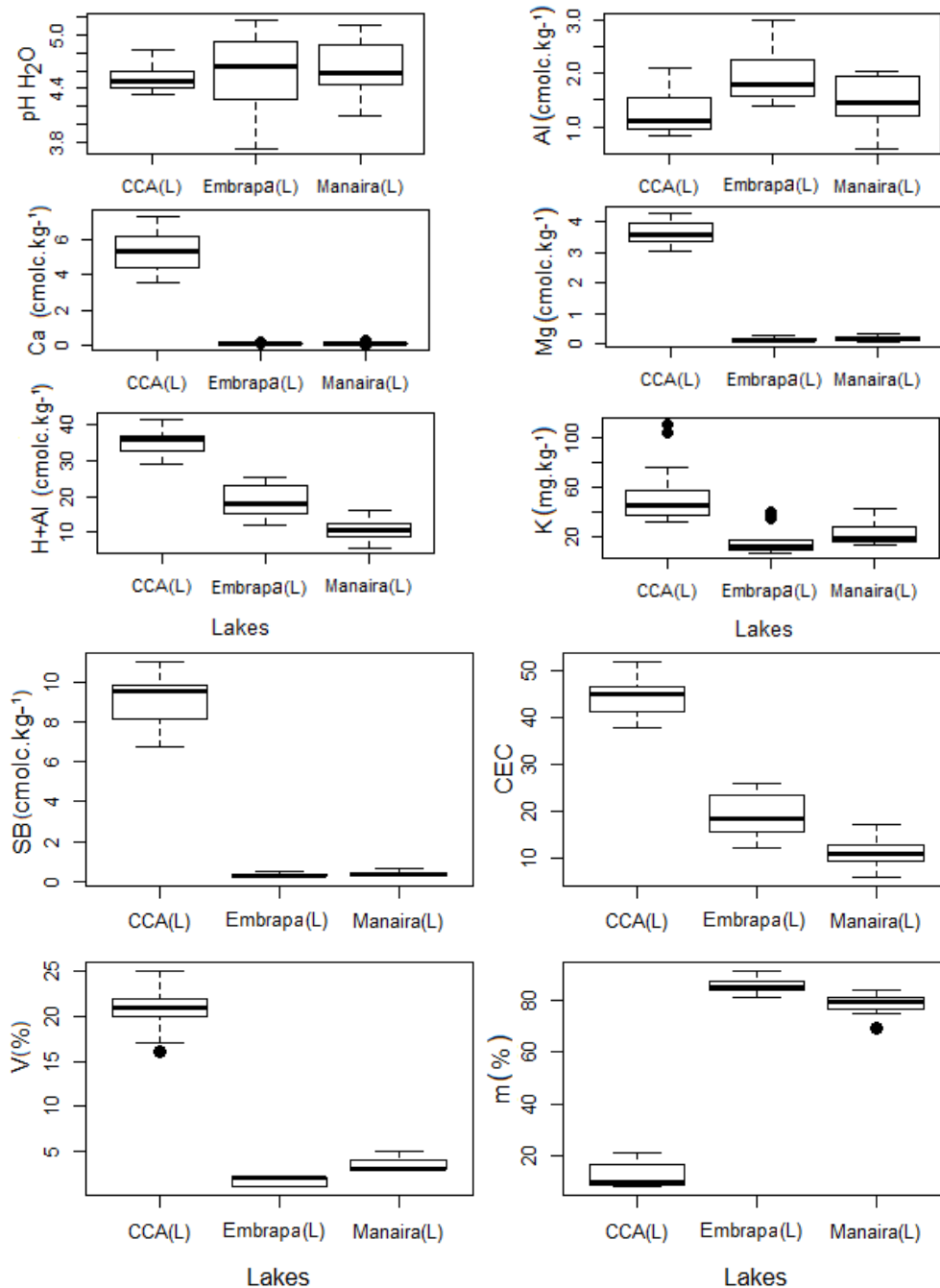


Figure 6. Mean contents of the chemical attributes of soils in the lake (L) environment, in the savanna of the Boa Vista region, Northern Amazonia, Brazil

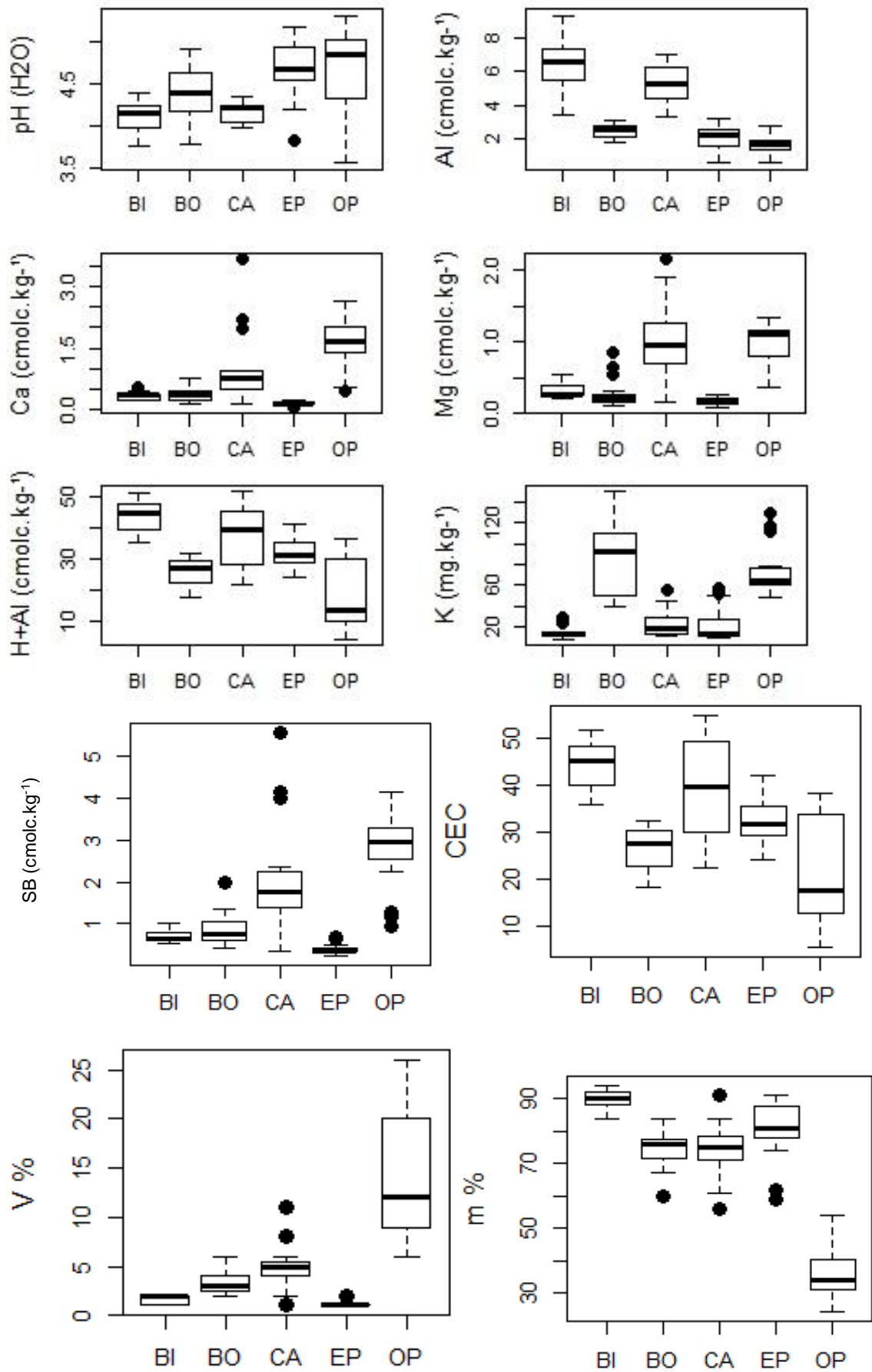


Figure 7. Mean contents of the chemical attributes of the soils of buriti riparian environments (CA: Casai, BI: Bom Intento, EP: Embrapa, OP: Operário, and BO: Bosco riparians), in the savanna of northern Amazon, Brazil

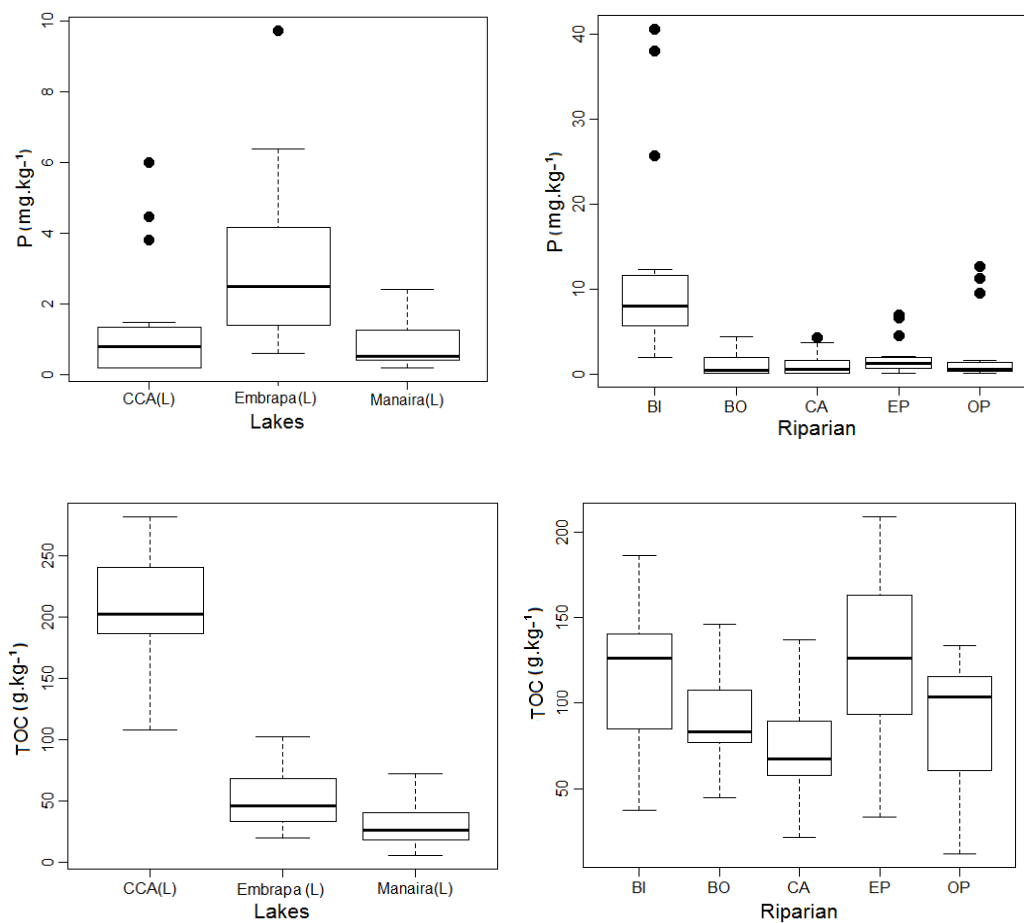


Figure 8. Mean values of available P and total organic carbon (TOC) in lakes and buriti riparian in the savanna of the Boa Vista region, Northern Amazonia, Brazil

3.5 Principal Component Analysis (PCA)

The principal components analysis (PCA) for the chemical attributes evaluated in the lakes and buriti riparian environments (Figure 9) explained 70% of the original variability of the data. The values of K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , V, and SB contribute positively, and Al^{3+} , CEC, and H + Al contribute negatively. The values of Ca^{2+} , Mg^{2+} , V, and SB contribute to the lake environments. On the other hand, the values of Al^{3+} , H + Al, and CEC define the buriti riparian environments. It is observed that the CEC values are a strong contribution of Al and H from organic matter.

The results of the principal component analysis (PCA) for the chemical attributes evaluated in the environments (Figure 10) explain 70.7% of the original variability of the data retained in these components. A new set of variables (principal components) that explain the variation structure was evaluated, and the weight of each variable analyzed in each component (axes) was represented to minimize the loss of information.

The scores for analysis of principal components were done jointly for the different chemical parameters, only separated by layers, and independently for buriti riparian (Casai, Bom Intento, Embrapa, Operário, and Bosco) and lakes (Embrapa, Manaíra, and CCA) to find the interdependence of the chemical attributes studied.

In the components, the occurrence of two environments with very clear distinctions, CCA and Manaíra, was observed, the latter representing stage of extreme oligotrophism. For buriti riparian environments, a clear separation between Operário and Bom Intento can be observed, being similar only by the available P values. The other environments remained within a similarity sustained by the low levels of bases and high acidity values.

The second principal component (PC2) explained 23.4% of the variability of P and was strongly associated with the chemical attributes, contributing negatively to the pH value, which was the most affected.

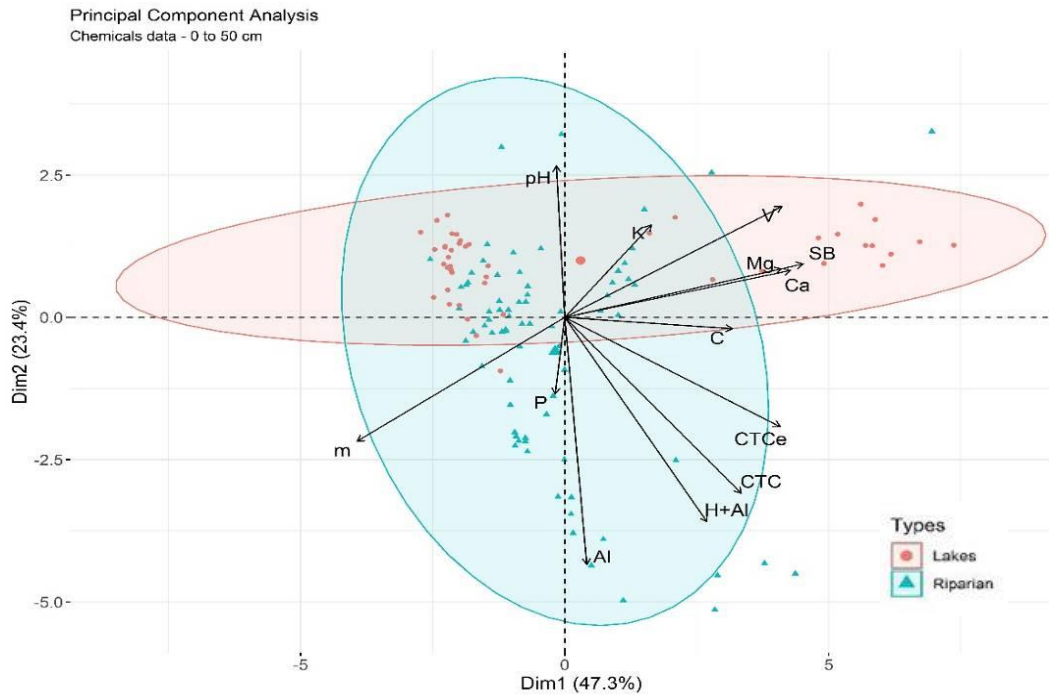


Figure 9. Principal component diagram showing the distribution of the environments (lakes and buriti riparian) according to chemical attributes

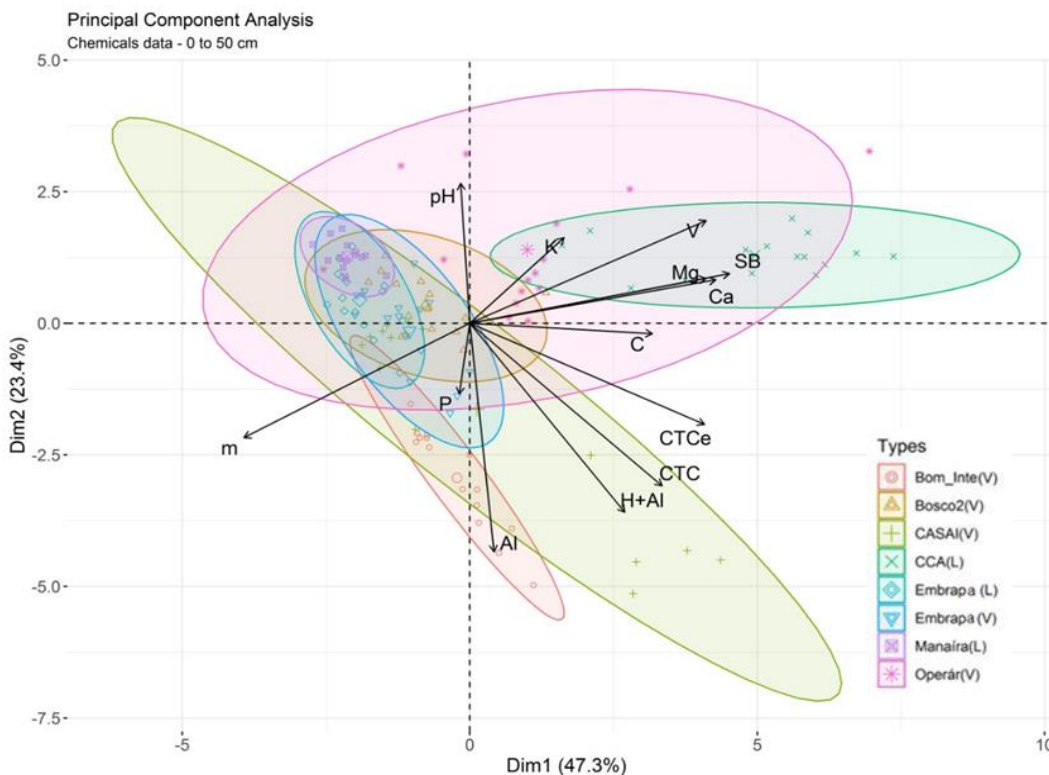


Figure 10. Principal component diagram showing the distribution of environments according to chemical attributes

4. Conclusions

The studies conducted for the observed environments concluded that the soils presented high acidity, low fertility, aluminum toxicity and high levels of organic carbon. The phosphorus contents of the environments of riparians were higher than those found in naturally oligotrophic soils, evidencing the effects of anthropic agricultural activities and urban expansion. In this sense, we consider that the Amazonian ecosystems of lakes and riparians have peculiarities, because they are critical areas for carbon conservation in the Amazonian soil, extrapolating their intrinsic value to the importance of biodiversity, which reinforces the need for control

mechanisms in the preservation of these environments.

References

- Almeida, I. R. S. (2016). *Composição e estrutura trófica das assembleias de peixes em veredas de buritizais, no período de seca, no lavrado de Roraima, Brasil* (Master's thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Estadual de Roraima, Manaus/Boa Vista, Brazil). Retrieved from http://bdtd.inpa.gov.br/bitstream/tede/2144/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20IRSA_GMS_JZ.pdf
- Andriessse, J. P. (1988). Nature and management of tropical peat soils. *FAO Soils Bulletin*, 59. Rome, FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/x5872e/x5872e00.htm>
- Araújo, W. F., Andrade Júnior, A. S., Medeiros, R. D., & Sampaio, R. A. (2001). Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5(3), 563-567. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000300032>
- Barbosa, R. I., & Miranda, I. S. (2005). Diversidade de Savanas de Roraima. *Ação Ambiental*, 2, 19-23. Retrieved from <http://repositorio.inpa.gov.br/handle/123/5850>
- Barbosa, R. I., Campos, C., Pinto, F., & Fearnside, P. M. (2007). The “Lavrados” of Roraima: Biodiversity and Conservation of Brazil's Amazonia Savannas. *Functional Ecosystems and Communities*, 1, 29-41. Retrieved from <http://repositorio.inpa.gov.br/handle/123/5972>
- Bastos, L. A., & Ferreira, I. M. (2010). Composições fitofisionômicas do Bioma Cerrado: Estudo sobre o subsistema de vereda. *Espaço em Revista*, 12(1), 97-108, Retrieved from <https://www.revistas.ufg.br/espaco/article/view/17656/10487>
- Bedrock, C. N., Cheshire, M. V., Chudek, J. A., Fraser, A. R., Goodman, B. A. & Shand, C. A. (1995). Effect of pH on precipitation of humic acid from peat and mineral soils on the distribution of phosphorus forms in humic and fulvic acid fractions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26(9), 9-10. <https://doi.org/10.1080/00103629509369381>
- Benedetti, U. G., Vale Júnior, J. F., Schaefer, C. E. G. R., Melo, V. F., & Uchôa, S. C. P. (2011). Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos pleistocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, norte amazônico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(2), 299-312. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200002>
- Bispo, D. F. A., Silva, A. C., Christoforo, C., Silva, M. L. N., Barbosa, M. S., Silva, B. P. C., & Barral, U. (2015). Characterization of headwaters peats of the rio Araçuí, Minas Gerais state, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(2), 475-489. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140337>
- Brannon, C. A., & Sommers, L. E. (1985). Stability and mineralization of organic phosphorus incorporated into model humic polymers. *Soil Biology and Biochemistry*, 17(2), 221-227. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(85\)90118-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(85)90118-X)
- Brazil. (1975). Folha NA.20. Boa Vista e partes da folha NA.21. Tumucumaque, NB.20 e NB.21 (Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra). *Projeto RandamBrasil*. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia.
- Brazil. (2012). Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Retrieved from http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm
- Brígida-Ferreira, S. R., Röpke, C. P., & Alves-Gomes, J. A. (2012). Ictiofauna da região da Serra da Lua (Roraima, Brasil) e importância dos ambientes aquáticos de ‘lavrado’ no interflúvio das bacias dos rios Negro, Essequibo e Orinoco. In F. C. Scarlato, R. A. O. Evangelista, & W. F. Araújo (Eds.), *Amazônia: Terra e Água, degradação e desenvolvimento sustentável* (pp. 187-208). Boa Vista, RR: Editora da UFRR.
- Carvalho, T. M., Carvalho, C. M., & Moraes, R. P. (2016). Fisiografia da paisagem e aspectos biogeomorfológicos do lavrado, Roraima, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 17(1), 93-107. <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i1.669>
- Cipriano-Silva, R., Valladares, G. S., Pereira, M. G., & Anjos, L. H. C. (2014). Caracterização de Organossolos em ambientes de várzea do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(1), 26-38. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100003>
- Cole, J. J., Prairie, Y. T., Caraco N. F., McDowell W. H., Tranvik, L. J., Striegl, R. G., ... Melack, J. (2007). Plumbing the global carbon cycle: Integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. *Ecosystems*, 10(1), 172-185. <https://doi.org/10.1007/s10021-006-9013-8>
- Dick, D. P., Novotny, E. H., Dieckow, J., & Bayer, C. (2009). Química da matéria orgânica do solo. In V. F. Melo, & L. R. F. Alleoni (Eds.), *Química e mineralogia do solo: Parte 2-Aplicações* (pp. 1-68). Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Driessen, P., Deckers, J., Spaargaren, O., & Nachtergaele, F. (2001). Lecture notes on the major soils of the world. *FAO World Soil Resources Reports 94*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-y1899e.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (1974). *Soil Map of the World* (Vol. 1). Paris,

UNESCO.

