

**LUANA MARQUES CAMPOS**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FRAÇÕES DE  
FÓSFORO EM SOLOS AMAZÔNICOS  
CULTIVADOS COM PASTAGENS DE  
DIFERENTES IDADES**

**Dissertação de Mestrado**

**ALTA FLORESTA-MT**

**2021**

	LUANA MARQUES CAMPOS	Diss. MESTRADO	PPGBioAgro 2021



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E  
AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
BIODIVERSIDADE E AGROECOSSISTEMAS  
AMAZÔNICOS**



**LUANA MARQUES CAMPOS**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FRAÇÕES DE  
FÓSFORO EM SOLOS AMAZÔNICOS  
CULTIVADOS COM PASTAGENS DE  
DIFERENTES IDADES**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Caione

**ALTA FLORESTA - MT**

**2021**

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO, CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na publicação

Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias

CAMPOS, Luana.

C198a Atributos Químicos e Frações de Fósforo em Solos Amazônicos Cultivados com Pastagens de Diferentes Idades / Luana Campos – Alta Floresta, 2021.  
59 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)

Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Mestrado Acadêmico) Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias, Câmpus de Alta Floresta, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2021.

Orientador: Gustavo Caione

1. Fracionamento Químico de Fósforo. 2. Dinâmica entre Nutrientes. 3. Amazônia Meridional. 4. Pastagem na Amazônia. I. Luana Campos. II. Atributos Químicos e Frações de Fósforo em Solos Amazônicos Cultivados com Pastagens de Diferentes Idades: .

CDU 502

# **ATRIBUTOS QUÍMICOS E FRAÇÕES DE FÓSFORO EM SOLOS AMAZÔNICOS CULTIVADOS COM PASTAGENS DE DIFERENTES IDADES**

**LUANA MARQUES CAMPOS**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Aprovada em:

---

Prof. Dr. Gustavo Caione

Orientador – UNEMAT/ PPGBioAgro

---

Prof. Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho

UNEMAT/PPGBioAgro

---

Prof. Dr. Paulo Sérgio Pavinato

Membro externo/ ESALQ-USP

## DEDICATÓRIA

**Aos meus pais, Elza e Edivaldo**

Pela criação, exemplos, ensinamentos e amor incondicional.

**A minha Avó, Maria Aparecida**

Pelos conselhos, apoio e por todos os incentivos.

**Aos meus irmãos, Ricardo e Leandro**

Pelo companheirismo, amor, descontração e carinho infinito.

**Ao senhor Validio Antonio de Bona (in memorian)**

Exemplo de força, alegria e determinação.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela proteção e amparo em meio aos momentos de dificuldades. Foi graças a Ele que hoje concluo minha jornada para me tornar mestre. A Ele devo minha vida.

Aos meus pais, minha avó e meus irmãos, por serem meu suporte emocional durante a realização dessa pesquisa. Pelos momentos de alegria, pelos momentos de discussões, é por vocês que tenho me tornado uma pessoa melhor.

Em especial, ao meu amigo, Diego Ottonelli, pela paciência, companheirismo, incentivo em todos os momentos.

Aos meus amigos Rômulo Ribeiro, Willian Tsuyoshi, Jaqueline Amorim, Ravenna Veloso, Vitória Franco, gostaria de dizer que vocês são muito especiais para mim.

Ao nosso químico, em especial, Dr. Guilherme Ferreira Ferbonink, sou muito grata pela ajuda durante a realização da minha pesquisa, pelas explicações e auxílio com meus dados.

Aos professores Marco Antonio Camillo de Carvalho e Evandro Luiz Schoninger, pelo auxílio com as análises estatísticas, ao professor Paulo Sérgio Pavinato pela disponibilização das resinas utilizadas no fracionamento, ao Tiago Parente pelo auxílio com a classificação do solo.

Ao meu orientador, Dr. Gustavo Caione, pela paciência, orientações e disposição para o desenvolvimento e conclusão desse trabalho.

Ao senhor Validio Antonio de Bona e ao senhor Roberto Patel, pela disponibilização das áreas para coleta do solo.

Ao LASAF pela bolsa disponibilizada e pelos bolsistas, sem vocês o processo seria muito mais difícil.

À Universidade do Estado do Mato Grosso (UNEMAT) e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos (PPGBioAgro), pela oportunidade de me tornar mestre.

À CAPES, pelo auxílio financeiro fornecido através da bolsa de estudo.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

“O aprendizado é como o horizonte: não há limites”

Provérbios chineses

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	VI
LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE SIGLAS (OU DE ABREVIATURAS) .....	VIII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT .....	X
1.INTRODUÇÃO .....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1 Considerações gerais sobre áreas amazônicas.....	13
2.2 Importância do fósforo na nutrição de plantas.....	14
2.3 Dinâmica e disponibilidade de fósforo no solo .....	15
2.4 Fracionamento de fósforo.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	19
3.1 Descrição das áreas de estudo .....	19
3.2 Classificação do solo .....	20
3.2.1 Classificação do solo da propriedade localizada no município de Nova Guarita, MT .....	20
3.2.2 Classificação do solo da propriedade localizada no município de Alta Floresta, MT .....	21
3.3 Análises laboratoriais.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.4 Análises estatísticas.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Nova Guarita, MT .....	27
4.1.1 Atributos químicos do solo .....	27
4.1.2 Frações de fósforo no solo .....	29
4.1.4 Dinâmica entre os atributos químicos e as frações de P no solo .....	33
4.2 Alta Floresta, MT .....	37
4.2.1 Atributos químicos do solo .....	37
4.2.2 Frações de fósforo no solo .....	39
4.2.4 Dinâmica entre os atributos químicos e as frações de fósforo no solo....	42
5. CONCLUSÕES .....	45
REFERÊNCIAS .....	46
APÊNDICES.....	53

## LISTA DE TABELAS

TABELAS	Página
Tabela 1- Atributos químicos do solo nas profundidades 30-80 cm de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) localizado na região amazônica, no município de Nova Guarita – MT.....	20
Tabela 2- Atributos físicos do solo das profundidades 10 a 100 cm de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) localizado na região amazônica, no município de Nova Guarita – MT.....	21
Tabela 3- Atributos químicos do solo nas profundidades 30-80 cm de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd) localizado na região amazônica, no município de Alta Floresta – MT.....	22
Tabela 4- Atributos físicos do solo das profundidades 10 a 100 cm de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd) localizado na região amazônica, no município de Alta Floresta – MT.....	23
Tabela 5- Atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd), cultivado com pastagens de 15 e 30 anos e floresta nativa adjacente, nas profundidades 00-10 e 10-20 cm, Alta Floresta, MT, 2020. ....	28
Tabela 6- Frações de fósforo em um LATOSSOLO-VERMELHO Distrófico, cultivado com pastagens de 15 e 30 anos e floresta nativa adjacente, nas profundidades 00-10 e 10-20 cm, Alta Floresta, MT, 2020. ....	30
Tabela 7- Atributos químicos de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd), cultivado com pastagens de 20 e 35 anos e floresta nativa adjacente, nas profundidades 00-10 e 10-20 cm, Alta Floresta, MT, 2020. ....	38
Tabela 8- Frações de fósforo em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd), cultivado com pastagens de 15 e 30 anos e floresta nativa adjacente, nas profundidades 00-10 e 10-20 cm, Alta Floresta, MT, 2020. ....	40
Tabela 09- Capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) e energia de adsorção em duas amostras de solo (sem moer e moído) da área de floresta nativa (FN) e pastagem 30 anos (P30), Alta Floresta, 2020. ....	54

## LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Página
Figura 1- Fração lábil ( $P_{RTA}$ ; $P_{obic}$ ), fração mod. lábil ( $P_{hid0,1}$ ; $P_{ohid0,1}$ ; $P_{hid0,5}$ ; $P_{ohid0,5}$ ) e não-lábil ( $P_{HCl}$ ; $P_{residual}$ ) em um LATOSSOLO-VERMELHO Distrófico, cultivado com pastagens de 15 e 30 anos e floresta nativa adjacente, para a profundidade de 00-10 cm. ....	32
Figura 2- Análise dos componentes principais (PCA) sobre os atributos químicos do solo e frações de fósforo em um LATOSSOLO-VERMELHO Distrófico, cultivado com pastagens de 15 e 30 anos e floresta nativa adjacente, Alta Floresta, MT, 2020. ....	34
Figura 3- Matriz de correlação entre atributos químicos e frações de fósforo no solo. ***, **, *: 0; 0,1; e 1%, respectivamente pelo teste-t a 5% de probabilidade. Vermelho: correlação positiva; Preto: correlação negativa. ....	36
Figura 4- Fração lábil ( $P_{iRTA}$ ; $P_{obic}$ ; $P_{ibic}$ ), fração mod. lábil ( $P_{ihid0,1}$ ; $P_{ohid0,1}$ ; $P_{ihid0,5}$ ; $P_{ohid0,5}$ ) e não-lábil ( $P_{HCl}$ ; $P_{residual}$ ) em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, cultivado com pastagens de 20 e 35 anos e floresta nativa adjacente, para a profundidade de 00-10 cm. ....	42
Figura 5- Análise dos componentes principais (PCA) sobre os atributos químicos do solo e das frações de fósforo em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, cultivado com pastagens de 20 e 35 anos e floresta nativa adjacente, Alta Floresta, MT, 2020. ....	43
Figura 6- Matriz de correlação entre atributos químicos e frações de fósforo no solo. ***, **, * 0; 0,1; e 1, respectivamente pelo teste-t a 5% de probabilidade. Vermelho: correlação positiva; Preto: correlação negativa. ....	44