- Feitosa, K. K. A., Vale Júnior, J. F., Schaefer, C. E. G. R., Sousa, M. I. L., & Nascimento, P. P. R. R. (2016). Relações solo-vegetação em “ilhas” florestais e savanas adjacentes, no Nordeste de Roraima. *Ciência Florestal*, 26(1), 135-146. <https://doi.org/10.5902/1980509821098>
- Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., & Nogueira, D. A. (2018). *Package 'ExpDes.pt'*. Retrieved from <https://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes.pt/ExpDes.pt.pdf>
- Fonseca, J. S. (2017). *Caracterização e classificação de solos em uma litossequência arenito-gnaiss em Manicoré-AM* (Master's thesis, Federal University of Amazonas, Amazonas, Brazil). Retrieved from <http://ppgca.ufam.edu.br/attachments/article/283/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Julimar%20Fonseca.pdf>
- Furley, P. (2010). Tropical Savannas: Biomass, plant ecology, and the role of fire and soil on vegetation. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 34(4), 563-585. <https://doi.org/10.1177/030913310364934>
- Grozav, A., & Rogobete, G. H. (2012). Drainage of Histosols. *Research Journal of Agricultural Science*, 44(3), 49-54.
- Guimarães, A. J. M., Araújo, G. M., & Corrêa, G. F. (2002). Estrutura fitossociológica em área natural e antropizada de uma vereda em Uberlândia, MG. *Acta Botânica Brasílica*, 16(3), 317-329. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000300007>
- Inubushi, K., Cheng, W., Aonuma, S., Hoque, M. M., Kobayashi, K., Miura, S., ... Okada, M. (2003). Effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on CH₄ emission from a rice paddy field. *Global Change Biology*, 9(10), 1458-1464. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00665.x>
- Kassambara, A., & Mundt, F. (2017). *Factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Kelly, E. F., Chadwick, O. A., & Hilinski, T. E. (1998). The effect of plants on mineral weathering. *Biogeochemistry*, 42(1-2), 21-53. <https://doi.org/10.1023/A:1005919306687>
- Kirkkala, T., Ventelä, A. M., & Tarvainen, M. (2012). Long-term field-scale experiment on using lime filters in an agricultural catchment. *Journal of Environment Quality*, 41(2), 410-419. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0429>
- Lähteenoja, O., Ruokolainen, K., Schulman, L., & Oinonen, M. (2009). Amazonian peatlands: An ignored C sink and potential source. *Global Change Biology*, 15(9), 2311-2320. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01920.x>
- Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *Journal of statistical Software*, 25(1), 1-18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Ludang, Y., Jaya, A., & Inoue, T. (2007). Geohydrological conditions of the developed peatland in Central Kalimantan. *World Applied Sciences Journal*, 2(3), 198-203.
- Matos, F. S., Nunes, Y. R. F., Silva, M. A. P., & Oliveira, I. S. (2014). Variação biométrica de diásporos de buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.-Arecaceae) em veredas em diferentes estágios de conservação. *Ciência Florestal*, 24(4), 833-842. <https://doi.org/10.5902/1980509816583>
- Meneses, M. E. N. S., Costa, M. L., & Costa, J. A. V. (2007). Os lagos do lavrado de Boa Vista, Roraima: Fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(3), 478-489. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2007373478489>
- Miranda, I. S., & Absy, M. L. (1997). Flora fanerogâmica das savanas de Roraima. In R. I. Barbosa, E. J. G. Ferreira, & E. G. Castellón (Eds.), *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima* (pp. 445-462). Manaus, INPA.
- Morais, R. P., & Carvalho, T. M. (2015). Aspectos dinâmicos da paisagem do Lavrado, Nordeste de Roraima. *Revista de Geociências*, 34(1), 55-68.
- Neue, H. U., Gaunt, J. L., Wang, Z. P., Becker-Heidmann, P., & Quijano, C. (1997). Carbon in tropical wetlands. *Geoderma*, 79(1-4), 163-185. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00041-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00041-4)
- Novais, R. F., Smyth, T. J., & Nunes, F. N. (2007). Fósforo. In R. F. Novais, V. V. H. Alvarez, N. F. Barros, R. L. F. Fontes, R. B. Cantarutti, & J. C. L. Neves (Eds.), *Fertilidade do Solo* (pp. 471-537). Viçosa, Minas Gerais, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Page, S. E., Wüst, R. A. J., Weiss, D., Rieley, J. O., Shoty, W., & Limin, S. H. (2004). A record of Late Pleistocene and Holocene carbon accumulation and climate change from an equatorial peat bog (Kalimantan, Indonesia): Implications for past, present and future carbon dynamics. *Journal of Quaternary Science*, 19(7), 625-635. <https://doi.org/10.1002/jqs.884>
- Pereira, M. G., Ebeling, A. G., Valladares, G. S., Anjos, L. H. C., & Espíndula Júnior, A. (2006). Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos com elevado teor de matéria orgânica. *Bragantia*, 65(3), 487-493. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052006000300015>
- Pivello, V. R., & Coutinho, L. M. (1996). A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados. *Forest Ecology and Management*, 87(1-3), 127-138. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03829-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03829-7)
- R Core Team. (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria, R Foundation

- for Statistical Computing. Retrieved from <http://www.R-project.org>
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbrales, J. F., Coelho, M. R., & Almeida, J. A. (2013). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (3rd ed.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Silva, F. C. (2009). *Manual de métodos de análise de solo, plantas e fertilizantes* (2nd ed.). Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos.
- Soares, M. P., Reys, P., Pifano, D. S., Sá, J. L., Silva, P. O., Santos, T. M., & Silva, F. G. (2015) Relationship between edaphic factors and vegetation in savannas of the Brazilian midwest region. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(3), 821-829. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20130726>
- Sousa, R. F., Brasil, E. P. F., Figueiredo, C. C., & Leandro, W. M. (2015). Soil organic fractions in preserved and disturbed wetlands of the *Cerrado* biome. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(1), 222-231. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150048>
- Sousa, R. M. G., Miranda, L. N., & Oliveira, S. A. (2007). Acidez do Solo e sua Correção. In R. F. Novais, V. V. H. Alvarez, N. F. Barros, R. L. F. Fontes, R. B. Cantarutti, & J. C. L. Neves (Eds.), *Fertilidade do Solo* (pp. 203-274). Viçosa, Minas Gerais, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Stevenson, F. J. (1994). *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions* (2nd ed.). New York: Wiley.
- Vale Júnior, J. F., & Schaefer, C. E. G. R. (2010). Gênese e geografia dos solos sob savana. In J. F. Vale Júnior, & C. E. G. R. Schaefer (Eds.), *Solos sob Savanas de Roraima: Gênese, classificação e relações ambientais* (pp. 17-36). Boa Vista, Brasil: Gráfica Ioris.
- Valladares, G. S., Pereira, M. G., Anjos, L. H. C., & Ebeling, A. G. (2008). Caracterização de solos brasileiros com elevados teores de material orgânico. *Magistra*, 20(1), 95-104.
- Vidon, P., Allan, C., Burns, D., Duval, T. P., Gurwick, N., Inamdar, S., & Sebestyen, S. (2010). Hot spots and hot moments in riparian zones: Potential for improved water quality management. *Journal of the American Water Resource Association*, 46(2), 278-298. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00420.x>
- Winterdahl, M., Temnerud, J., Futter, M. N., Lögfren, S., Moldan, F., & Bishop, K. (2011). Riparian zone influence on stream water dissolved organic carbon concentrations at the Swedish integrated monitoring sites. *AMBIO*, 40(8), 920-930. <https://doi.org/10.1007/S13280-011-0199-4>
- Zinck, J. A. (2011). Tropical and subtropical peats: An overview. In J. A. Zinck, & O. Huber (Eds.), *Peatlands of the Western Guyana Highlands, Venezuela: Properties and Paleogeographic Significance of Peats* (Ecological Studies, V. 217). New York, NY: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20138-7>

CAPÍTULO 2

Caracterização da matéria orgânica de Solos de veredas e lagos da Savana de Roraima, Amazônia Setentrional, Brasil

RESUMO

A matéria orgânica do solo é a maior reserva superficial terrestre de carbono e pode ser usada como indicador de qualidade do solo de grande valor para os diferentes ecossistemas terrestres. Os ambientes de lagos e veredas de buriti da savana roraimense podem ser fontes ricas de MOS. O objetivo nesse trabalho foi determinar a matéria orgânica do solo, o carbono orgânico e estabelecer uma relação com a composição química do solo. As amostras de solos foram coletadas às margens de cinco veredas Casai, Operário, Bom Intento, Embrapa e Bosco, e de três lagos Manaíra, Embrapa e CCA, nas profundidades de 0-0,1 e 0,1-0,2 m e em cada ambiente foi coletado em três pontos equidistantes em 100 m perfazendo uma amostra composta. Os perfis de solos foram classificados e caracterizados, segundo métodos da EMBRAPA. A matéria orgânica do solo foi determinada por perda de massa por ignição, os teores de C foram determinados por analisador elementar (CHN) e foram extraídas e fracionadas as substâncias húmicas. Os solos foram caracterizados por RMN-¹³C. Pelos resultados verifica-se que os solos são ácidos e ricos em matéria orgânica, com os maiores teores presentes nos solos de veredas e as substâncias húmicas predominantes nestes ambientes foram a humina C-HUM, o lago CCA apresentou os menores teores dessa fração. Os dados de RMN-¹³C identificaram composição química dos solos diferente entre os ambientes, e o lago CCA destacou-se por apresentar matéria orgânica alifática, provavelmente em função de esses ambientes passarem a maior parte do ano alagado. Os solos em estudo constituem-se solos armazenadores de carbono.

Palavras-chave: Organossolo, Solos da Amazônia, Carbono orgânico, Substâncias húmicas.

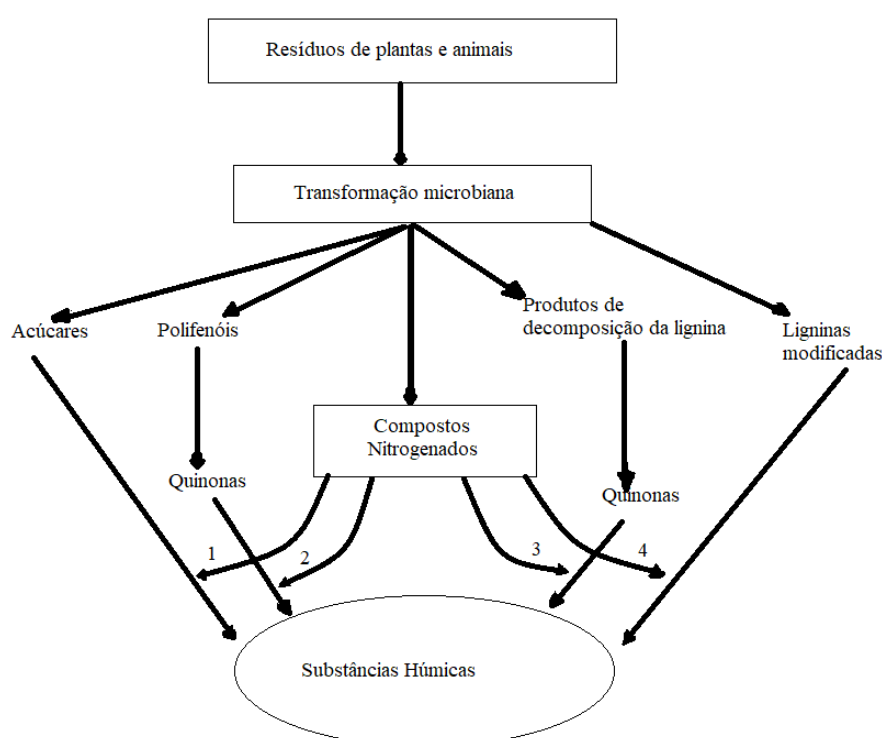
1. INTRODUÇÃO

A matéria orgânica de solo (MOS) é todo material orgânico, de origem animal ou vegetal, como a liteira, os fragmentos de resíduos parcialmente decompostos, a biomassa microbiana, os compostos orgânicos solúveis e a matéria orgânica estabilizada no solo (STEVENSON, 1994). A MOS é expressa em teor de C, é um dos constituintes sólido do solo (SILVA & MENDONÇA, 2007) que está relacionada à qualidade do solo, uma vez que atua

nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, e pode ser classificada em dois grupos: a MOS em estádios iniciais de decomposição, material com morfologia ainda identificada a olho nu, e MOS em fase avançada de decomposição, morfologia não mais identificada (STEVENSON, 1994). Nos solos ácidos como os de ecossistemas tropicais o carbono total é tido como carbono orgânico, uma vez que esses solos são pobres em carbonatos, fontes do carbono inorgânico.

Segundo Stevenson (1994), as substâncias húmicas (SH) têm origem e formação por pelo menos quatro vias principais durante a decomposição da matéria orgânica, conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Mecanismos de formação das substâncias húmicas



Fonte: Adaptado de STEVENSON, 1994; SILVA; MENDONÇA, 2007.

A MOS como indicador de qualidade do solo, em especial dos solos tropicais, deve-se ao teor de MOS ser muito sensível ao manejo, e segundo, ao fato que diversos atributos do solo estão diretamente relacionados ao teor de MOS, tais como: estabilidade de agregados e estrutura; infiltração e retenção de água; resistência à erosão; atividade biológica; capacidade de troca de cátions (CTC); disponibilidade de nutrientes para as plantas; lixiviação de nutrientes; e liberação de CO₂ e outros gases para atmosfera (SANTOS et al., 2008).

A matéria orgânica tem um função fundamental no solo, como um papel, e uma atenção significativa é dada à matéria mais estável, com as substâncias húmicas e materiais

NOVOTNY et al., 2007). Dentre as substâncias húmicas, a humina compreende 20% a 50% da matéria orgânica do solo (SOM) e é a sua fração mais recalcitrante (STEVENSON, 1994; RICE, 2001). Este material orgânico recalcitrante contribui para o reservatório de carbono estável nos solos e é importante para o orçamento global de carbono. Devido às dificuldades de isolamento e fracionamento, as composições e propriedades da humina têm sido menos extensivamente estudados que os dos ácidos húmicos, fração solúvel em base e precipitada em ácido, e ácidos fúlvicos, a fração que é solúvel em água a todos valores de pH (NOVOTNY et al. 2007).

O uso da técnica de ressonância magnética nuclear do carbono-13 (RMN-¹³C) tem sido utilizada para avaliar a matéria orgânica em diferentes solos, mediante a identificação dos grupos funcionais (SONG et al. 2009; ZBYTNIIEWSKI & BUSZEWSKI, 2005), facilitando a identificação de estruturas peculiar das frações húmicas, como composto aromáticos carboxilado fortemente policondensado (NOVOTNY et al. 2009).

Levando em consideração que o solo é um dos fatores ecológicos preponderante do limite fitogeográfico das savanas, conforme (FEITOSA et al., 2016; NERI et al. 2012; TOPPA, 2004). Em Roraima, a área de savana abrange 19,30% do Estado (MORAIS e CARVALHO, 2015) e são áreas de grande interesse para ocupação humana (BRASIL, 2012; BOA VISTA, 2016; SILVA et al., 2009). E 1% de sua cobertura original é constituída por corpos d'água, refúgios montanos e buritizal, características únicas que esses ecossistemas apresentam, contribuindo para a manutenção dos recursos hídricos, trânsito gênico de diferentes espécies animais e vegetais (BARBOSA et al., 2007; MENESES & COSTA, 2007).

Considerando que não há estudos sobre os solos de lagos e veredas de buritizais da savana roraimense, é primordial conhecer as características do solo desses ambientes, o que pode contribuir para compreender as características desse ecossistema, promover sua importância e preservação na paisagem local. Assim, objetivou-se neste trabalho determinar a matéria orgânica por PMI, os teores de carbono orgânico por análise elementar e a caracterizar a composição desses solos mediante a técnica de RMN-¹³C. Além de relacionar os atributos químicos às classes de solos dos ambientes estudados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMBIENTES DE ESTUDO

Os ambientes de estudo são áreas de preservação permanentes (APPs) que se situam

no município de Boa Vista, estado de Roraima, Brasil, Amazônia setentrional, posicionados entre as coordenadas geográficas 2° 39' 24" e 2° 56' 05" N e 60° 51' 01" e 60° 32' 25" W.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES DE ESTUDO

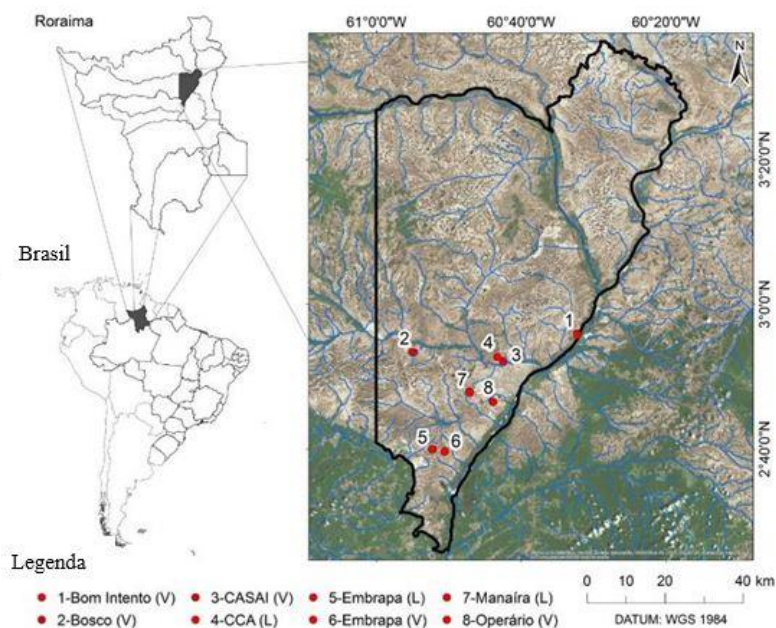
Os ambientes de estudo são constituídos por cinco veredas (1-Bom Intento, 2-Bosco, 3-Casai, 6-Embrapa e 8-Operário) e três lagos (4-CCA, 5-Embrapa e 7-Manaíra) (Figura 2), estão inseridos no domínio da formação Boa Vista, cujo relevo da região varia de plano a suave ondulado com altitude variando de 80 a 100 m, formando uma extensa superfície de aplainamento, elaborada durante longa fase climática seca no Pleistoceno inferior a médio inserida no Pediplano do Rio Branco-Rio Negro (MENESES et al., 2007).

O clima é tropical úmido (Aw), segundo o sistema de classificação de Köppen, com chuvas durante o verão (abril a setembro), com precipitação pluvial média anual em torno de 1700 mm, e no o período seco (outubro a março) apresenta precipitação em torno de 60 mm no mês mais seco, e temperatura média anual de 27,4 °C (ARAÚJO et al., 2001; ALVARES et al. 2014).