## LISTA DE SIGLAS (OU DE ABREVIATURAS)

- CAPES-** Coordenação de Pesquisa Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- LASAF-** Laboratório de Análises de Solo, Adubo e Foliar
- P-** Fósforo
- pH (H<sub>2</sub>O)-** pH determinado em água
- pH (CaCl<sub>2</sub>)-** pH determinado com solução de cloreto de cálcio
- K-** Potássio
- Ca-** Cálcio
- Mg-** Magnésio
- Al-** Alumínio
- H+Al-** Hidrogênio+Alumínio
- CTC-** Capacidade de troca de cátions
- SB-** Soma de Bases
- V%-** Saturação por bases
- m%-** Saturação por Alumínio
- M.O-** Matéria orgânica
- Pi** - Fósforo inorgânico
- Pi<sub>RTA</sub>**- Fósforo inorgânico extraído com resina de troca aniônica
- Pi<sub>HCl</sub>** - Fósforo inorgânico extraído com ácido clorídrico
- Pi<sub>bic</sub>** - Fósforo inorgânico extraído com bicarbonato de sódio
- Pi<sub>hid0,1</sub>** - Fósforo inorgânico extraído com hidróxido de sódio a 0,1 mol L<sup>-1</sup>
- Pi<sub>hid0,5</sub>** - Fósforo inorgânico extraído com hidróxido de sódio a 0,5 mol L<sup>-1</sup>
- Po** - Fósforo orgânico
- Po<sub>bic</sub>** - Fósforo orgânico extraído com bicarbonato de sódio
- Po<sub>hid0,1</sub>** - Fósforo orgânico extraído com hidróxido de sódio a 0,1 mol L<sup>-1</sup>
- Po<sub>hid0,5</sub>** - Fósforo orgânico extraído com Hidróxido de sódio a 0,5 mol L<sup>-1</sup>
- PPGBioAGRO-** Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos

## RESUMO

CAMPOS, Luana Marques. M.Sc. Universidade do Estado de Mato Grosso, maio de 2021. **Atributos químicos e frações de fósforo em solos amazônicos cultivados com pastagens de diferentes idades.** Orientador: Gustavo Caione.

O processo de abertura e transformação de áreas de floresta em pastagens, modifica a dinâmica do ambiente, altera a ciclagem e disponibilidade de nutrientes, sendo o P um dos elementos mais afetados. Dessa forma, objetivou-se verificar as alterações nos atributos químicos do solo e nas frações de P em solos amazônicos cultivados com pastagens não adubadas e com diferentes tempos de abertura em relação a uma área de floresta nativa. O estudo foi realizado em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) e um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd). Esta pesquisa trata de um estudo observacional onde 6 áreas foram estudadas e as variáveis foram os atributos químicos do solo e as frações de fósforo em duas profundidades (0-0,10 e 0,10-0,20 m). As parcelas consistiram nas áreas de pastagem de diferentes idades, sendo uma em Nova Guarita, MT, duas áreas de pastagens de 15 e 30 anos e floresta nativa adjacente; em Alta Floresta, MT, as áreas de pastagens de 20 e 35 anos e floresta nativa adjacente. Dentro de cada parcela separou-se 4 unidades experimentais, com dimensões de 10x50 m. Dentro de cada unidade experimental foi realizada a coleta de dez amostras simples aleatórias de solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. Houve efeito do tempo de abertura das áreas sobre os atributos químicos e frações de fósforo para o LVd e para o PVAd. Os teores de nutrientes reduziram nas áreas de pastagens estudadas, em ambos os solos, com exceção dos teores de Ca e Mg na área de pastagem de 35 anos, fato que pode estar associado a suplementação animal. As frações de fósforo consideradas lábeis diminuíram e as frações não-lábeis aumentaram em ambos os solos das áreas de pastagens, conforme o aumento no tempo de abertura. Os atributos químicos do solo da área para LVd reduziram conforme aumento no tempo de abertura, já para o PVAd houve aumento nos teores de Ca, P, que podem estar associado a suplementação fornecida pelo produtor aos bovinos.

Palavras-chave: Fracionamento químico de fósforo, dinâmica entre nutrientes, Amazônia Meridional, pastagem na Amazônia.