A vegetação dominante é do tipo savana, nas áreas de veredas, e gramíneas que ocupam parcialmente as margens dos lagos (BARBOSA & MIRANDA, 2005). No ambiente estudado, encontra-se vegetação de savana no entorno dos lagos, predominando as gramíneas e ciperáceas, entremeadas por vegetação arbustiva como o murici (*Byrsonima* ssp.), e, nos ambientes de veredas, com formações pioneiras, a espécie botânica característica é o buriti (*Mauritia flexuosa* L.) (BENEDETTI et al., 2011; MENESES et al., 2007; MIRANDA & ABSY, 1997).

Os solos são caracterizados como hidromórficos, uma vez que as veredas de buritis e lagos são ambientes saturados por água por um longo período do ano, com ocorrência de camada orgânica espessa (horizonte hístico), que os definem como Organossolo e Gleissolo (EMBRAPA, 2013), resultantes de acumulações elevadas de resíduos vegetais, com graus variáveis de decomposição (VALADARES, 2003).

Figura 2. Localização dos ambientes de estudo. Os pontos 1-Bom Intento (V), 2-Bosco (V), 3-Casai (V), 4-CCA (L), 5-Embrapa (L), 6-Embrapa (V), 7-Manaíra(L) e 8-Operário(V) foram coletados em ambiente de veredas (V) e de lagos (L).



Fonte: Imagem do Google Earth, trabalhada pelo Autor (2018).

2.3 COLETAS DAS AMOSTRAS DE SOLO

As amostras de solo foram coletadas nas profundidades 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m, em cinco veredas e três lagos, considerando as diferenças de feições ambientais dentro das áreas de estudos, com três repetições em cada ponto de coleta, distanciadas 100 m entre si. As amostras deformadas foram coletadas em canos de PVC (0,70 × 0,30 m), em função das condições de saturação por água não permitir abertura de trincheira a profundidade abaixo de 0,30 m. Após a eliminação das frações grosseiras de raízes, as amostras foram secas ao ar, destorroadas em peneiras de 2 mm e feita a caracterização.

2.4 ANÁLISES QUÍMICAS DOS SOLOS

Foram determinados o pH em água e em KCl 1 mol L⁻¹, além dos teores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, H+Al e P. Foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica do solo (CTC), a saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (EMBRAPA, 2009).

2.5 DETERMINAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA POR PERDA DE MASSA POR IGNIÇÃO (PMI)

A determinação da MOS foi avaliada mediante o método PMI a 600 °C de acordo com EMBRAPA (2013), conforme descrito as seguir: secagem prévia das amostras de solos em estufa a 105 °C, por um período de 24 h. Após esse período, os cadinhos de cerâmica, tarados com as amostras foram acondicionados em forno do tipo mufla e calcinados em uma temperatura de 600 °C, por 4 h. Posteriormente, o conjunto (cadinho+resíduos) foi acondicionado em dessecador e, em seguida, pesado. O teor de matéria orgânica foi determinado em razão da perda de massa do resíduo incinerado, considerando-se o material perdido pela queima no intervalo de variação da temperatura de 105 a 600 °C, conforme a fórmula: $MO (\%) = [(P_1 - P_2) / (P_1 - P_c) \times 100]$ em que P_1 = peso da amostra (g) depois de aquecida a 105 °C; P_2 = da amostra (g) depois de aquecida a 600 °C, e; P_c = tara do cadinho (g) (CARMO; SILVA, 2012; SILVA, TORRADO; ABREU JÚNIOR, 1999) .

2.6 DETERMINAÇÃO DO CARBONO POR COMBUSTÃO SECA (CHN)

O carbono orgânico total foi quantificado por combustão à seco num analisador elementar CHNS, modelo Perkin Elmer, PE-2400 Séries II do Departamento de Solos (DPS) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

2.7 FRACIONAMENTO QUÍMICO DAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

O fracionamento químico e a extração das substâncias húmicas foram realizadas mediante adaptação da técnica de solubilidade diferencial, e os conceitos de frações húmicas, estabelecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SWIFT, 1996; SONG et al., 2011). Após a extração dos AF e AH, a fração húmica foi extraída com solução de ureia mais NaOH (ureia 6mol L⁻¹ + NaOH 0,1 mol L⁻¹), com várias lavagem e centrifugação (3000g por 30 min.) sucessivas até o sobrenadante ficar claro (ALMEIDA et al., 2012; SONG et al., 2011). Sequência da marcha de extração ver apêndice A.

Após a extração, os teores de C nos extratos das frações húmicas (ácido húmico, ácido fúlvico e húmica) foram quantificados segundo Benites, Madari, Machado (2003). Foram calculadas as relações entre os teores de C das frações ácido húmico (C-FAH) e ácido fúlvico (C-FAF) expressa por (C-FAH/C-FAF) e a relação entre as frações solúveis do extrato

alcalino (EA) e o teor de C na fração humina (C/HUM) expressa por (C-EA/C-HUM), em que C-EA (C do extrato alcalino) é $C-EA=C-FAF+C-FAH$.

2.8 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR DO CARBONO - RMN ^{13}C

Foram obtidos espectros de RMN- ^{13}C no estado sólido com polarização cruzada e amplitude variável ou “Variable Amplitude Cross-Polarization” (VACP) e rotação segundo ângulo mágico ou “Magic Angle Spinning” (MAS), em um espectrômetro VARIAN modelo INOVA ($B_0=11,74$), operando a 125,7 MHz para o ^{13}C e 500 MHz para o 1H , pertencente ao Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas-CBPF. Utilizaram-se rotores de zircônia para amostras sólidas da marca Doty (5mm). A velocidade de rotação no ângulo mágico foi de 15 kHz. As condições de análise foram: tempo de contato 1 ms, tempo de espera de 500 ms e tempo de aquisição de 12,8 ms. As amostras foram analisadas em estágio natural sem nenhum processamento químico, apenas, maceradas e passadas em peneira de 0,250 mm. Os deslocamentos químicos foram expressos em ppm. Foram acumulados os transientes suficientes para obter-se uma razão sinal/ruído aceitável (maior do que 60) com isso a aquisição de cada espectro da matéria orgânica em VACP/MAS ocorreu em um período de 2 até 4 horas. Os espectros foram divididos em 7 regiões: 0 – 45 ppm (alifáticos não substituídos), 45 – 60 ppm (grupos metoxil e N-alifáticos), 60 – 110 ppm (O-alifáticos), 110 – 140 ppm (aromáticos), 140 – 160 ppm (O-aromáticos), 160 – 185 ppm (carboxílicos) e 185 – 230 ppm (carbonílicos).

2.9 ANÁLISE DOS DADOS

Os resultados foram comparados com base nas medidas de tendência central (média e mediana) e de dispersão (desvio padrão, quartis e amplitude de variação). Utilizou-se a Análise de Componente principal (PCA) para determinar a correlação entre os atributos químicos e os locais de coleta (lago e vereda), e entre ambientes. Em ambas as análises foram empregadas o software R 3.4 (R Core Team, 2017) conjuntamente foi usado os pacotes ExpDes.pt, factoextra, FactoMineR (FERREIRA et al., 2018; KASSAMBRA; MUNDT, 2016; LÊ & HUSSON, 2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS

Os solos das áreas de veredas e lagos são distróficos com elevada acidez, baixos teores de bases e altos teores de alumínio e com o complexo de troca dominado por $H+Al$, o que caracteriza os ambientes como fortemente oligotróficos (Tabela 1).

Os valores de pH em H_2O variaram entre 3,75 e 5,06, com variação tanto em profundidade quanto entre os ambientes, e com valores médios de 4,40. Os valores foram quase na sua maioria superiores aos de pH em KCl (variação de 3,55 a 4,69), com algumas camadas apresentando valores maiores do que pH em Água. Os maiores valores de pH foram registrados na Embrapa vereda (4,40 a 4,75), o que pode ser atribuído à qualidade da matéria orgânica e aos teores mais baixos de $H+Al$, o que representa uma matéria com menor desprotonação de H^+ . Segundo Dolman e Buol (1967) e Ebeling et al. (2008), o pH em Organossolos depende de fatores tais como Al hidrolisável, drenagem e ácidos orgânicos livres e, inclusive, do método de determinação. Valladares et al., (2008) afirmam que valores de pH em H_2O dos Organossolos brasileiros são baixos, com algumas exceções quando os solos estão associados a materiais calcários. Não obstante os elevados valores de Al^{3+} principalmente nos ambientes Casai e Bom Intento, observou-se que não há empecilho para o desenvolvimento de uma vegetação formada por ciperáceas, buriti, helicônias entre outras. Nessas condições, a matéria orgânica pode complexar o Al^{3+} em seus radicais carboxílicos e fenólicos, reduzindo o efeito de toxidez aos vegetais (CIPRIANO-SILVA, et al., 2014).

O teor de K^+ mais elevado foi observado no ambiente CCA apenas em superfície, o que pode decorrer da influência do tipo de vegetação, formada por aguapé. As demais áreas os valores foram baixos a muito baixos. Embora os materiais de solos orgânicos apresentem alta CTC, os teores de K^+ são considerados baixos a muito baixos, atribuindo-se à baixa capacidade de reter cátions monovalentes como K^+ já que se trata de ligações fracas (LUCAS, 1982). Os valores elevados de CTC são em virtude dos altos teores de MO (EBELING et al., 2008; COELHO et al., 2010; CAMPOS et al., 2014) e sua riqueza em grupos funcionais ionizáveis, principalmente ácidos carboxílicos, visto o pH ser ácido e os eventuais grupos fenólicos encontrar-se-iam protonados. Em contraste, os valores de SB e V são muito baixos, um reflexo da pobreza química do material parental do solo, que são sedimentos pré-intemperizados do holoceno. Os valores de P (Mehlich-1) são muito baixos na grande maioria dos ambientes, exceto o ambiente Bom Intento, cujos valores variaram entre de 28,45 $mg\ kg^{-1}$ na primeira camada com decréscimo gradual até 0,20 $mg\ kg^{-1}$, na última camada, com média de 8,31 $mg\ kg^{-1}$ e mediana 5,96 $mg\ kg^{-1}$.

Tabela 1- Caracterização química dos solos dos ambientes estudados lagos (L) e veredas (V) e as profundidades.

Perfil	Camada	pH (1:2,5)			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	CTCe	CTCt	V	m	P	
	(m)	Água	KCl	ΔpH	-----cmolc.kg ⁻¹ -----										---%---	mg kg ⁻¹
ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmicos térrico																
CCA (L)	0,0-0,1	4,74	4,06	-0,68	3,42	3,90	0,25	7,57	1,65	36,52	9,22	44,09	18	18	4,76	
	0,1-0,2	4,49	3,93	-0,56	3,62	2,95	0,10	6,67	1,53	32,51	8,20	39,18	17	19	0,20	
	0,2-0,3	4,44	3,99	-0,45	6,12	3,98	0,11	10,21	0,75	39,82	10,96	50,03	20	7	0,78	
	0,3-0,4	4,52	3,96	-0,56	5,32	3,10	0,09	8,51	0,83	33,83	6,34	39,34	14	13	0,40	
	0,4-0,5	4,42	3,93	-0,49	6,60	3,17	0,14	9,91	0,98	33,29	10,49	42,80	22	9	1,29	
	0,5-0,6	4,12	3,39	-0,73	3,42	3,90	0,01	7,33	1,65	36,52	8,98	43,85	17	18	0,20	
ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico térrico																
CASAÍ (V)	0,0-0,1	4,17	4,02	-0,15	1,08	0,95	0,12	2,15	5,67	40,43	7,82	42,58	5	72	0,56	
	0,1-0,2	4,21	4,02	-0,19	0,85	0,85	0,07	1,77	5,13	35,92	6,90	37,69	5	74	4,09	
	0,2-0,3	4,13	3,96	-0,17	1,13	1,07	0,04	2,24	5,10	36,27	7,34	38,51	6	69	1,53	
	0,3-0,4	4,14	4,00	-0,14	0,17	0,20	0,03	0,40	3,30	25,00	3,70	25,40	2	89	0,36	
	0,4-0,5	4,18	3,97	-0,21	1,93	1,90	0,03	3,86	6,72	48,92	10,58	52,78	7	64	0,20	
	0,5-0,6	4,14	3,96	-0,18	1,08	0,95	0,02	2,05	7,00	47,30	9,05	49,35	4	77	0,20	
	0,6-0,7	4,10	3,89	-0,21	0,1	0,15	0,02	0,27	7,30	46,00	7,57	46,27	0,5	96	0,20	
ORGANOSSOLO HÁPLICO Fibrício térrico																
Bom Int (V)	0,0-0,1	4,06	4,21	0,15	0,38	0,22	0,07	0,67	3,57	38,12	4,24	38,79	2	84	28,45	
	0,1-0,2	4,20	4,00	-0,2	0,28	0,22	0,04	0,54	5,63	44,44	6,17	44,98	1	91	10,38	
	0,2-0,3	4,16	3,95	-0,21	0,32	0,27	0,03	0,62	6,63	47,93	7,25	48,55	1	91	9,49	
	0,3-0,4	4,13	3,84	-0,29	0,32	0,48	0,03	0,83	7,95	47,00	8,78	47,83	2	91	5,96	
	0,4-0,5	4,21	3,92	-0,29	0,28	0,28	0,02	0,58	7,45	41,11	8,03	41,69	1	93	3,25	
	0,5-0,6	4,14	3,67	-0,47	0,35	0,4	0,02	0,77	7,60	39,00	8,37	39,77	2	91	0,47	
	0,6-0,7	3,75	3,55	-0,2	0,35	0,65	0,07	1,07	8,20	42,00	9,27	43,07	2	88	0,2	
ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico térrico																
Embrapa (V)	0,0-0,1	4,40	4,57	0,17	0,22	0,27	0,14	0,63	2,57	31,24	3,20	31,87	2	80	6,11	
	0,1-0,2	4,68	4,75	0,07	0,15	0,18	0,06	0,39	1,45	26,92	1,84	27,31	1	79	1,76	
	0,2-0,3	5,06	4,94	-0,12	0,08	0,18	0,03	0,29	0,50	23,62	0,79	23,91	1	63	0,27	
	0,3-0,4	4,75	4,64	-0,11	0,17	0,10	0,03	0,3	2,23	26,02	2,53	26,32	1	88	1,18	
	0,4-0,5	4,67	4,54	-0,13	0,13	0,13	0,02	0,28	2,82	25,74	3,10	26,02	1	91	1,07	
	0,5-0,6	4,43	4,44	0,01	0,22	0,27	0,03	0,52	2,50	25,80	3,02	26,32	2	83	0,14	
GLEISSOLO MELÂNICO Tb Distrófico organossólico																
Embrapa (L)	0,0-0,1	4,44	4,52	0,08	0,15	0,22	0,10	0,47	2,56	23,95	2,99	24,38	2	86	2,16	
	0,1-0,2	4,55	4,56	0,01	0,15	0,10	0,04	0,29	1,48	20,82	1,77	21,11	1	84	1,18	
	0,2-0,3	4,50	4,59	0,09	0,12	0,07	0,03	0,22	1,77	17,66	1,99	17,88	1	89	2,07	
	0,3-0,4	4,68	4,58	-0,1	0,10	0,08	0,02	0,2	1,50	13,56	1,70	13,76	1	88	4,04	
	0,4-0,5	4,58	4,55	-0,03	0,18	0,15	0,04	0,37	1,55	18,56	1,90	18,91	2	82	6,67	
	0,5-0,6	4,49	4,54	0,05	0,15	0,05	0,02	0,22	0,45	18,30	0,67	18,52	67	67	2,00	
	0,6-0,7	4,53	4,52	-0,01	0,15	0,1	0,02	0,27	1,00	17,50	1,27	17,77	79	79	0,80	
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico																
Manaíra (L)	0,0-0,1	4,46	4,31	-0,15	0,15	0,30	0,10	0,55	1,92	15,15	2,47	15,70	3	78	1,10	
	0,1-0,2	4,69	4,23	-0,46	0,12	0,10	0,07	0,29	1,60	12,27	1,84	12,51	2	87	0,44	
	0,2-0,3	4,58	4,35	-0,23	0,18	0,12	0,05	0,35	1,48	11,00	1,79	11,31	3	83	0,29	
	0,3-0,4	4,61	4,38	-0,23	0,13	0,17	0,04	0,34	1,25	9,51	1,55	9,81	3	80	0,93	
	0,4-0,5	4,57	4,40	-0,17	0,12	0,08	0,04	0,24	0,65	6,79	0,89	7,03	3	73	2,27	
	0,5-0,6	4,77	4,39	-0,38	0,15	0,1	0,04	0,29	0,45	6,20	0,74	6,49	4	61	0,20	
ORGANOSSOLO HÁPLICO Fibrício térrico																
Operário (V)	0,0-0,1	4,46	4,34	-0,12	2,15	1,18	0,31	3,64	1,35	27,47	4,99	31,11	12	27	11,33	
	0,1-0,2	4,62	4,25	-0,37	1,62	0,88	0,18	2,68	2,38	34,21	5,06	36,89	7	47	1,00	
	0,2-0,3	4,54	4,33	-0,21	1,72	1,18	0,17	3,07	1,75	31,10	4,82	34,17	9	36	0,60	
	0,3-0,4	4,82	4,31	-0,51	1,42	4,25	0,16	5,83	1,42	22,36	7,25	28,19	21	20	0,60	
	0,4-0,5	4,81	4,46	-0,35	0,55	0,45	0,13	1,13	0,63	9,98	1,99	11,34	12	32	0,60	
	0,5-0,6	4,67	4,49	-0,18	0,15	0,1	0,08	0,33	0,45	9,95	0,78	10,28	58	3	0,20	
ORGANOSSOLO HÁPLICO Fibrício térrico																
Bosco (V)	0,0-0,1	4,15	4,21	0,06	0,48	0,77	0,35	1,60	2,82	28,11	4,33	29,62	5	65	3,20	
	0,1-0,2	4,31	4,29	-0,02	0,55	0,17	0,28	1,00	2,55	29,62	3,41	30,48	3	75	2,07	
	0,2-0,3	4,54	4,34	-0,2	0,28	0,15	0,24	0,67	2,42	28,11	3,04	28,73	2	80	0,73	
	0,3-0,4	4,45	4,35	-0,1	0,27	0,22	0,12	0,61	1,85	20,54	2,27	20,96	2	82	0,22	
	0,4-0,5	4,48	4,35	-0,13	0,23	0,15	0,12	0,50	1,87	21,56	2,31	22,00	2	81	0,29	
	0,5-0,6	4,49	4,32	-0,17	0,25	0,05	0,05	0,35	1,55	20,50	1,9	20,85	2	81	0,10	
	0,6-0,7	4,42	4,30	-0,12	0,15	0,15	0,10	0,40	1,30	19,70	1,7	20,1	2	76	0,10	

pH: potencial hidrogeniônico; KCl: cloreto de potássio; ΔpH; variação de pH (ΔpH=pH em KCl – pH em água); Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: Potássio; SB: soma de base; Al: alumínio; H + Al: acidez potencial; CTCe: capacidade de troca de cátions efetiva; CTCt: capacidade de troca de cátions total; V: saturação por base; m; saturação por alumínio, e P: fósforo disponível.

3.2 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO POR PERDA DE MASSA POR IGNIÇÃO (PMI) E COMBUSTÃO SECA (CHN)

Os teores de MOS e carbono orgânico total (COT) para os diferentes ambientes, determinados pelos métodos da mufla e analisador elementar CHN, respectivamente, apresentados nas Figuras 3 e 4. Os teores de MOS apresentaram maiores variações entre os ambientes de lagos (teores de 3 a 58%), com maiores valores no lago CCA. Os ambientes de veredas apresentaram valores mais uniformes, variando de 12 a 45%, o que refletem a diversidade dos ambientes, devido à vegetação, fonte de matéria orgânica, grau de hidromorfismo. Considerando-se como referência o método da combustão seca, as amostras de resíduos orgânicos analisadas apresentaram ampla faixa de teores de COT - fato relevante para o estudo de métodos de determinação de C.

O teor de MOS foi maior nos ambientes de lago e apresentou maior concentração na camada superficial, resultado semelhante aos encontrados por Feitosa (2016). Esses ambientes apresentam condições de alagamento, praticamente durante todo o ano, o que lhes confere condição anaeróbia. Sob essa condição, a decomposição da MOS é mais lenta, visto que os microrganismos presentes nesses ambientes além de serem em menor quantidade, em relação a ambientes não alagados, têm seu efeito diminuído, visto a menor eficiência energética das reações redox em ambiente anaeróbico requerido para a decomposição da MOS (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

São valores relativamente altos e para os ambientes de veredas, possivelmente pode estar relacionado à presença de raízes e às condições do ambiente como um todo. Ambientes submetidos às condições de altas temperaturas, além de serem ambientes que passam em média três meses alagados.

3.3 FRAÇÕES HÚMICAS NOS ORGANOSSOLOS E GLEISSOLOS

A fração humina (C-HUM) predominou em todos os solos, com os maiores teores médios observados nos ambientes do lago CCA e na vereda Embrapa, com valores de 113,47 e 83,81 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 2). O predomínio da humina em ambientes hidromórficos é atribuído à humificação direta dos tecidos lignificados modificados por processos de desmetilação, além da presença de humina hereditária (DUCHAFOUR, 1977). A humina representa a fração mais heterogênea da matéria orgânica do solo, formada por compostos organominerais, carvão e componentes apolares (DICK et al., 1998). Os menores teores de C-HUM foram observados nos solos de lagos Manaíra e Embrapa, atribuído ao tipo

de solo, o tipo de vegetação dos ambientes e as constantes queimadas que ocorrem anualmente nos períodos de estiagem.

Tabela 2. Frações húmicas dos solos de lagos e veredas de buriti (*Mauritia flexuosa*) na savana de Roraima

Ambientes	Prof m	FUU	FAF	FAH	HUM	SOMA	Ctotal
g kg ⁻¹							
ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico térrico							
CCA (L)	0,0-0,1	17,20±1,27	19,69±2,32	46,62±13,02	88,59±33,05	172,10	197,3
	0,1-0,2	15,88±3,38	19,88±2,99	44,69±11,40	102,94±16,57	183,39	216,4
	0,2-0,3	16,67±1,21	20,26±2,68	47,72±12,40	113,47± 18,09	197,12	225,9
	0,3-0,4	19,42±5,45	16,79±4,44	50,75±18,65	111,80± 29,49	198,76	256,1
ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico térrico							
CASAI (V)	0,0-0,1	6,92±4,01	16,29±3,39	31,48± (6,16)	67,95± (2,03)	122,64	168,1
	0,1-0,2	5,73±2,04	13,14±0,66	24,37± (18,21)	72,37± (6,40)	115,61	158,1
	0,2-0,3	7,14±3,06	15,96±4,85	27,05± (3,71)	77,98± (0,71)	127,13	106,4
	0,3-0,4	5,03±2,73	13,39±1,69	26,30± (3,17)	67,70± (3,67)	111,42	112,6
ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbrico térrico							
Bom Intento (V)	0,0-0,1	8,70±3,66	14,50± 2,23	36,26± 11,01	56,92± 16,06	116,38	121,6
	0,1-0,2	10,19±3,07	13,42± 1,66	31,05± 12,21	60,81± 13,15	114,47	120,4
	0,2-0,3	8,85±2,33	14,47±1,44	30,64± 4,04	63,05± 16,00	116,01	134,9
	0,3-0,4	7,63±3,39	15,68± 2,82	29,59± 3,71	55,65± 12,06	107,55	113,7
ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico térrico							
Embrapa (V)	0,0-0,1	23,59±9,90	14,36± 1,46	38,96± 5,81	73,81± 12,55	150,72	168,1
	0,1-0,2	19,13±8,44	14,40± 0,79	33,82± 16,01	72,36± 10,11	139,71	158,1
	0,2-0,3	21,30±2,117	10,57± 0,12	20,27± 0,58	51,53±6,66	103,67	106,4
	0,3-0,4	17,09±3,60	14,40± (0,42	18,44± 0,56)	56,64±8,11	105,57	112,6
GLEISSOLO MELÂNICO Tb Distrófico organossólico							
Embrapa (L)	0,0-0,1	11,05±1,29	2,67± 1,45	10,51±8,01	38,66± 14,06	62,89	72,4
	0,1-0,2	10,51±71,54	7,02± 9,66	9,52±34,80	28,14±20,57	55,19	58,6
	0,2-0,3	7,29±0,59	1,80± 0,97	8,22±0,54	25,95± 15,60	43,26	45,9
	0,3-0,4	5,14±1,75	1,47± 0,46	7,74± 0,45	15,22± 3,88	29,57	32,0
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico							
Manaíra (L)	0,0-0,1	9,16±8,57	2,64± 1,45	5,02±2,36	18,62± 16,11	35,44	39,6
	0,1-0,2	5,59±2,86	1,72± 0,38	4,17± 1,45	16,22± 2,36	27,07	31,7
	0,2-0,3	4,98±1,44	1,24± 0,27	2,19± 1,53	14,98± 0,47	23,39	39,8
	0,3-0,4	3,09±2,24	0,88± 0,70	1,76± 0,83	15,01± 0,79	20,74	26,5
ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbrico térrico							
Operário (V)	0,0-0,1	6,44±2,03	7,67± 0,48	19,64± 3,92	64,15± 7,94	97,90	117,8
	0,1-0,2	8,27±4,12	7,25± 0,28	19,51± 1,56	54,27± (20,62	89,30	103,6
	0,2-0,3	5,35±1,91	5,84± 0,95	19,33± 3,22	51,03± (9,46	81,79	99,2
	0,3-0,4	4,87±0,73	5,53± 0,64	19,17± 1,78	35,26± 9,10	64,83	74,4
ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbrico térrico							
Bosco (V)	0,0-0,1	4,75±2,07	7,01± 2,05	18,45± 3,29	48,95± 11,48	79,16	109,9
	0,1-0,2	4,69±2,65	6,99± 1,53	19,71± 1,28	53,70± 9,48	85,08	114,9
	0,2-0,3	4,95±2,15	6,68± 0,27	20,48± 0,87	37,38± 2,84	59,49	82,9
	0,3-0,4	6,35±3,56	5,76± 1,57	18,90± 1,46	27,49± 6,68	58,50	80,2

L: lago; V: vereda; FUU: fração do extrato ureia + hidróxido de sódio; FAF: ácido fúlvico; FAH: ácido húmico; HUM: humina; Ctotal: carbono orgânico total

Os ambientes das veredas Embrapa e Bom Intento apresentaram os maiores valores médios de ácido húmicos e uma distribuição mais equilibrada entre as três frações (C-AF, C-AH e C-HUM) que indicam a presença de uma matéria orgânica mais reativa, conforme pode-se observar nos espectros de RMN (Figura 6).

Figura 3 – Gráfico da MOS obtida por PMI: (a) Comparação da MOS entre os ambientes de lagos e veredas, (b) comparação de MOS entre os lagos e (c) comparação de MOS entre as veredas.

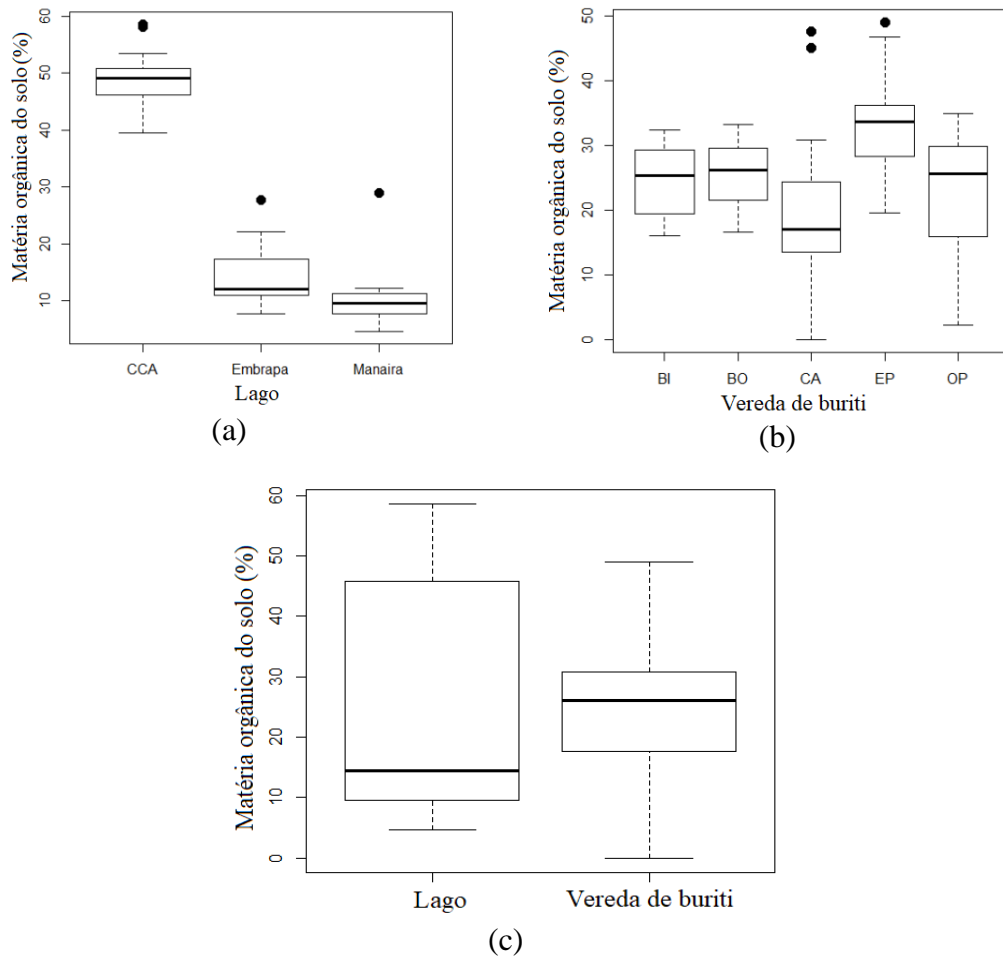
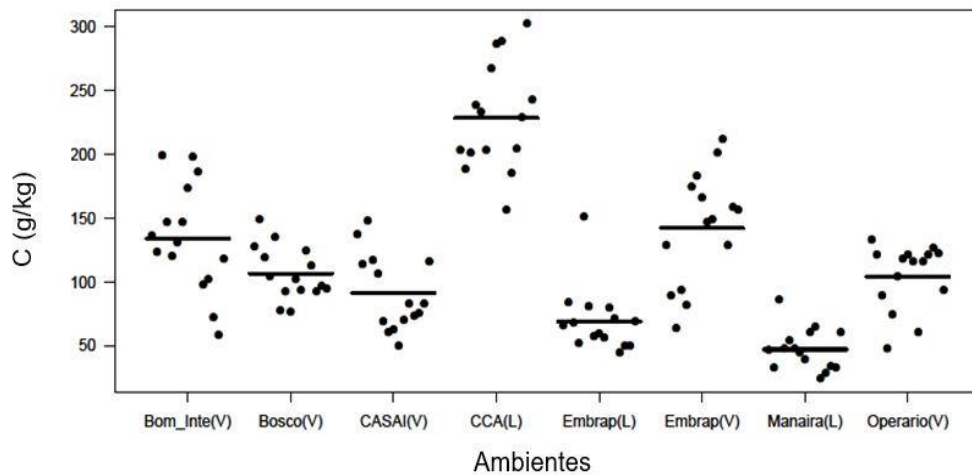
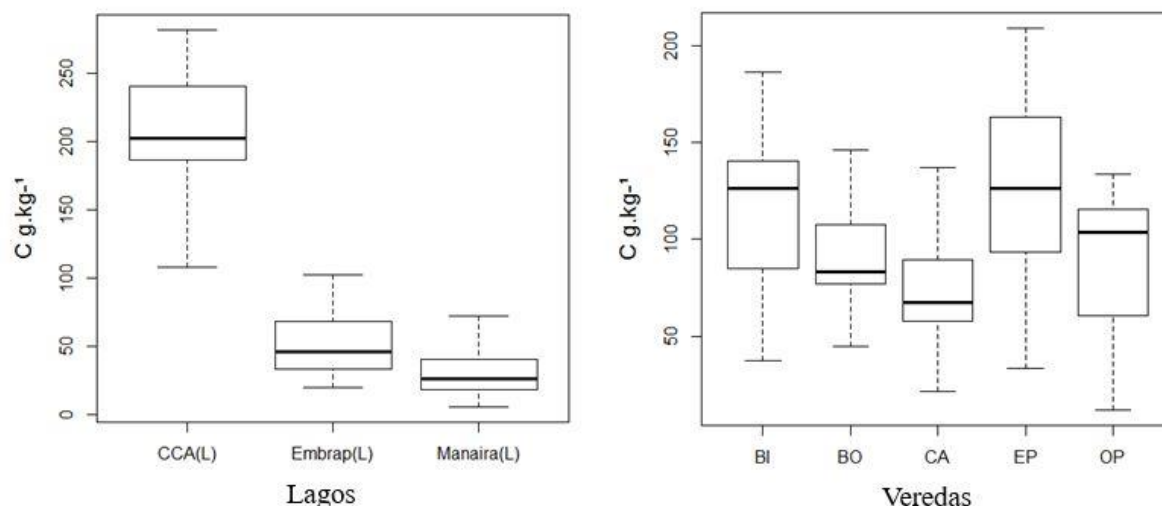


Figura 4 – Teor de Carbono (g kg^{-1}) nas profundidades 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m nos diferentes ambientes/ locais de coleta



V: vereda; L: lago; C: carbono orgânico total (Colocar em Português: Ambientes/loais de coleta)

Figura 5 – Distribuição de conteúdo de carbono entre os ambientes e lagos e veredas



Os menores valores médios de C-AF foram obtidos nos lagos Manaíra e Embrapa, o que estão diretamente relacionados aos menores teores de C Total, com decaimento em todas as frações em relação aos Organossolos. Esses resultados são semelhantes aos observados por Fontana et al. (2008) na pesquisa sobre Organossolos em diferentes regiões do Brasil, encontrando valores muito próximos para os coeficientes de variação para C-HUM, e para valores mínimos e máximos. Em ambos os estudos, os resultados demonstram que também nos Organossolos o C-HUM é predominante, sendo o principal responsável pelo sequestro de C em solos. O C-FAF correspondeu a valores entre 3,32% a 12,71% do C total, mostrando que a maior parte da MOS encontra-se mais transformada, com predomínio das frações mais recalcitrantes (FAH e HUM), em função da maior presença de grupamentos aromáticos e de anéis benzênicos, do maior grau de polimerização e da menor suscetibilidade ao ataque microbiano (STVENSON, 1994).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLO POR RMN-13C

A matéria orgânica existente de solo estudada em amostras naturais apresenta-se como um sistema complexo de várias substâncias de diversas naturezas e por uma transformação contínua, sob a ação de fatores físicos, químicos e biológicos.

Os espectros de RMN ^{13}C dos solos dos ambientes de veredas e lagos nas profundidades 0,0 – 0,10 e 0,10 - 0,20 m apresentados na Figura 6, apresentaram deslocamento químico entre -30 e 210 ppm. Os comportamentos espectrais das amostras variaram entre os ambientes e entre as profundidades, o que indica ocorrência de substâncias húmicas com composição bastante diferenciada em termos de estrutura e resistência à degradação.

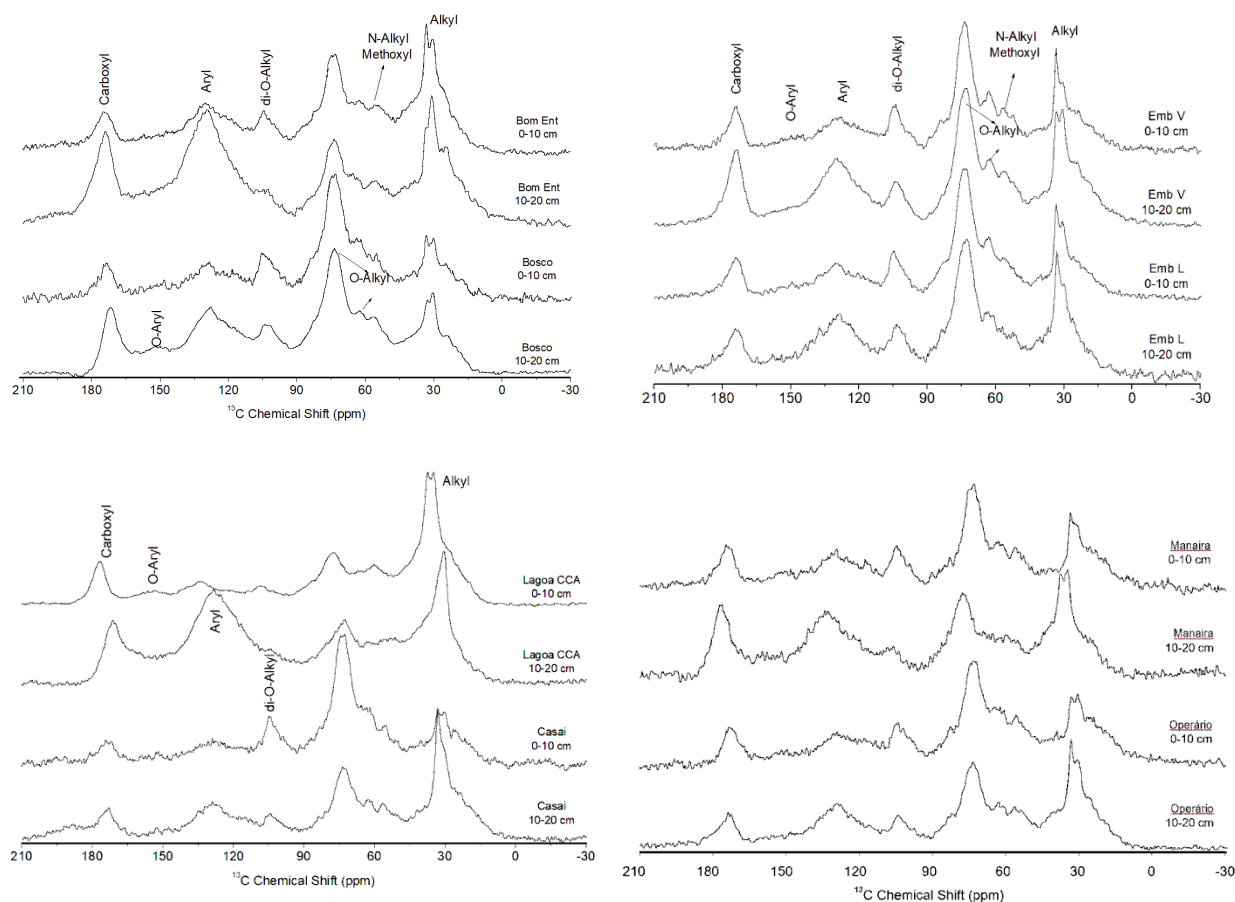
Na região dos espectros de 0 - 45 ppm, as amostras de MO apresentam picos em 30 ppm, característicos de C-Alquil (carbono metila e carbono metileno) em todas as amostras.

Na região dos espectros 45 – 60 ppm é caracterizada por um pico de baixa intensidade a 55 ppm, típicos de ésteres e éteres alifáticos (metoxílicos) e N-alifáticos. Na região dos espectros de 60 – 110 ppm apresenta um pico em 75 ppm, característico de C alifáticos ligados a grupos éter e de anéis de polissacarídeos, e um pico em 104 ppm, atribuído a C ligado a dois átomos de oxigênio e a C anomérico em polissacarídeos.

Na região dos espectros característica de C aromáticos de 110 – 140 ppm, as amostras apresentam um pico em 128 ppm, atribuído a C aromáticos não substituídos ou alquil substituídos. Na região dos espectros de 140 – 160 ppm, as amostras apresentam um pico duplo em 148 e 152 ppm, referente a C fenólicos ou O-aromáticos, podendo ter também contribuições de C aromáticos contendo nitrogênio ou grupos éter.

Na região dos espectros de 160 – 185 ppm, é possível observar um pico de alta intensidade, centrado em 172 ppm, atribuído a C de grupos carboxílicos.

Figura 6 - Espectro de RMN ^{13}C de solos sob Savanas de Boa Vista-RR, em ambientes de Veredas e Lagos na profundidade de 0,0 - 0,10 e 0,10– 20 m



Analisando-se os picos em função das áreas, observa-se que os picos mais intensos foram obtidos para as amostras de solo coletadas em áreas de veredas como Bosco, Embrapa e Bom Intento. Os espectros com picos de menor intensidade foram obtidos na área de lagoa do CCA, na camada de 0,0 – 0,10 m, onde podemos identificar com mais expressão substâncias húmicas como ácidos graxos, aminoácidos peptídeos e proteínas que representam uma da matéria orgânica facilmente degradação microbiana é caracterizada pela perda rápida dos compostos orgânicos menos recalcitrantes, como açúcares, aminoácidos, proteínas, amido e celulose, onde as bactérias são especialmente ativas (STEVENSON, 1994).

O espectro da vereda Embrapa apresenta concentração maior de radicais alifáticos, com menor concentração de radicais aromáticos, ao contrário da vereda Bosco e Bom Intento. Estas diferenças podem ser atribuídas à ocorrência de queimadas constantes nas veredas Bosco e Bom intento, enquanto a lagoa do CCA e a vereda da Embrapa são mais preservadas do fogo. Estes resultados corroboram com os dados apresentados por Santos et al. (2008). Vale destacar que as informações oriundas dos espectros de RMN ¹³C auxiliam na proposição de mecanismos de reações dos compostos presentes nos tipos de solos o que pode contribuir para o aprofundamento da compreensão das reações da MOS (SILVA; MENDONÇA, 2007).

De acordo com Cunha (2005), quando se tem estruturas de ligninas, os carbonos substituídos fenólicos e metóxidos possuem reflexos entre 145-150 ppm, os carbonos aromáticos aparecem em torno a 135 ppm, e os carbono não substituídos próximos a 120 ppm. Skjemstad et al., (1997) afirmam que os deslocamentos químicos de carbonos aromáticos dependem muito do grau, da delocalização e do tipo de substituição no anel. Na região de C-carbonílico, apesar de frequentemente aparecer um reflexo agudo, proveniente da combinação de grupos carboxilas, ésteres e amidas. Esses grupos não são facilmente distinguidos um do outro, porém em solos e materiais de plantas, os grupos amidas contribuem mais para o aparecimento deste reflexo. Uma pequena e larga banda próxima a 200 ppm pode ser observada podendo ser atribuída a aldeídos, cetonas ou quinonas. De forma geral, pode-se falar que todos os espectros apresentam as bandas de atribuições dos grupos alifáticos entre 0-45 ppm com diferentes intensidades. No solo do Lago do CCA, para a camada 0-0,1 m, sinal apresentam ombros em torno a 35 ppm, aparecendo para a camada 10-20 cm, só um sinal a 28 ppm. Para o ambiente Casai, não aparece uma banda bem definida para grupos alifáticos na camada 0-10 cm, mais para a camada 10-20 cm, aparece um único sinal em torno a 30 ppm. Por outro lado, a área Bom Intento aparece os sinais em torno de 30 ppm para a camada 0-10 cm com ombro e de menor deslocamento químico e sem ombro para os carbonos alifáticos em torno a 28 ppm. Para a vereda Bosco, os sinais são de menor intensidade em relação as outras

áreas estudadas, mais para as duas camadas, aparecem para o mesmo deslocamento químico, entre 28-30 ppm, sendo o ombro menos definido para a camada 10-20 cm. As áreas Embrapa V e Embrapa L, as bandas devidas às atribuições do carbono alquílico apresentam praticamente a mesma intensidade, e para o caso da camada 10-20 cm da área Bem V, apresenta dois ombros.

No lago Manaíra, a banda devida aos átomos de carbono dos grupos alquilo, aparece sem ombros no deslocamento químico de 28 ppm, e com dois ombros e em torno a 30 ppm para a camada 10-20 cm. Por último, na área denominada Operário, as bandas aparecem entre 28-30 ppm, sendo para a camada 0-10 cm, os dois ombros quase iguais. Malcolm (1989), afirma que a abundância de estruturas tipos polissacarídeos na MOS em relação aproximada 1:3 entre a proporção de C-alquil e di-O-alquil confirma que grande parte das estruturas contendo CO-alquil, que são polissacarídeos. De acordo com Cunha (2005), essas atribuições de carbonos de cadeias alquílicas, podem ser atribuídas aos grupos metil terminal, grupos metilenos de anéis alifáticos e grupos metilenos em longas cadeias alquílicas de origem variada, como ácidos graxos, lipídios, cutina e outros biopolímeros alifáticos.

O sinal devido ao C-metoxílico, é um sinal de baixa intensidade encontrada em torno a 58 ppm. O referido sinal fica em superposição com o sinal N-C-alquílico que de acordo com Preston (1996), aparece entre 46-57 ppm, e são sinais devidos a incorporação de lignina e outros componentes semelhantes ao solo (CUNHA, 2005).

Todas as áreas estudadas apresentam um sinal entre 65-110 ppm atribuídos de acordo com Aguilar et al., (2012), as unidades monoméricas de cadeias de oligossacarídeos e polissacarídeos de tecidos de plantas, apresentando uma maior intensidade no caso das áreas Embrapa (V) e Embrapa (L), sendo de baixa intensidade no caso das áreas do lago CCA.

O sinal na região de 130 ppm é devido a presença de carbonos aromáticos e insaturados, sendo um sinal de intensidade baixa em todos os espectros, aquela que aparece em torno de 150 ppm devido a carbonos ligados a fenóis e outros anéis aromáticos substituídos com carbono, oxigênio e enxofre (XIALOLI et al., 2007).

Por último, para todos os espectros aparece um sinal de intensidade elevada em todos os espectros para o deslocamento em torno a 176 ppm, com a exceção da vereda Casai que apresenta uma intensidade baixa e com muito ruído. O sinal é devido a presença de elevados grupos funcionais carboxílicos, carbono amídico e éster de origem vegetal e microbiana.

4 CONCLUSÕES

Os solos dos lagos e veredas de buriti da Amazônia setentrional são solos ácidos e apresentaram teores elevados de MOS, sendo os ambientes de veredas com os maiores teores, portanto solos armazenadores de carbono e que contribuem para o ciclo global do C. Na avaliação das substâncias húmicas dos solos observou-se predominância da fração C-HUM nos ambientes de veredas.

As análises de RMN-¹³C permitem concluir que a matéria orgânica presente nos solos dos ambientes estudados apresentou composição variada uma vez que são identificados grupos funcionais diferentes intensidades. O lago CCA apresentou matéria orgânica de composição química de menor complexidade, isso pode ser atribuído a ausência do fogo, uma vez que esse ambiente fica alagado por maior período de tempo sob condições anóxicas. Podendo, também está relacionada aos tipos de vegetação que dá origem a matéria orgânica. Os ambientes com estruturas mais aromáticas foram as veredas Bosco e Manaíra pela presença constante de fogo.

Estudos complementares sobre as substâncias húmicas são necessários para maiores esclarecimentos sobre a dinâmica do carbono orgânico total C nos solos dos ambientes estudados.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, N.O.; OLIVARES, F.L.; NOVOTNY, E.H.; DOBBSS, L.B.; BALMORI, D.M.; SANTOS-JÚNIOR, L.G.; CHAGAS, J.G.; FAÇANHA, A.R.; CANELLAS, L.P. Bioactivity of humic acids isolated from vermicomposts at diferente maturation stages. **Plant and Soil**, v. 372, p.161-174, 2012.

ALMEIDA, H. C.; DICK, D. P.; BERTOTTO, F. L.; CHITARRA, G. S. Distribution of Chemical Compartments of Soil organic Matter and Stocks of a Cambisol From South Brazil As Affected by Pinus Afforestation. **Química Nova**, v. 35, n. 7, 2012, p. 1329-1335.

ALMEIDA, H. C.; DICK, D. P.; BERTOTTO, F. L.; CHITARRA, G. S. Distribution of Chemical Compartments of Soil Organic Matter and C Stocks of a Cambisol from South Brazil as Affected by Pinus Afforestation. **Química Nova**, v. 35, n. 7, p.1329-1335, 2012.

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, p.711-728, 2014.

ARAÚJO, W. F., ANDRADE JÚNIOR, A. S., MEDEIROS, R. D. e SAMPAIO, R. A. (2001). Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil.

Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 3, 563-567. <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000300032>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

BARBOSA, R. I.; MIRANDA, I. S. Diversidade de Savanas de Roraima. *Ação Ambiental*, n. 2, p. 19-23, 2005. Disponível em: <<http://repositorio.inpa.gov.br/handle/123/5850>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

BARBOSA, R. J.; CAMPOS, F. P.; FEARNSTIDE, P. M. The “Lavrado” of Roraima: Biodiversity and conservation of Brazil’s Amazonian savannas. *Functional Ecosystems and Communities*. v. 1, n. 1; 30-42, 2007.

BENEDETTI, U. G.; VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos pleistocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, norte amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n. 2, p. 299-312, 2011. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200002>>. Acesso em: 10 out. 2018.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O de A.; Extração e Fracionamento Quantitativo de Substâncias Húmicas do Solo: um procedimento Simplificado de Baixo Custo. **Comunicado Técnico 16**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, out, 2003.

BOA VISTA. Lei Complementar n. 924, de 28 de novembro de 2006. Dispõe sobre o Plano Diretor Estratégico e Participativo de Boa Vista e dá outras Providências. Disponível em:<http://www.boavista.rr.gov.br/site/arq/boavista_legislação_06022014123941.pdf. Acesso em 02 julho 2016.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 06 fev. 2018.

CAMPOS, J. R. R.; SILVA, A. C.; SILVA, E. B.; VIDAL-TORRADO, P. Extração e quantificação de alumínio trocável em Organossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 49, 207-14, 2014.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Métodos de Quantificação de Carbono e matéria Orgânica em Resíduos Orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.1211-1220, 2012.

CIPRIANO-SILVA, F.; VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M.G.; CUNHA DOS ANJOS, L.H. Caracterização de organossolos em ambientes de várzea do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.26-38, 2014.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P.; PEREZ, X. L. O.; MARTINS, V. M.; VÁSQUEZ, F. M.; Fracionamento do alumínio por técnicas de dissoluções seletivas em Espodossolos da Planície Costeira do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34,

p.1081-92, 2010:

CUNHA, T. J. F. **Ácidos húmicos de solos escuros da Amazônia: Terra Preta de Índio**. Tese de Doutorado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 118p. 2005.

DICK, D. P.; GOMES, J.; ROSINHA, P. B. Caracterização de substâncias húmicas extraídas de solos e de lodo orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 603-611, 1998.

DOLMAN, J. D.; BUOL, S. W. A study of organic soils (Histosols): In the tide water region of North Carolina. North Carolina Agricultural Experimental Station. **Technical Bulletin** n. 181. 47p. 1967.

DUCHAUFOR, P. H. **Pédologie, 1, Pédogenèse et Classification**. Masson, Paris, 1977. 477p.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. E.; VIDAL-PEREZ, D.; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. D. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**. v. 67, p. 429-39, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Rev. Ampl. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. Viçosa, UFV, 1994. 394 p.

FEITOSA, K. K. A.; VALE JÚNIOR, J. F.; SCAHAEFER, C. E. G. R.; SOUSA, M. I. L.; NASCIMENTO, P. P. R. R. Relações solo-vegetação em “ilhas” florestais e savanas adjacentes no nordeste de Roraima. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 26, n.1, p. 135-146, jan/mai. 2016.

FERREIRA, E. B., CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **Package ‘ExpDes. pt’**. 2018. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes.pt/ExpDes.pt.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

FONTANA, A.; BENITES, M. B.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Substâncias húmicas com suporte à classificação de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2073-2080, 2008.

KASSAMBRA, A.; MUNDT, F. **Factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses**. 2017. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

LÊ, S., JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. **Journal of statistical software**, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

LUCAS, R. E. **Organic soils (Histosols): Formation, distribution, physical and chemical properties and management for crop production**. East Lansing, Research Report, Farm. Science, Michigan State University, 1982. 80p. (Bulletin, 425)

MALCON, R. L. **Applications of soil state ^{13}C NMR spectroscopy studies of humic substances.** In: HAYES, M. H. B.; MACCARTHY, P.; MALCOLM, R. L.; SWIFT, R. S. Humic substances II in search of structure. Chichester, John Wiley & Sons, 1989, p. 340-372.

MENESES, M. E. N. S.; COSTA, M. L.; Caracterização mineralógica e química dos regolitos de uma área de transição savana-floresta em Roraima: uma análise da evolução da paisagem. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 3, 2007. p. 478-489.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/amazonia/mapa-cobertura-vegetal>>. Acesso em: 01 jun.2016.

MIRANDA, I. S.; ABSY, M. L. Flora fanerogâmica das savanas de Roraima. In: BARBOSA, R. I., FERREIRA, E. J. G., CASTELLÓN, E. G. (Eds.) **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima**, p. 445-462, 1997. Manaus, INPA.

MORAIS, R. P.; CARVALHO, T. M. Aspectos dinâmicos da paisagem do lavrado, nordeste de Roraima. **Geociências**, v. 34, n.1, 2015, p.55-68.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: UFLA, p. 625, 2006.

NERI, A. V. SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA, A. F.; SOUZA, A. L.; FERREIRA-JÚNIOR, W. G.; MEIRA-NETO, J. A. The influence of soils on the floristic composition and community structure of an area brazilian Cerrado vegetation. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 69, n. 1, p. 1-27, 2012.

NOVOTNY, E. H.; DEAZEVEDO E. R.; BONAGAMBA, T. J.; CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES.; V. D.; HAYES, M. H. B. Studies of the compositions of humic acids from Amazonian dark earth soils. **Environ. Sci. Technol.**, v.41, p.400–405, 2007.

NOVOTNY, E. H.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T.J.; AZEVEDO, E. R.; SOUZA, A. A.; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MAGRICH, A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon region for the utilisation of charcoal for soil amendment. **J. Braz. Chem. Soc.** v. 20, p.1003–1010, 2009.

PRESTON, C.M. Applications of NMR soil organic matter analysis: History and prospects. **Soil Science**, v. 161, p. 144-166, 1996.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

RICE, J. A. Humin. **Soil Sci.** v.166, p.848–857, 2001.

SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P. CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed., Porto Alegre: Metrópole, 636p. 2008.

SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C., OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R. & ALMEIDA, J. A. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2013.

SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; ABREU JÚNIOR, J. S. Métodos de Quantificação da Matéria Orgânica do Solo. **Revista Universidade de Alfenas**, v. 5, p. 21-26, 1999.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.) **Fertilidade do solo**. 2. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, P. R. F.; ALMEIDA, M. M.; ROCHA, R. A. A Segregação como conteúdo da nova morfologia urbana de Boa Vista-RR. **Acta Geográfica**, Boa Vista, n.6, p. 47-53, 2009.

SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P.; GOLCHIN, A.; OADES, J.M. **Characterization of soil organic matter by solid-state ¹³C NMR spectroscopy**. In: CADISCH, G.; GILLER, K.E. (Ed.). *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. London: CAB International, p.253-271, 1997.

SONG, G.; HAYES, M. H., NOVOTNY, E. H.; SIMPSON, A. J.; Isolation and Fractionation of soil humin using alkaline urea and a dimethylsulphoxide plus sulphuric acid. **Naturwissenschaften**. v.98, n.1., p. 7-13, 2011.

SONG, G.; NOVOTNY, E. H.; SIMPSON, A. J.; CLAPP, C. E.; HAYES, M. H. B. Sequential exhaustive extraction of a Mollisol soil, and characterizations of humic components, including humic, by soil solution state NMR. **European Journal Soil Science**. n. 59, p. 505-516, 2008.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, Composition and Reactions**. New York: Wiley & Sons, Inc. 2th Edition. 1994. 496 p.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization (chap 35). In: SPARKS, D.L et al. (Eds) **Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods**. Soil Sci. Soc. Am. Book Series: 5. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI, 1996. p. 1018-1020. Disponível em: <<http://humic-substances.org/isolation-of-ihss-soil-fulvic-and-humic-acids/>>. Acesso em: 07 jan 2016.

TOPPA, R. H. **Estrutura e diversidade florística das diferentes fisionomias de cerrado e suas correlações com o solo na Estação Ecológica de Jataí, Luís Antonio, SP**. 127p. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos. São Paulo, 2004.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G. Caracterização de solos brasileiros contendo elevados teores de material orgânico. **Magistra**, 20:95-104, 2008.

XIAOLI, C.; SHIMAOKA, T.; XIAOYAN, C.; QJANG, G.; YOUCAI, Z. Spectroscopic studies of the progress of humification processes in humic substances extracted from refuse in a landfill. **Chemosphere**, v. 69, p. 1446-1453, 2007.

ZBYTNIIEWSKI, R.; BUSZEWSKI, B. Characterization of natural organic matter (NOM) derived from sewage sludge compost. Part 1: chemical and spectroscopic properties. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 4, p. 471-478, 2005.

CAPÍTULO 3

Atividade enzimática, C, N e atributos químicos de solos de veredas e lagos das savanas do Norte Amazônico, Brasil

RESUMO

Na savana da Amazônia Setentrional destacam-se na sua paisagem os lagos e as veredas de buriti (*Mauritia flexuosa* L.), que pela sua importância na sustentabilidade ambiental são áreas de proteção ambiental. Os solos desses ecossistemas são solos hidromórficos e carentes de estudos que contribuam para sua compreensão e ações de monitoramento e conservação. Objetivou-se com esse estudo relacionar a atividade enzimática da urease e celulase, aos teores de C, N e outros atributos químicos dos solos de 3 lagos e 5 veredas da savana de Roraima, Amazônia Setentrional, Brasil. As amostras de solos foram coletadas nas camadas de 0 – 0,1 e 0,1 – 0,2 m. Foram determinados o carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), a relação C/N, as atividades enzimáticas da urease e celulase e associadas aos atributos químicos. Os valores das atividades da urease e celulase foram heterogêneos entre os ambientes, profundidades e as atividades antrópicas do entorno dos ambientes. As atividades da urease variaram de $134,15 \pm 3,72$ a $134,15 \pm 22,88$ $\text{mgNH}_4^+\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ e da celulase de $130,00 \pm 16,29$ a $316,89 \pm 85,14$ $\mu\text{gg}^{-1}\text{glicose.dwt}24\text{h}^{-1}$. O lago do CCA apresentou os maiores teores de COT e NT e os menores valores de C/N. Os solos dos lagos e veredas de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) são fonte de carbono.

Palavras-chave: Matéria orgânica de solo, Urease, Celulase, Solos hidromórficos, Alterações antropogênicas.

1 INTRODUÇÃO

As savanas são áreas com vegetação aberta e que abrigam espécies vegetais típicas, formadas por gramíneas, com presença esparsa de árvores de pequeno porte e arbustos (BARBOSA; MIRANDA, 2005). Eles ocupam um quinto da superfície da Terra, cobrem áreas extensas dos trópicos Americanos são de grande importância socioeconômica em relação ao uso da terra e biodiversidade (BAUDENA et al., 2015; SARMIENTO; MONASTERIO, 1975) e muito susceptíveis à ação antrópica, como atividades agrícolas e processo de urbanização, e fenômenos naturais como fogo e erosão (FURLEY, 2010; SOARES et al., 2015; ZINCK, 2011; STEVENSON, 1994).

As savanas de Roraima, bioma da Amazônia Setentrional, compõem a ecorregião das “Savanas das Guianas” (Ministério do Meio Ambiente [MMA], 2016) com características distintas do Cerrado brasileiro (ALMEIDA, 2016; BARBOSA; MIRANDA, 2005; BARBOSA, CAMPOS, PINTO; FEARNSSIDE, 2007; BASTOS; FERREIRA, 2010; CARVALHO, 2016). E ocupam uma área correspondente a 19.30% do Estado, recebem denominação local de “lavrado” (MORAIS; CARVALHO, 2015) e aproximadamente 1% dessa área é coberta por corpos d’água, refúgios montanos e veredas de buritis, com funções e características únicas, mantendo os recursos hídricos e o trânsito de diferentes espécies animais e vegetais (BARBOSA, CAMPOS, PINTO; FEARNSSIDE, 2007)

Entre os corpos d’água têm-se os lagos, ambientes lênticos, que devido ao acúmulo de águas de chuvas e do afloramento do lençol freático, formam sistemas de drenagem por onde a água escoar, originando as veredas de buriti (BRÍGLIA-FERREIRA, 2012; MENESES, COSTA e COSTA, 2007). Nas veredas predomina a vegetação de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) (ALENCAR-SILVA e MAILLARD, 2007), ambientes lóticos, além de plantas aquáticas, como ciperáceas e herbáceas e gramíneas terrestres baixas, acumulam grande quantidade de matéria orgânica (CARVALHO, 2009). As veredas de buriti podem ser distribuídas de forma linear (acompanhado os igarapés) ou agrupadas, associadas aos paleocanais (terraços) de rios (CARVALHO et al., 2016). Visando garantir a integridade e manutenção da sustentabilidade ambiental desses recursos naturais, esses ambientes foram declarados áreas de preservação permanente (APP) através da Lei 12.651 (BRASIL, 2012).

Os solos de veredas de buritizais são hidromórficos, naturalmente mal drenados, saturados por água permanentemente ou por um determinado período do ano, com horizontes de coloração acinzentada e amarelada, gleizado, e classificado como Gleissolos (EMBRAPA, 2013; VALLADARES et al., 2008). Considerando o acúmulo de resíduos vegetais, responsáveis pela elevação do teor de matéria orgânica, observa-se ainda nesses ambientes

solos com horizonte hístico de coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, característica da classe de Organossolos (MELO, VALE JÚNIOR e UCHÔA, 2010; LUDANG et al, 2007). A matéria orgânica do solo desses ambientes desempenha um importante papel na biogeoquímica e ecologia dos córregos, rios e lagos (WINTHERDAHL et al., 2011) e é parte integrante do ciclo global do C (LAHTEENOJA et al., 2009; DRIESSEN et al., 2001; KELLY et al., 1998) como vetor para transporte de C e N, entre outros nutrientes do ambiente terrestre para ambientes aquáticos e marinhos, seguidos por sedimentação e remineralização (COLE et al., 2007).

Organossolos estão associados a ambientes onde o acúmulo de resíduos orgânicos brutos é maior que a sua decomposição, padrão esse que pode ser observado em ambientes onde ocorrem condições anóxicas, provocadas pela saturação por água, baixas temperaturas, ou ainda onde a acidez ou concentração de sais são elevadas (FAO, 2018).

Os Organossolos são solos formados em função da cobertura vegetal e de condições hídricas, com acúmulo de resíduos orgânicos em diferentes estágios de decomposição (FAO, 2018) ricos em matéria orgânica (MOS) com teor acima de 80g por quilograma (EMBRAPA, 2013), são observado em ambientes onde ocorrem condições anóxicas, provocadas pela saturação por água, baixas temperaturas, ou ainda onde a acidez ou concentração de sais são elevadas (DRIESSEN, 2001; CIPRIANO-SILVA et al., 2014).

Os solos com horizontes orgânicos têm seus usos principalmente para o aproveitamento extrativista de produtos florestais ou pastejo. Entretanto, seu manejo com tecnologias e investimento de capital, pode tornar esses solos produtivos para lavouras de ciclo curto ou horticultura. Em razão de suas funções ecossistêmicas e custo ambiental resultante do aumento de perdas da matéria orgânica por mineralização e dos riscos de poluição dos recursos hídricos, além do fato de se tratar de um habitat único para muitas espécies de plantas e animais, são destinados à preservação (PEREIRA, CUNHA DOS ANJOS, VALLADARES, 2005).

Em função das condições hídricas, térmicas e da flora, a atividade dos microrganismos são afetadas em condições de solos orgânicos, que influenciam a direção e a natureza dos processos bioquímicos (BŁOŃSKA, 2010). A atividade enzimática no solo desempenha um papel importante na catalisação de reações indispensáveis nos processos de vida dos microrganismos do solo, na decomposição de resíduos orgânicos, na circulação de nutrientes e na formação de matéria orgânica e estrutura do solo (SINSABAUGH et al. 1994). Os solos de turfa são característicos de alta hidratação que pode reduzir a atividade enzimática em solos através da alteração do número de microrganismos e um aumento na concentração

de inibidores como Fe^{2+} (KANG; FREEMAN, 1999).

As atividades das enzimas do solo são consideradas por vários autores como indicadores de qualidade do solo, pois: (a) são uma medida da atividade microbiana do solo e, portanto, estão estritamente relacionados aos ciclos e transformações dos nutrientes; (b) apresentam resposta rápida às mudanças causadas por fatores naturais e fatores antropogênicos; c) são fáceis de medir (GIANFREDA et al., 2005; CENINI et al., 2016; AVELLANEDA-TORRES, MELGAREJO; NARVÁEZ-CUENCA, 2013; CORDEIRO, CORÁ E NAHAS, MEDEIROS et al., 2015; SHI, LU, XU; FU, 2016).

Além disso, vários estudos afirmam que a atividade enzimática pode ser usada como um indicador precoce do grau de degradação do solo natural uma vez que são mais sensíveis do que os atributos químicos e físicos (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; BALOTA et al. 2013; DORAN; ZEISS, 2000; SILVA et al, 2018; UTOBO et al., 2015; ZHANG et al., 2014;). As enzimas do solo são substâncias químicas do grupo das proteínas (CENCIANI et al, 2011), atuam nos processos de decomposição dos resíduos de plantas e animais, ciclagem dos elementos, formação da matéria orgânica do solo, estrutura do solo e biorremediação, desempenhando papel essencial na manutenção da fertilidade do solo (BRABCOVÁ, ŠTURSOVÁ; BALDRIAN, 2017). Assim é pertinente conhecer indicadores que mostrem o impacto das ações antrópicas que interferem no equilíbrio natural dos solos, causando mudanças no estoque dos elementos da MOS, como as perdas de C e N (SOUSA et al., 2015).

Entre as enzimas tem-se a celulase e a urease, sendo a celulase, responsável pela decomposição da celulose, considerada como uma das únicas fontes renováveis de carbono, que é a fonte de energia dos microrganismos (WANG et al., 2015; MERINO, GODOY; MATUS, 2016; MIELCNIZUK; BAYER, 2007) encontrada em grandes quantidades na forma de resíduos celulósicos, participando na formação da matéria orgânica e é importante no ciclo global do carbono (CORDEIRO; CORÁ; NAHAS, 2012). A urease é responsável por catalisar a hidrólise da ureia (composto orgânico) a CO_2 e NH_3 , assim a quantificação da atividade da urease indica o potencial do solo em converter nitrogênio orgânico em mineral, dando início ao processo de mineralização do nitrogênio (LI et al., 2013). Portanto, o conhecimento da atividade de enzimas como celulase e urease pode auxiliar na compreensão da ciclagem da MOS.

Este conjunto de premícias justificam a importância de estudar esses indicadores bioquímicos na dinâmica microbiologia e bioquímica dos solos (MENDES et al., 2015; BALOTA, 2013, VALLEJO et al., 2012), e a influência da atividade da urease no ciclo de N e do C (MEDEIROS et al. 2015).

Apesar da importância já reconhecida da atividade enzimática para o conhecimento da qualidade do solo, são inexistentes os estudos desses indicadores bioquímicos em solos com horizontes hísticos dos ambientes de lagos e veredas de buriti das savanas da Amazônia Setentrional do Brasil, as quais estão sob pressão antrópica pelas atividades agrícolas e urbanização, o que justifica a realização desse estudo, subsidiando políticas de monitoramento dessas áreas, caracterizadas como áreas de preservação permanentes (APP).

O objetivo nesse estudo foi relacionar a atividade enzimática da urease e celulase aos teores de C e N, além dos atributos químicos como pH, Al, H+Al, P, K, Ca, Mg e como também SB, CTC, m e V em solos, nas profundidades de 0,0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m, de lagos e veredas da savana de Roraima, Amazônia Setentrional, Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

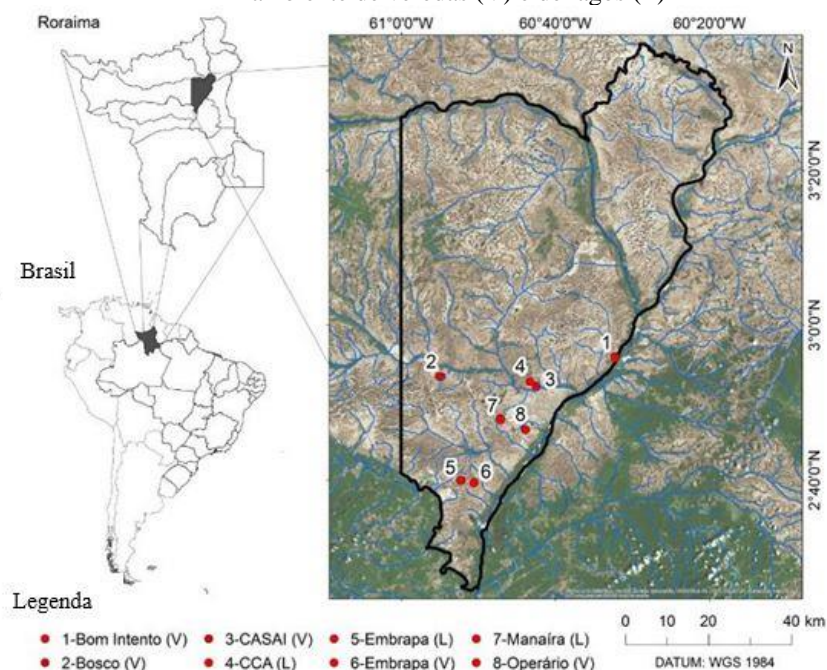
2.1 AMBIENTES DE ESTUDO

Os ambientes estudados são áreas de preservação permanente (APPs) e estão localizadas no município de Boa Vista, estado de Roraima, Brasil, zona setentrional da Amazônia, nas coordenadas geográficas: 2° 39' 24" e 2° 56' 05" N e 60° 51' 01" e 60° 32' 25" Oeste.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES DE ESTUDO

Os ambientes de estudo, constituídos por cinco veredas (1-Bom Intento, 2-Bosco, 3-Casai, 6-Embrapa e 8-Operário) e três lagos (4-CCA, 5-Embrapa e 7-Manaíra) (Figura 1), estão inseridos no domínio da formação Boa Vista, cujo relevo da região é plano a suave ondulada com altitude variando de 80 a 100 m, formando uma extensa superfície de aplainamento, elaborada durante longa fase climática seca no Pleistoceno inferior a médio (BRASIL, 1975) inserida no Pediplano do Rio Branco-Rio Negro (MENESE et al., 2007).

Figura 1. Localização dos ambientes de estudo. Os pontos 1-Bom Intento (V), 2-Bosco (V), 3-Casai (V), 4-CCA (L), 5-Embrapa (L), 6-Embrapa (V), 7-Manaíra(L) e 8-Operário(V) foram coletados em ambiente de veredas (V) e de lagos (L)



Fonte: Imagem do Google Earth, trabalhada pelo Autor (2018)

O clima é do tipo tropical úmido (Aw), segundo o sistema de classificação de Köppen, com chuvas durante o verão (abril a setembro), com precipitação pluvial média anual em torno de 1.700 mm, e no período seco (outubro a março) apresenta precipitação em torno de 60 mm no mês mais seco, e temperatura média anual de 27,4 °C (ARAÚJO et al., 2001; ALVARES et al, 2014).

A vegetação dominante é do tipo savana, nas áreas de veredas, e gramíneas que ocupam parcialmente as margens dos lagos (BARBOSA; MIRANDA, 2005). No ambiente estudado, encontra-se vegetação de savana nos lagos, predominando as gramíneas e ciperáceas, entremeadas por vegetação arbustiva como o murici (*Byrsonima* spp.), e, nos ambientes de veredas, com formações pioneiras, a espécie botânica característica é o buriti (*Mauritia flexuosa* L.) (BENEDETTI et al, 2011; MENESES et al., 2007; MIRANDA; ABSY, 1997).

Os solos são caracterizados como hidromórficos, uma vez que as veredas de buritis e lagos são ambientes saturados por água por um longo período do ano, com ocorrência de camada orgânica espessa (horizonte hístico), que os definem como Organossolo e Gleissolo (EMBRAPA, 2013), resultantes de acumulações elevadas de resíduos vegetais, com graus variáveis de decomposição (VALLADARES, 2008).

2.3 COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO

As amostras de solo foram coletadas nas profundidades 0,0-0,1, 0,1-0,2 m, em cinco veredas e três lagos, considerando as diferenças de feições ambientais dentro das áreas de estudos, com três repetições em cada ponto de coleta, distanciadas 100 m entre si. As amostras deformadas foram coletadas em canos de PVC ($0,70 \times 0,30$ m) em função das condições de saturação por água não permitir abertura de trincheira a profundidade abaixo de 0,30 m. Após a eliminação das frações grosseiras de raízes, as amostras foram secas ao ar, destorroadas em peneiras de 2 mm de *mesh*, e encaminhadas para a caracterização química (DONAGEMA et al., 2011).

2.4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

A caracterização química dos solos deu-se conforme (SILVA, 2009). O pH em água (1:2,5, v/v), P e K, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e H+Al. A acidez potencial (H+Al) foi determinada mediante extração com solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,0. Alumínio, cálcio e magnésio trocáveis foram extraídos com solução de KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$. O Al^{3+} foi quantificado por titulação ácido-base com solução $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ de NaOH. O Ca^{2+} e Mg^{2+} foram quantificados por titulação complexométrica com EDTA $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$. O P e o K disponíveis foram extraídos com solução duplo ácido (HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$), sendo o K determinado por fotometria de chama e o P por espectrofotometria molecular no UV-visível. A soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC), a saturação por base (V) e a saturação por alumínio (m) foram calculados a partir dos resultados obtidos. O carbono orgânico total (COT) e o nitrogênio foram quantificados por combustão a seco em Analisador Elementar Perkin Elmer Serie II 2400 do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

2.5 DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ENZIMÁTICA

A atividade enzimática foi estudada por meio das enzimas celulase e urease que estão relacionadas aos ciclos dos nutrientes carbono e nitrogênio, respectivamente. As análises foram determinadas em amostras de solos das camadas 0,0 - 0,1 m e 0,1 - 0,2 m; foram peneiradas (mesh 4 mm) e mantidas sob refrigeração de 4°C , em duplicatas.

A atividade da urease foi feita pelo método do salicilato de sódio e foi quantificada através da incubação de 0,5 g de solo em 0,25 ml de ureia por 1 hora 37°C. As leituras foram feitas no espectrofotômetro UV/VIS (660nm), e a atividade foi expressa em (mgNH⁴⁺kg⁻¹h⁻¹) (KANDELER; GERBER, 1988).

A atividade da celulase total foi feita segundo o método de Schinner e Von Mersi (ALEF; NANNIPIERI, 1990). O método é baseado na incubação de 5g de amostra de solo, usando o carboximetilcelulose de sódio como substrato, em seguida a quantidade de açúcar redutor é avaliada no espectrofotômetro no VIS (690 nm) e a atividade foi expressa em (μgg⁻¹glicose.dwt24h⁻¹).

2.6 ANÁLISE MULTIVARIADA

Os dados das análises químicas e das enzimas foram submetidos a análise estatística multivariada de análise de componente principal (PCA) para identificar os atributos que mais influenciam sobre as enzimas estudadas. Na PCA foi usado o pacote computacional R 3.4 (R Core Team, 2017) em conjunto com ExpDes.pt, factoextra, and FactoMineR packages (FERREIRA, CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2018; KASSAMBRA; MUNDT, 2017; LÊ, JOSSE, e HUSSON, 2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS

Os valores de pH em água variaram de 4,06 a 4,74, sendo que os ambientes Casai e Bom Intento apresentaram os menores valores (Tabela 1), no entanto são caracterizados como fortemente ácidos. O pH em KCl, que variou de 4,02 a 4,75 como menores valores nos ambientes Casai e Bom Intento. Valores maiores de pH em KCl foram obtidos nos ambientes vereda Embrapa e lago Embrapa, indicando um delta pH negativo. Os valores de pH em água e em KCl foram menores que os encontrados por Cipriano-Silva et al. (2014) estudando organossolo do nordeste do Brasil, o que indicam que o material de origem e a qualidade da matéria determinam as reações químicas desses solos. Os teores de Ca²⁺ variaram de 0,15 a 3,62 cmol_c kg⁻¹, com predominância de valores abaixo de 1,0 cmol_c kg⁻¹. Os teores de Mg²⁺ variaram de 0,10 a 3,90 cmol_c kg⁻¹, com grande maioria inferior a 0,50 cmol_c kg⁻¹. Os maiores valores de Ca e Mg no lago CCA pode estar relacionado como material de origem do solo, o qual está próxima da formação basáltica Apoteri.

Os valores de Al trocável variaram de 0,04 a 5,67 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, sendo que os maiores valores ocorreram na vereda CASAI. Os altos valores de H+Al, com exceção de Manaíra, Embrapa e CCA, podem explicar a acidez elevada encontrada nestes solos, cujo hidrogênio desprotonado das ligações com as substâncias húmicas exercem forte controle no pH do solo.

Os teores de fósforo (P) assimilável variaram de 0,56 até 28,45 mg.kg^{-1} , contudo, exceto a vereda bom intento (28,45 mg.kg^{-1}) e operário (11 mg.kg^{-1}), as demais áreas apresentaram valores muito baixos. Os teores de P elevados podem indicar a contribuição antrópica devido às atividades agrícolas realizadas próximas das veredas Bom Intento e Operário.

Os valores de CTC de todos os solos são considerados altos, embora exista baixa saturação por bases, atribuindo-se esses altos valores aos teores de H+Al. Isto indica fortemente dependência de pH, que se eleva devido à abundância de colóides hidrofílicos, em particular ácidos húmicos e hemiceluloses segundo (ANDRIESSE, 1988). A CTC aumenta porque a decomposição do material orgânico gera uma quantidade crescente de derivados de lignina ricos em locais de troca (WEIL; BRADY, 2016).

3.2 CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) E NITROGÊNIO TOTAL (N)

Os valores médios dos teores de COT e N dos solos Organossolos e Gleissolos, nos ambientes de lagos e veredas nas profundidades de 0,0 – 0,10 m (Tabela 2) variaram de 39,60 g kg^{-1} a 197,33 g kg^{-1} e de 2,10 g kg^{-1} a 18,60 g kg^{-1} respectivamente, enquanto que na camada de 10 – 20 cm variaram de 31,73 g kg^{-1} a 216,43 g kg^{-1} e de 2,10 g kg^{-1} a 18,60 g kg^{-1} . Os maiores valores de COT e NT foram obtidos no ambiente lago CCA, em ambas as profundidades, o que pode ser atribuído a forte ocorrência de plantas aquáticas durante o período em que o lago permanece com água. Quanta a relação C/N, os valores variaram entre 9,64 e 20,80, sendo que a maioria ficou abaixo de 15, indicando uma boa relação C/N. Valores mais de carbono foram obtidos Ebeling et al. (2011), cujos teores de COT, determinados por analisador elementar, variaram de 116,7 g kg^{-1} a 837,1 g kg^{-1} para solos hidromórficos (Organossolos) de diferentes regiões do Brasil. Sousa et al. (2015) encontraram os valores para C/N de solos hidromórficos de veredas do Cerrado, Goiás, variando de 15 a 77 g kg^{-1} entre as profundidades de 0,0-0,10 e 0,10 a 0,20 m. Estes resultados mostram a grande diversidade que pode existir entre os solos orgânicos, cuja qualidade e quantidade da matéria orgânica é dependente de matéria vegetal que origina, da produtividade biológica, das condições climáticas e edáficas (YOU et al., 2014).

Tabela 1- Atributos químicos dos solos em lagos e veredas de buriti (*Mauriti flexuosa*) da savana de Roraima

Ambiente	Profundidade (m)	pH		P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTCe	CTCt	V	m
		H ₂ O	KClmg kg ⁻¹cmol _c kg ⁻¹%.....								
Casai (V)	0,0-0,10	4,17	4,02	0,56	46,92	1,08	0,95	5,67	40,43	2,15	7,8	42,6	5	72
	0,10-0,20	4,21	4,02	4,09	27,37	0,85	0,85	5,13	35,92	1,77	6,9	37,7	5	74
Bom Intento (V)	0,0-0,10	4,06	4,21	28,45	27,37	0,38	0,22	3,57	38,12	0,67	4,2	38,8	2	84
	0,10-0,20	4,20	4,00	10,38	15,64	0,28	0,22	5,63	44,44	0,54	6,2	45,0	1	91
Embrapa (V)	0,0-0,10	4,40	4,57	6,11	54,74	0,22	0,27	2,57	31,24	0,63	3,2	31,9	2	80
	0,10-0,20	4,68	4,75	1,76	23,46	0,15	0,18	1,45	26,92	0,39	1,8	27,3	1	79
Operário (V)	0,0-0,10	4,46	4,34	11,33	121,21	2,15	1,18	1,35	27,47	3,64	5,0	31,1	12	27
	0,10-0,20	4,62	4,25	1,00	70,38	1,62	0,88	2,38	34,21	2,68	5,1	36,9	7	47
Bosco (V)	0,0-0,10	4,15	4,21	3,20	136,85	0,48	0,77	2,82	28,11	2,82	4,3	29,6	5	65
	0,10-0,20	4,31	4,29	2,07	109,48	0,55	0,17	2,55	29,62	2,55	3,4	30,5	3	75
Embrapa (L)	0,0-0,10	4,44	4,52	2,16	39,10	0,15	0,22	0,10	2,56	23,95	0,5	24,4	2	86
	0,10-0,20	4,55	4,56	1,18	15,64	0,15	0,10	0,04	1,48	20,82	0,3	21,1	1	84
Manáira (L)	0,0-0,10	4,46	4,31	1,10	39,10	0,15	0,30	0,10	1,92	15,15	0,5	15,7	3	78
	0,10-0,20	4,69	4,23	0,44	27,37	0,12	0,10	0,07	1,60	12,27	0,3	12,5	2	87
CCA (L)	0,0-0,10	4,74	4,06	4,76	97,75	3,42	3,90	0,25	1,65	36,52	7,6	44,1	18	18
	0,10-0,20	4,49	3,93	0,20	39,10	3,62	2,95	0,10	1,53	32,51	6,7	39,2	17	19

pH: potencial hidrogeniônico; KCl: cloreto de potássio; P: fósforo disponível; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: Potássio; .SB: soma de base; Al: alumínio; H + Al: acidez potencial; CTCe: capacidade de troca de cátions efetiva; CTCt: capacidade de troca de cátions total; V: saturação por base; m: saturação por alumínio.

Os teores de COT se mantiveram estáveis com a profundidade, sendo que as maiores variações ocorrem entre os ambientes, onde os ambientes Lago Manaíra e Lago Embrapa apresentaram os menores valores, em ambas profundidades. Estes baixos valores podem ser atribuídos à ocorrência de fogo durante a estação de seca, impedindo maiores acúmulos de matéria orgânica ao longo do tempo, além da baixa produtividade de biomassa vegetal que reduz a taxa de entrada de matéria orgânica no solo (MULVANEY et al., 2010). O rápido consumo do compartimento lábil da MOS e menor aporte de resíduo e ação do fogo tem contribuído para os baixos teores de carbono solo (KNICKER et al., 2008). Quanto ao lago CCA, o aumento do teor de COT com a profundidade pode estar relacionado ao fato de que esses ambientes alagados apresentam menores taxas nas reações de decomposição da matéria orgânica do solo expressos pelo COT, além de formar diversos compostos intermediários, o que altera a dinâmica da MOS (Nascimento et al., 2010), além do acúmulo de MOS devido a paludização. A variação no teor de COT está relacionada às condições ambientais dos e heterogeneidade das camadas de depósitos orgânicos, referente às diferenças da cobertura vegetal, clima, água e umidade, ao longo do tempo (EBELING et al., 2011).

Os teores de NT diminuíram com o aumento da profundidade o que indica uma matéria orgânica com maior ciclagem em superfície, com renovação do material adicionado, enquanto que em profundidades a matéria orgânica encontra-se mais humificada, com predomínio de estrutura mais recalcitrante, com maior permanência no solo. Os menores valores dos teores de N nos ambientes de veredas foram obtidos para a vereda Casai, um dos ambientes que sofre mais impacto das ações antrópicas. Enquanto que entre os lagos os menores teores de NT foram obtidos para o lago Manaíra que fica numa área que sofre grande pressão da expansão urbana, permeada por estrada clandestina com intenso trânsito de carros, motos e bicicletas. Os valores obtidos para COT e NT foram superiores aos valores obtidos por Sousa et al. (2015), no estudo sobre solos de veredas do bioma Cerrado, estado de Goiás, embora apresente a mesma dinâmica de perda de COT e NT com o aumento da profundidade.

Tabela 2: Valores médios de NT, COT e C/N para os cinco ambientes de veredas (V) e três de lagos (L) sob solo de savana de Roraima

Ambiente	Solo	COT		NT		C/N	
		(g kg ⁻¹)				m	
		0,0 – 0,10	0,10 – 0,20	0,0 – 0,10	0,10 – 0,20	0 – 10	10 – 20
Casai (V)	ORGANOSSOLO HÁPLICO sáprico térnico	96,24±35,78	79,06± 27,83	5,67±0,76	3,80±1,08	16,97	20,80
Bom Intento (V)	ORGANOSSOLO HÁPLICO fíbrico térnico	121,57±20,80	120,37± 22,31	9,13±1,86	6,20±1,21	13,31	19,41
Embrapa (V)	ORGANOSSOLO HÁPLICO sáprico térnico	168,10±36,63	158,10± 63,99	14,07±1,37	11,90±4,67	11,95	13,28
Operário (V)	ORGANOSSOLO HÁPLICO fíbrico térnico	117,83±14,92	116,57± 1,80	9,50±1,64	7,20±1,40	12,40	16,19
Bosco (V)	ORGANOSSOLO HÁPLICO fíbrico térnico	109,93±27,71	114±28,67	8,43±2,54	8,37±1,63	13,04	13,62
Embrapa (L)	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico organossólico	72,37±7,56	58,63±20,35	5,03±1,37	3,93±1,75	14,39	14,92
Manaíra (L)	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico	39,60±13,17	31,73± 8,68	2,20±0,95	2,10±0,56	18,0	15,11
CCA (L)	ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico térnico	197,33± 10,34	216,43±41,80	20,47±2,44	18,60±3,96	9,64	11,64

L: lago; V: vereda; COT: carbono orgânico total; NT: nitrogênio total; C/N: razão carbono e nitrogênio.

3.3 RELAÇÃO C/N

A relação C/N do solo permite avaliar a qualidade do solo indicando a mineralização líquida dos nutrientes, caso a C/N seja menor que 30 (SILVA; MENDONÇA, 2007). Os valores da relação de C/N obtidos neste trabalho (Tabela 2), de modo geral aumentaram com o aumento da profundidade, exceto para o lago Manaíra. A diminuição do C/N com o aumento da profundidade foi observada no estudo realizado por Sousa et al. (2015) que obtiveram valores de C/N variando entre 6,15 – 17,79.

Os maiores valores da relação C/N lago Manaíra e Vereda Casai, que apresentaram nas profundidades 0-0,1 m e 0,1-0,2 m, de 18,0 e 15,11; 16,97 e 20,80, respectivamente. Esse valor mais elevado de C/N são relativos à qualidade da matéria, mais humificada devido com matéria em estágios mais avançados de decomposição (SOUSA et al., 2015), implicando numa maior estabilidade desta matéria orgânica, com substâncias húmicas mais recalcitrante, funcionando assim como ambiente de sequestro de carbono, cujos microrganismos do solo que por sua vez consome o N, limitando o processo de mineralização e conseqüentemente as perdas de CO₂ para a atmosfera (SILVA; MENDONÇA, 2007). A diminuição da C/N reflete tanto na perda de carbono na forma de CO₂, quanto na perda de N na forma de N₂O em função da degradação da matéria orgânica pela atividade microbiana. A relação C/N na superfície do solo parece ser um bom preditor para as emissões de N₂O de Organossolos (KLEMEDTSSON, et al., 2010).

3.4 ATIVIDADES ENZIMÁTICAS: UREASE E CELULASE

Na Tabela 3 são apresentados os valores obtidos para a atividade das enzimas urease e celulase. De modo geral, não existe uma tendência específica pelo fato dos solos serem de lago ou vereda. Observa-se que os valores da atividade da urease diminuem com o aumento da profundidade; essa diminuição, conforme Balota (2013), pode estar relacionada à ausência de fontes de nitrogênio e oxigênio no solo. Maiores valores de urease foram observados na vereda Embrapa e lago CCA, o que condiz com os maiores valores de nitrogênio total, que pode estar relacionado com o tipo de material depositado e a qualidade desta matéria orgânica. Segundo Rice; Pancholy (1972), os quais observaram a influência do tipo e da quantidade do material orgânico incorporado ao solo na atividade de urease.

Tabela 3: Valores médios de atividade enzimática do solo (urease, e celulase) e desvio padrão em cinco ambientes de veredas (V) e três de lagos (L) da savana de Roraima

Ambiente	Urease		Celulase	
	(mgNH ⁴⁺ kg ⁻¹ h ⁻¹)		(μg.g ⁻¹ glicose.dwt24h ⁻¹)	
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,0-0,1	0,1-0,2
	-----m-----			
Casai (V)	41,63±4,52	38,23±2,73	261,87±11,13	305,87±0,21
Bom Intento (V)	19,23± 6,70	23,57± 0,35	238,35±68,81	281,75±34,00
Embrapa (V)	134,15± 22,88	105,89± 56,21	294,51±24,23	275,56±22,71
Operário (V)	34,68±3,72	45,97±24,40	294,96±52,38	305,50±30,26
Bosco (V)	78,69±38,51	63,91±35,51	295,44±25,93	312,267±56,67
Embrapa (L)	57,46±61,81	55,47±31,89	292,41±14,24	316,897±85,14
Manaíra (L)	70,24±17,61	60,63±2,95	253,75±1,45	289,50±41,79
CCA (L)	94,28± 38,92	129,01± 69,72	266,23±98,00	130,00±16,29

V: vereda; L: lagoa

A atividade da urease é de grande importância na mineralização da matéria orgânica do solo e no ciclo de N, liberando N-NH₄⁺ através da hidrólise da ureia e é essencial na cadeia de hidrólise de compostos amino que são fornecidos para o solo a partir de plantas e em menor extensão de animais e microorganismos.

Assim observa-se que não existe uma tendência de aumento ou de diminuição da atividade da urease relacionada ao fato de ser lago ou vereda. O maior valor da atividade de urease na profundidade 0,0 – 0,10 m foi obtido para a vereda Embrapa, o que pode estar relacionado aos resíduos da MOS de raízes e folhas que ficam na parte mais superficial do solo. Para a camada 0,1 a 0,2 cm, o maior valor foi obtido para o lago CCA, o que pode estar relacionado à ação dos microorganismos da MOS. Os menores valores da atividade de urease foram obtidos para a vereda Bom Intento nas profundidades 0,0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m que pode estar relacionado à menor ação dos microorganismos em função de ser uma área que permanece saturada por água na maior parte do tempo e do tipo de fibras vegetais presentes.

A celulose representa o biopolímero mais abundante nos ecossistemas (BAYER; LAMED, 1992) e pode ser hidrolisada, com ácidos, a glicose. A degradação microbiana da celulose na natureza representa a maior fonte de carbono para o solo (LYNCH et al., 1981).

Analisados os valores da atividade da celulase, também, observa-se que não

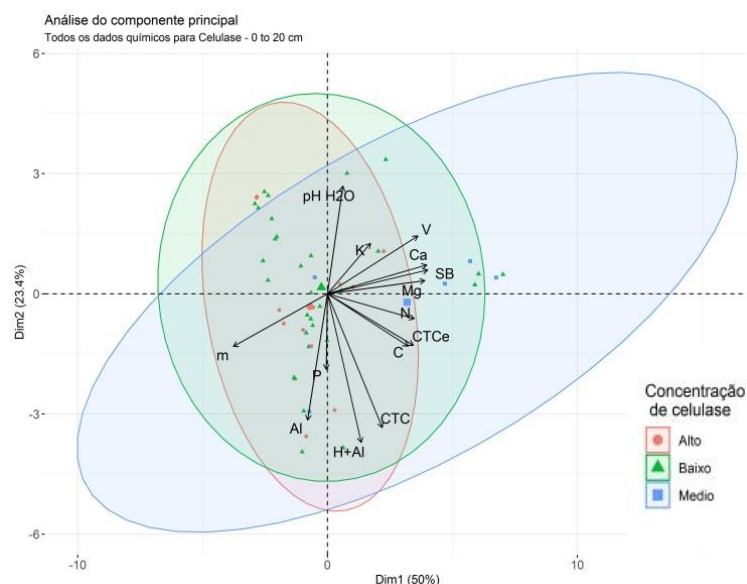
existe uma tendência de aumento ou diminuição da atividade de celulase em função dos ambientes. O maior valor da atividade de celulase na profundidade 0,0 – 0,1 m foi obtido para vereda Operário, o que pode estar relacionado aos resíduos da MOS de raízes e folhas que ficam na parte mais superficial do solo. Para a camada 0,1 a 0,2 m, o maior valor foi obtido para o lago CCA, o que pode estar relacionado à qualidade da MOS. Os menores valores da atividade de celulase na profundidade 0,0 – 0,10 m foram obtidos para a vereda Bom Intento, e para a profundidade de 0,10 – 0,20 m foram obtidos para o lago do CCA.

3.5 ANÁLISE MULTIVARIADA – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

Os gráficos dos vetores foram gerados para mostrar as duas dimensões (Dim 1 e Dim2), análise de componentes principais, para os atributos químicos (pH_{H2O}, K, V, Ca, SB, Mg, CTCe, CTC, H+Al, P, Al, m, N e C) em relação às atividades enzimáticas da celulase (Figura 2) e urease (Figura 3). As duas primeiras dimensões explicaram as percentagens acumuladas da variação total nos dados de 73,4% para a atividade da celulase e 73,4% para a atividade de urease.

Para a atividade de celulase (Figura 2), a Dim1 explicou 50% do total da variação; as variáveis que mais influenciaram essa dimensão foram V, SB, Ca, m, Mg, N, CTCe e C, em ordem decrescente. Estes atributos foram mais sensíveis aos valores da atividade da celulase. As variáveis que mais influenciaram a Dim2 foram H+Al, CTC, Al³⁺ e pH, em ordem decrescente.

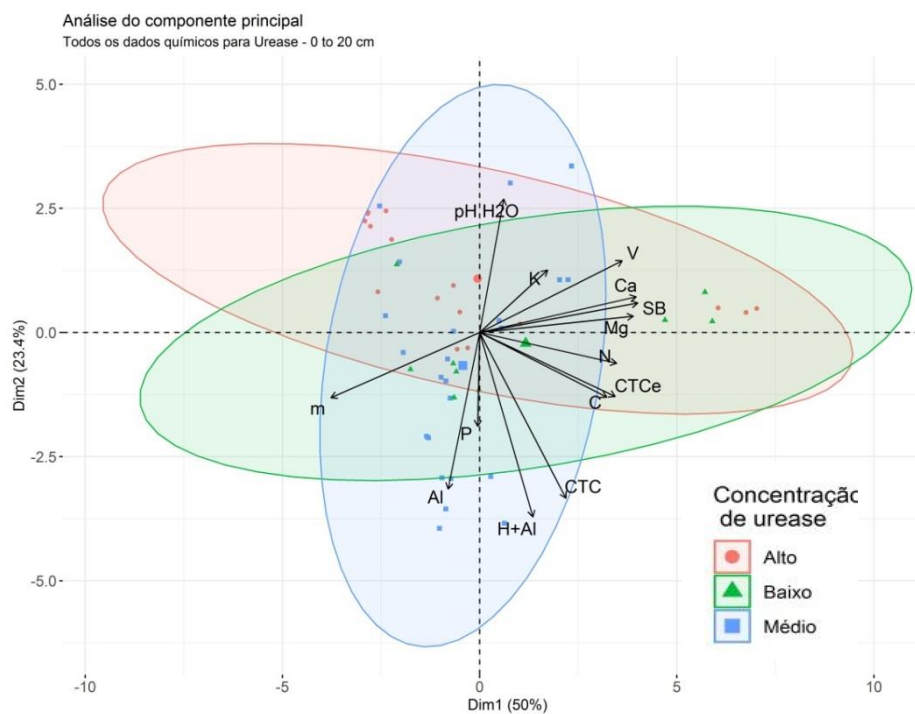
Figura 2. Diagrama de componente principal correlacionando os atributos químicos e a atividade enzimática da celulase



De modo geral, a análise multivariada apresentada na Figura 2 permite visualizar dois grupos distintos de amostras de solos; o grupo da direita que agrupa as amostras com atividade de celulase média e baixa com maior correlação com os nutrientes do solo (Ca, Mg, N e C), e o grupo da esquerda com amostras de solos com atividade de celulase média e baixa. Os maiores valores de celulase se correlacionam com os maiores valores de bases trocáveis.

Para a atividade de urease (Figura 3), a Dim1 explicou 50% do total da variação e as variáveis que mais influenciaram essa dimensão foram SB, Ca, Mg, V, m, CTC_e, N e C. As variáveis que mais influenciaram a Dim2 foram H+Al, CTC, Al e pH, em ordem decrescente.

Figura 3 - Diagrama de componente principal correlacionando os atributos químicos e a atividade enzimática da urease.



Na Figura 3, a análise multivariada permite visualizar dois grupos distintos de amostras de solos, o grupo da direita que agrupa amostras com atividades de urease variando de baixa, média a alta, correlacionadas com os nutrientes V, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺ e N; e o grupo da esquerda que agrupa um maior número de amostras de solos com atividades de urease variando de baixa, média e alta, fracamente correlacionadas com Al³⁺.

4. CONCLUSÕES

O lago do CCA apresentou os maiores teores de COT e NT e os menores valores de C/N.

Os valores das atividades da urease e celulase foram heterogêneos entre os ambientes.

As PCAs confirmaram a heterogeneidade das amostras de solos em relação à atividade enzimática ser baixa, média ou alta, tanto em relação à urease quanto à celulase, além de mostrar que as variáveis V, Ca, K, Mg e N são as que estão mais correlacionadas com as atividades enzimáticas estudadas.

Os solos dos ambientes estudados são drenos de carbono atmosférico e para se manterem conservados esses solos são necessárias ações conjuntas de educação ambiental, mapeamento, monitoramento e de estudos contínuos que auxiliem no conhecimento dos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos de lagos e veredas na Amazônia Setentrional, Brasil.

REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P.: *Methods in applied Soil Microbiology and Biochemistry*. London: Academic Press, p. 312-373, 1995.

ALENCAR-SILVA, T.; MAILLARD, F. Delimitação, caracterização e tipologia das veredas do parque Estadual Veredas do Peruaçu. **Geografias**, n.7, v. 2, p. 24-29, 2011.

ALMEIDA, I. R. S. **Composição e estrutura trófica das assembleias de peixes em veredas de buritizais, no período de seca, no lavrado de Roraima, Brasil**. 2016. Dissertação (Programa de Pós-graduação) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Estadual de Roraima, Manaus/Boa Vista, Brasil). Disponível em: <http://bdtd.inpa.gov.br/handle/tede/2144>. Acesso em: 20 out. 2018.

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, p.711–728, 2014.

ANDRIESSE, J. P. Nature and management of tropical peat soils. **FAO Soils Bulletin**, 59. Rome: FAO, 1988. [Http://www.fao.org/docrep/x5872e/x5872e00.htm](http://www.fao.org/docrep/x5872e/x5872e00.htm)

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, W. F., ANDRADE JÚNIOR, A. S., MEDEIROS, R. D. e SAMPAIO, R. A. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3, 2001, p. 563-567. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000300032>. Acesso em: 02 mar. 2018.

AVELLANEDA-TORRES, L. M., MELGAREJO, L. M., NARVÁEZ-CUENCA, E.; SÁNCHEZ J. Enzymatic activities of potato crop soils subjected to conventional management and grassland soils. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.13, n. 2, p. 301-312, 2013.

BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S. L.; MELO, G. M. P.; SOUZA, R. C.; MELO, W. J. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**. v. 8, p. 221-278, 2013.

BARBOSA, R. I., CAMPOS, C.; PINTO, F.; FEARNESIDE, P. M. (2007). The “Lavrados” of Roraima: Biodiversity and Conservation of Brazil’s Amazonia Savannas. **Functional Ecosystems and Communities**, v.1, p.29-41. 2007.

BARBOSA, R. I.; Miranda, I. S. Diversidade de Savanas de Roraima. **Ação Ambiental**, v.32, 19-23, 2005.

BASTOS, L. A; FERREIRA, I. M. Composições fitofisionômicas do bioma Cerrado: estudo sobre o subsistema de vereda. **Espaço em Revista**. v. 12, n. 1, p. 97-108, 2010.

BAUDENA, M.; DEKKER, S.C. Van BODEGON, P. M.; CUESTA, B.; HIGGINS, S. I.; LEHSTEN, V.; REICK, C. H.; RIETKERK, M.; SCHEITERS, S.; YIN, Z.; ZAVALA, M. A.; BROKIN, V. Forests, savanna, and grasslands: bridging the knowledge gap between ecology and Dynamic Global Vegetation Models. **Biogeosciences**, v. 12, p. 1833–1848, 2015. DOI:10.5194/bg-12-1833-2015.

BAYER, E.A.; LAMED, R. The cellulose paradox: pollutant par excellence and/or a reclaimable natural resource? **Biodegradation**, v. 3, p. 171-188, 1992.

BLOŃSKA, E. Enzyme activity in forest peat soils. **Folia Forestalia Polonica**, series A, v. 52, n.1, p.20–25. 2010.

BRABCOVÁ, V.; ŠTURSOVÁ, M.; BALDRIAN, P. Nutrient content affects the turnover of fungal biomass in forest topsoil and the composition of associated microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v.118, p.187-198. 2017.

BRASIL, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 06 fev. 2018.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha NA. 20 Boa Vista e parte das Folhas NA. 21. Tumucumaque, NA. 20 Roraima e NA. 21. Rio de Janeiro: 1975

BRÍGLIA-FERREIRA, S. R.; RÖPKE, C. P.; ALVES-GOMES, J. A. Ictiofauna da região da Serra da Lua (Roraima, Brasil) e importância dos ambientes aquáticos do 'lavrado' no interflúvio das bacias dos rios Negro, Essequibo e Orinoco. In: SCARLATO, F. C., EVANGELISTA, R. A. O. & ARAÚJO, W. F. (Eds.). **Amazônia: Terra e Água, degradação e desenvolvimento sustentável** (pp. 187-208.) Boa Vista, RR: Editora da UFRR, 2012.

CARVALHO, C. M. O lavrado da Serra da Lua em Roraima e perspectiva para estudos da herpetofauna na região. **Revista Geográfica Acadêmica**. V. 3, n. 1, p. 4-17, 2009.

CARVALHO, T. M.; CARVALHO, C. M.; MORAIS, R. P. Fisiografia da paisagem e aspectos biogeomorfológicos do lavrado, Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.17, n.1, 93-107, 2016.

CENCIANI, K; FREITAS, S.S.; CRITTER, S. A. M.; AIROLDI, C. Enzymatic activity measured by microcalorimetry in soil amended with organic residues. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1167-1175, 2011.

CENINI, V. L.; FORNARA, D. A.; McMULLAN, G.; TERNAN, N.; CAROLAN, R.; CRAWLEY, M. J.; CLEMENT, J. C.; LAVOREL, S. Linkages between extracellular enzyme activities and the carbon and nitrogen content of grassland soils. **Soil Biology & Biochemistry**. v.96, p. 198-206, 2016.

CIPRIANO-SILVA, F.; VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M.G.; CUNHA DOS ANJOS, L.H. Caracterização de organossolos em ambientes de várzea do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.26-38, 2014

COLE, J. J.; PRAIRIE, Y. T.; CARACO N. F.; McDOWELL W. H.; TRANVIK, L. J.; STRIEGL, R. G.; MELACK, J. Plumbing the global carbon cycle: Integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. **Ecosystems**, v.10, n.1, 172-185. (2007). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10021-006-9013-8>. Acesso em: 01 jun. 2018.

community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.150, p. 139-148, 2012.

CORDEIRO, M. A. S.; CORÁ, J. E.; NAHAS, E. Atributos bioquímicos e químicos do solo rizosférico e não rizosférico de culturas em rotação no sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1794-1803, 2012.

DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

DORAN, J. W.; ZEISS, M. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**. v. 15, p. 3-11, 2000.

DRIESSEN, P.; DECKERS, J.; SPAARGAREN, O.; NACHTERGALE, F. **Lecture notes on the major soils of the world**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, FAO World Soil Resources Reports 94, 2001. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-y1899e.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2018.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H.C.; PEREZ, D. V.; PEREIRA, M. G.; GOMES, F. W.F. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias húmicas em Organossolos háplicos de várias regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 325 -336, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3^a ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

FERREIRA, E. B., CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **Package ‘ExpDes.pt’**. 2018. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes.pt/ExpDes.pt.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO, **Soil organic carbon mapping cookbook**, 2nd edition, 2018, 204p.

FURLEY, P. Tropical Savannas: Biomass, plant ecology, and the role of fire and soil on vegetation. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, v. 34, n. 4, p. 563-585, 2010. <https://doi.org/10.1177/0309133310364934>

GIANFREDA, L.; RAO, M.A.; PIOTROWSKA, A., PALUMBO, G., COLOMBO, C. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. *Science of the Total Environment*. v. 341, p. 265- 279, 2005.

KANDELER, E.; GERBER, H.; Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol. Fertil. Soils*, v. 6, n. 1, p. 68-72, 1988.

KANG, H. J.; FREEMAN, C. Phosphatase and arylsul-phatase activities in wetland soils-annual variation and controlling factors, *Soil Biology And Biochemistry*, 31, 449– 454. 1999.

KASSAMBRA, A; MUNDT, F. **Factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses**. 2017. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>. Acesso em: 10 ago. 2018.

KELLY, E. F., CHADWICK, O. A.; HILINSKI, T. E. The effect of plants on mineral weathering. *Biogeochemistry*, v.42, n.1-2, p.21-53, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1005919306687>. Acesso em: 01 out. 2018.

KLEMEDTSSON, L.; VON ARNOLD, K.; WESLIEN, P.; GUNDERSEN, P. Soil CN

ratio as a scalar parameter to predict nitrous oxide emissions. **Global Change Biology**, v.11, p.1142–1147, doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.00973.x 2005

KNICKER, H.; DICK, D.P.; DALMOLIN, R.S.D. Survival of Pyrogenic Organic Matter (PyOM) in Brazilian grassland soils (Campo) In: EGU GENERAL ASSEMBLY 2008, Vienna, 2008. Book of abstracts. Vienna, 2008

LÄHTEENOJA, O.; RUOKOLAINEN, K.; SCHULMAN, L.; OINONEN, M. Amazonian peatlands: an ignored C sink and potential source. *Global Change Biology*, v. 15, n. 9, p. 2311-2320, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01920.x>. Acesso em: 01 ago. 2018.

LÊ, S., JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *Journal of statistical software*, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>. Acesso em: 01 ago. 2018.

LI, Y.; TAN, W. F.; KOOPAL, L. K.; WANG, M. X.; LIU, F.; NORDE, W. Influence of Soil Humic and Fulvic Acid on the Activity and Stability of Lysozyme and Urease. **Environ. Sci. Technol.** v. 47, p.5050–5056, 2013. doi/10.1021/es3053027

LUDANG, Y.; JAVA, A.; INOUE, T. Geohydrological conditions of the developed peatland in Central Kalimantan. **World Applied Sciences Journal**, v.2, n.3, p. 198-203, 2007. Disponível em: [http://idosi.org/wasj/wasj2\(3\)/9.pdf](http://idosi.org/wasj/wasj2(3)/9.pdf) . Acesso em: 01 jul. 2018.

LYNCH; J. M.; SLATER, J. H.; BENNETT, J. A.; HARPER; S.H.T. Cellulase activities of some aerobic micro-organisms isolated from soil. **Journal of General Microbiology**, v. 127, p. 31-236, 1981.

MEDEIROS, R.G.; HANADAB, R.; FERREIRA FILH, E. X. Production of xylan-degrading enzymes from Amazon forest fungal species. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.52, n.2, p.97-100, 2015.

MELO, V.F.; VALE JÚNIOR, J. F.; UCHÔA, S. C. P. Uso e manejo dos solos sob savana. In: VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds.), **Solos sob Savanas de Roraima: Gênese, classificação e relações ambientais**, Boa Vista: Gráfica Ióris, p. 131-160, 2010.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JÚNIOR, F. B. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 185-203. 2015.

MENESES, M. E. N. S.; COSTA, M. L.; COSTA, J. A. V. Os lagos do lavrado de Boa Vista - Roraima: Fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 3, p. 478-489, 2007.

MERINO, C.; GODOY, R.; MATUS, F. Soil enzymes and biological activity at different levels of organic matter stability. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.16, n. 1, p. 14-30, 2016.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A., SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da Matéria Orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. Ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metropole. p. 7-18, 2008.

MIRANDA, I. S.; ABSY, M. L. Flora fanerogâmica das savanas de Roraima. In: Barbosa, R. I., Ferreira, E. J. G., Castellón, E. G. (Eds.) **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima**, p. 445-462, 1997. Manaus, INPA.

MORAIS, R. P.; CARVALHO, T.M. Aspectos dinâmicos da paisagem do Lavrado, Nordeste de Roraima. **Revista de Geociências**, v. 34, n. 1, p. 55-68, 2015.

MULVANEY, M.J.; WOOD, C.W.; BALKCOM, K.S.; SHANNON, D.A.; KEMBLE, M. Carbon and nitrogen mineralization and persistence of organic residues under conservation and conventional tillage. **Agronomy Journal**, v.102, p.1425-1433, 2010.

NASCIMENTO, P. C.; LANI, J. L.; MENDONÇA, E. S.; ZOFFOLI, H. J. O.; PEIXOTO, H. T. M. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.339 -348, 2010.

PEREIRA, M.G.; CUNHA DOS ANJOS, L.H.; VALLADARES, G.S. Organossolos: ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. **Tópicos em Ciências do Solo**, SBCS, 4:233-276, 2005.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. Disponível em:

<<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

RICE, E. L.; PANCHOLY, S. K. Effect of storage conditions on activities of urease, invertase, amylase and dehydrogenase in soil. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 36:536-537, 1972.

SARMIENTO, G.; MONSTERIO, M. A critical consideration of the environmental conditions associated with the occurrence of savanna ecosystems in tropical America. In: Golley, F., Medina, E. (Eds). *Tropical Ecological Systems*. Springer Verlag, New York, pp. 223-250. SHI, Z. J.; LU, Y.; XU, Z., G.; FU, S. L. Enzyme activities of urban soils under different land use in the Shenzhen city, China. **Plant Soil Environment**, v. 54, n.8, p. 341-346, 2008.

SILVA, A. E. O.; MEDEIROS, E. V.; INÁCIO, E. S. B.; SALCEDO, I. H.; AMORIM, L. B. Soil enzymatic activities in areas with stages and management of forest regeneration from caatinga. **Revista Caatinga**, v.31, n.2, p.405-414, 2018.

SILVA, F. C. (Ed.) **Manual de métodos de análise de solo, plantas e fertilizantes**. 2^a ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2009.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.) **Fertilidade do solo**. 2. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SINSABAUGH, R. L., MOORHEAD, D. L., LINKINS, A. E. The enzymatic basis of plant litter decomposition: emergence of an ecological process. *Applied Soil Ecology*, 1, 97-111. 1994.

SOUSA, F. R.; BRASIL, E. P. F.; FIGUEREDO, C. C.; LEANDRO, W. M. Soil organic matter fractions in preserved and disturbed wetlands of the Cerrado biome. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p.222 -231, 2015.

STEVENSON, F. J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. 2nd. ed. New York: Wiley, 1994.

UTOBO, E. B.; TEWARI, L.; Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status. **Applied Ecology and environmental research**, v.13, n. 1, p. 147-169. 2015.

VALLADARES, G. S., PEREIRA, M. G., ANJOS, L. H. C.; EBELIN, A. G. Caracterização de solos brasileiros com elevados teores de material orgânico. **Magistra**, v. 20, n. 1, p. 95-104, 2008.

VALLEJO, V. E.; ARBELI, Z.; TERÁN, W.; LORENZ, N.; DICK, R. P.; ROLDAN, F. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.150, p. 139-148, 2012.

WANG, R.; DORONDIKOV, M. YANG, S.; ZHANG, Y., FILLEY, T. R.; TURCO, R. F.; ZHANG, Y.; XU, Z.; LI, H.; JIANG, Y. Responses of enzymatic activities within soil aggregates to 9-year nitrogen and water addition in a semi-arid grassland. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 81, p. 159-167, 2015.

WEIL, R. R.; BRADY, N. C. The Nature and Properties of Soils. New York, Pearson Education. 2016. 1104p

WINTERDAHL, M.; TEMNERUD, J.; FUTTER, M. N.; LÖGFREN, S.; MOLDAN, F.; BISHOP, K. Riparian zone influence on stream water dissolved organic carbon concentrations at the Swedish integrated monitoring sites. **AMBIO**, v. 40, n. 8, p. 920-930, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S13280-011-0199-4>. Acesso em: 21 set. 2018.

YOU, M.; BURGER, M.; LI, L.; ZOU, W.; LI, N.; QIAO, Y.; HAN, X. Changes in soil organic carbon and carbon fractions under different land use and management practices after development from parent material of mollisols. **Soil Science**, v.179, p.205-210, 2014. DOI: 10.1097/SS.0000000000000059

ZHANG, T.; WAN, S.; KANG, Y.; FENG, H. Urease activity and its relationships to soil physiochemical properties in a high saline-sodic soil. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 14, n. 2, p. 304-315, 2014.

ZINCK, J. A. Tropical and subtropical peats: An overview. In: Zinck, J. A., & Huber, O. (Eds). **Peatlands of the Western Guyana Highlands, Venezuela: Properties and Paleogeographic Significance of Peats**. New York, NY: Springer. (Ecological Studies, v. 217). 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20138-7>. Acesso em: 15 jan. 2018.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os atributos químicos dos solos de lagos e veredas de buriti das savanas de Roraima confirmam solos frágeis, portanto sensíveis à ação antrópica, como revelados pelos teores de fósforo disponível. Porém, esses solos apresentaram compartimentos importantes para conservação de carbono em solo amazônico, o que ressalta o valor desses ambientes, áreas de preservação permanente, como áreas críticas para serem conservadas de modo a contribuírem para a sustentabilidade ambiental, não só em nível local, mas para questões de interesse a redução de emissão de CO₂ uma escala macro do ciclo global de C.

Do ponto de vista dos estudos sobre MOS, a avaliação mostrou que as substâncias húmicas dos solos apresentaram predominância da fração C-HUM nos ambientes de veredas, destacando esse compartimento da MOS como armazenadora de C. Vale ressaltar que os dados de RMN-¹³C mostraram que o ambiente de lago, no caso do lago CCA, apresentou matéria orgânica de menor complexidade devido à ausência do fogo. Enquanto nos ambientes susceptíveis ao fogo como o lago Manaíra e vereda Bosco, apresentaram matéria orgânica de maior complexidade com estruturas aromáticas.



As atividades enzimáticas da urease e celulase mostraram resultados muito heterogêneos e pouco conclusivos sobre essas propriedades serem usadas como indicadores de qualidade nesses ambientes, o que não invalida o estudo realizado, mas o que instiga a realização de estudos futuros com maior acurácia, principalmente considerando que são solos muito ácidos.

Os resultados obtidos através desse estudo, o conhecimento dos atributos químicos, a atividades enzimática e a caracterização da MOS dos solos de lagos e veredas de buriti constituem-se dados importantes e valiosos para a compreensão da dinâmica desses solos, como também para auxiliar no planejamento de políticas que orientem cidadãos a melhor usarem as áreas próximas aos ambientes de lagos e veredas em Roraima, Amazônia Setentrional.

A hipótese inicial foi de que esses ambientes funcionam como fonte de carbono. Essa hipótese comprovou-se, porém faz-se necessário a continuidade de estudos dessa natureza.





APÊNDICE A – Imagens dos ambientes estudados

Quadro 1 – Imagens dos ambientes de lagos (L) da savana de Roraima

Ambientes	Imagem	Uso do entorno
CCA (L)		Atividades Agrícolas e expansão urbana
MANAÍRA (L)		Expansão urbana

Fonte: Acervo pessoal da autora (2017)

Quadro 2 – Imagens dos ambientes de veredas (V) de buriti (*Mauritia flexuosa*)

Ambientes	Imagem	Uso do entorno
CASAI (V)		Atividade de pesquisas agrícolas e de lazer
EMBRAPA (V)		Atividades Agrícolas (Pesquisa)
BOSCO (V)		Atividade Agrícolas
OPERÁRIO (V)		Agricultura familiar (horticultura)

Fonte: Acervo pessoal da autora (2017)

APÊNDICE B - Extração e fracionamento de substâncias húmicas de solos de veredas e lagos das savanas de Boa Vista (Roraima)

PARTE A – Tratamento do Solo para análise de Substâncias Húmicas

A. Tamização (peneiração) do solo TFSA para retirada de partículas leves (resíduos vegetais ou animais)

A1.1 Tomar aproximadamente 3g de solo TFSA (peneirado em malha de 2 mm) e passar em peneira de malha de 1,0 mm; (para reter fragmento vegetais, uma vez que as SH presentes na fração mais grosseira do solo é desprezível)

A1.2 Pesar aproximadamente 2g do solo peneirado em A.1 para fazer a lavagem com HCl 0,1 Mol.L⁻¹, conforme item A.2 apresentado abaixo.

A2 Lavagem do solo com HCl para retirada de substâncias não húmicas da fração coloidal

A2.1 Pesar em tubo tipo Falcon (15mL) aproximadamente 2g do solo que foi peneirado em malha de 1,0 mm adicionar 10mL de HCl 0,1 mol L⁻¹;

A2.2 Agitar manualmente por 2h;

A2.3 Centrifugar a 3000g por 45 min);

A2.4 Recolher o sobrenadante contendo a matéria orgânica solúvel em HCl; (Guardar para análise?)

A2.5 Repetir as etapas A2.2, A.2.3 e A2. e A2.4 por 2 vezes.

A2.6 Lavar a amostra três vezes com água destilada, com auxílio de pisseta;

A2.7 Secar a amostra de solo em estufa a 65°C (aproximadamente 48h)

PARTE B – Extração e Fracionamento das Substâncias Húmicas

B1. Pesar em tubo Falcon **X**g de amostra de solo livre das partículas leves e das substâncias não húmicas, conforme Parte A, que contenha aproximadamente 30 mg de carbono orgânico total;

B2. Adicionar 5mL de NaOH 0,1mol L⁻¹ ao tubo de centrífuga, contendo a amostra de solo;

B3. Agitar manualmente por 3h;

B4. Deixar em repouso por 12h;

B5. Centrifugar a 3000g por 45 min;

B6. Recolher o sobrenadante em tubo de Falcon de 50 mL e reservar;

- B7. Adicionar 5mL de NaOH 0,1mol L⁻¹ ao tubo de centrífuga, com tampa, contendo a amostra de solo precipitada;
- B8. Agitar manualmente por 3h;
- B9. Centrifugar novamente a 3000g por 45 min;
- B10. Recolher o sobrenadante ao reservado na etapa 6 (extrato alcalino com pH 13,0);
- B11. Repetir as etapas 7, 8 e 9, até o sobrenadante apresentar cor límpida e clara
- B12. Reservar o precipitado, fração humina (HU);
- B13. Ajustar o pH do extrato alcalino (contido no tubo de centrífuga de 50 mL) para pH 1,0 pela adição de gotas de H₂SO₄ concentrado;
- B14. Decantar por 18h;
- B15. Centrifugar por 45 min o extrato alcalino para separação do ácido húmico (precipitado de cor escuro) do ácido fúlvico (sobrenadante de cor amarelo claro);
- B16. Recolher o sobrenadante (ácido fúlvico), medir o volume e manter a 4°C para análises futuras na Parte C (Levar o volume para 50 mL em balão volumétrico usando água destilada).
- B17. Adicionar NaOH 0,1mol L⁻¹ ao precipitado (ácido húmico), medir o volume e manter a 4°C para análises futuras na parte C (Levar o volume para 50 mL em balão volumétrico usando água destilada).

Observações:

- (i) **X** varia conforme o percentual de carbono orgânico total nas amostras de solos TFSA das diferentes profundidades (horizontes);
- (ii) A relação entre a massa (g) da amostra de solo e o volume de NaOH é de 1:5

PARTE C – Determinação do teor de carbono nas frações ácido fúlvico e ácido húmico

C1. Transferir uma alíquota de 5mL da solução de ácido húmico ou de ácido fúlvico para tubos de digestão (a alíquota pode ser diluída em água nas amostras mais concentradas sem se esquecer de considerar nos cálculos);

C2. Adicionar 1mL de K₂Cr₂O₇ 0,042 mol L⁻¹ e 5mL de H₂SO₄ concentrado a cada amostra e em quatro tubos contendo 5mL de água destilada (brancos, destes, dois serão aquecidos);

C3. Levar os tubos com as amostras e dois brancos para digestão por 30 min em ao bloco digestor pré-aquecido a 150°C;

C4. Transferir quantitativamente o conteúdo dos tubos de digestão para os frascos de Erlenmyer de 125 mL (amostras + dois brancos aquecidos + dois brancos sem aquecimento);

C5. Adicionar 3 gotas de *Ferroin*.

C6. Titular, sob agitação, com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L⁻¹.

Observações:

(i) As amostras (5mL de AH ou AF, 1mL de K₂Cr₂O₇ e 5mL de H₂SO₄) diluída em 25 mL de água destilada;

(ii) Ver equação de cálculo da massa (mg C) de C na forma de ácido húmico (mg C_{ácido húmico} g⁻¹ de solo) e ácido fúlvico por grama de solo mg C_{ácido fúlvico} g⁻¹ de solo).

PARTE D – Determinação do teor de carbono na fração humina (HU)

D1. Extração com NaOH e ureia

D1.1 Adicionar ao precipitado do tubo de centrífuga 5mL de solução [ureia 6molL⁻¹ + NaOH 0,1 mol L⁻¹ ácido] 1:1 (v/v);

D1.2 Centrifugar (3000g, 30 min);

D1.3 Recolher o sobrenadante

Obs: repetir as etapas D2.1, D2.2 e D2. 3 até a solução sobrenadante torna-se límpida;

D1.4 Descartar a solução sobrenadante;

D1.5 Lavar com água o solo residual (precipitado), fração humina (HU), por três vezes;

D2. Determinação do teor de carbono na humina

D2.1 Transferir quantitativamente o conteúdo dos tubos de centrífuga para tubos de digestão, utilizando o mínimo de água destilada (± 10mL);

D2.2 Secar em estufa a 65°C a amostra (secagem completa);

D2.3 Adicionar 5ml de K₂Cr₂O₇ 0,1667 mol L⁻¹ e 10 ml de H₂SO₄ concentrado a cada amostra e em quatro tubos vazios (brancos);

D2.4 Levar os tubos com as amostras e dois dos quatro brancos ao bloco digestor pré-aquecido a 150°C e deixar por 30 minutos, sob exaustão;

D2.5 Transferir quantitativamente para frasco Erlenmyer de 125mL (amostras + dois brancos aquecidos + dois brancos sem aquecimento);

D2.6 Adicionar 3 gotas de *Ferroin*;

D2.7 Titular com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L⁻¹ sob agitação;

D2.8 Calcular a massa de C (X, mg C) na forma de humina (mg C_{humina} g⁻¹ de solo)

Observações:

- (i) As amostras consideradas são constituídas de (5mL de AH ou AF, 1mL de K₂Cr₂O₇ e 5mL de H₂SO₄) diluídas em 25mL de água destilada;
- (ii) Ver equação de cálculo da massa (mg C) na forma de humina de solo;
- (iii) A solução ureia/NaOH atua sobre as ligações de H que agregam a fração humina, quebrando essas ligações, uma vez que a ureia é um forte acceptor de prótons e interage com o H da cadeia alifática da HU, rompendo assim as ligações entre as estruturas orgânicas e interações entre a HU e a fração inorgânicas

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H. C.; DICK, D. P.; BERTOTTO, F. L.; CHITARRA, G. S. Distribution of Chemical Compartments of Soil organic Matter and Stocks of a Cambisol From South Brazil As Affected by *Pinus* Afforestation. **Quim Nova**. v. 35, n. 7, 2012, p. 1329-1335.

SONG, G.; HAYES, M. H, NOVOTNY, E. H.; SIMPSON, A. J.; Isolation and Fractionation of soil humin using alkaline urea and a dimethylsulphoxide plus sulphuric acid. **Naturwissenschaften**. v.98, n.1., p. 7-13, 2011(jan).

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. (Eds); **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises**. Viçosa: UFV, p. 35-42.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O de A.; Extração e Fracionamento Quantitativo de Substâncias Húmicas do Solo: um procedimento Simplificado de Baixo Custo. **Comunicado Técnico 16**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, out, 2003.