## ABSTRACT

CAMPOS, Luana Marques. M.Sc. State University of Mato Grosso, May 2021. **Area conversion: effects on phosphorus dynamics and fertility of Amazonian soils.** Advisor: Gustavo Caione.

The process of opening and transforming forest areas into pastures modifies the dynamics of the environment, alters the cycling and availability of nutrients, with P being one of the most affected elements. Thus, the objective was to verify changes in soil chemical attributes and P fractions in Amazonian soils cultivated with unfertilized pastures and with different opening times in relation to an area of native forest. The study was carried out in a Dystrophic RED LATOSOL (LVd) and a Dystrophic RED-YELLOW ARGISOL (PVAd). This research is an observational study where 6 areas were studied and the variables were the chemical attributes of the soil and the phosphorus fractions at two depths (0-0.10 and 0.10-0.20 m). The plots consisted of pasture areas of different ages, one in Nova Guarita, MT, two pasture areas of 15 and 30 years and adjacent native forest; in Alta Floresta, MT, the 20- and 35-year-old pasture areas and adjacent native forest. Within each plot, 4 experimental units were separated, with dimensions of 10x50 m. Within each experimental unit, ten simple random soil samples were collected in the layers of 0-0.10 and 0.10-0.20 m. There was an effect of the opening time of the areas on the chemical attributes and phosphorus fractions for LVd and PVAd. Nutrient contents decreased in the studied pasture areas, in both soils, with the exception of Ca and Mg contents in the 35-year pasture area, a fact that may be associated with animal supplementation. The examined labile phosphorus fractions decreased and the non-labile fractions increased in both soils in the pasture areas, as the opening time increased. The advance of land use time influenced the completion of chemical attributes and forms of phosphorus in the soil in the pasture areas compared to the native forest areas.

Keywords: Chemical phosphorus fractionation, dynamics between nutrients, Southern Amazon, pasture in the Amazon.

## 1. INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica é considerada o maior reservatório de biodiversidade vegetal e animal do mundo. Os solos da região Amazônica se caracterizam por apresentar baixa fertilidade natural, no entanto, suportam uma vegetação exuberante e de alto porte. Isso se deve a ciclagem de nutrientes e, a adoção de derrubadas e queimadas para estabelecimento de pastagens, alteram os mecanismos de conservação dos nutrientes que caracterizam a floresta (SERRÃO et al., 1978; VALE JÚNIOR et al., 2011).

Uma forma de avaliar o efeito das alterações após a conversão de áreas é através do estudo dos atributos químicos do solo, que, assim como os físicos e biológicos formam um conjunto que determinam a qualidade dos solos (DORAN; PARKIN, 1994). Esses atributos possibilitam o monitoramento de mudanças, a médio e longo prazo, no estado de qualidade desses solos. O pH, teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e outros estão entre as propriedades químicas do solo que são influenciadas pelo tipo de uso e utilizadas como indicadores de qualidade do solo (GOMES; FILIZOLA, 2006).

A maior parte das pesquisas tem se concentrado em estudar o elemento P em função de sua importância para os seres vivos e também pela baixa disponibilidade em solos tropicais. Esses solos apresentam alta capacidade de adsorção do nutriente e grandes quantidades de óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) que se ligam ao P e o tornam indisponível para a absorção das plantas (SOLTANGHEISI et al., 2019), além disso, estão quase esgotados de todos os minerais contendo P primário, uma vez que são solos altamente intemperizados (GARCIA-MONTIEL et al., 2000).

Estudos que buscam avaliar as mudanças do elemento têm sido realizados através da utilização de técnicas de fracionamento químico de P propostas por Hedley et al. (1982), que consistem na extração sequencial de formas lábeis, moderadamente lábeis e não-lábeis em uma mesma amostra (CERETTA et al., 2010). A fração lábil corresponde aos fosfatos que estão em equilíbrio entre a fase mineral e a solução do solo, que retornam mais rapidamente à solução do solo; a fração moderadamente lábil pode ser definida como os fosfatos que estão retidos com energia de ligação capaz de aumentar o tempo de liberação do nutriente ao solo; e o fosfato não-lábil se caracteriza por

não estar prontamente disponível e que dificilmente abastecerá a solução do solo, exceto em condições de extrema deficiência do nutriente (GATIBONI et al., 2013).

A vantagem do uso do fracionamento é a obtenção de informações sobre a disponibilidade do elemento a curto e longo prazo (SILVA et al., 2003). Essa avaliação é realizada através do uso de diferentes extratores. Segundo o método de Hedley et al. (1982), para solos tropicais, as maiores proporções de P têm sido encontradas nas extrações com NaOH, fator que pode estar relacionado a forte relação desta fração com óxidos de ferro e alumínio, caulinita e matéria orgânica (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001; CONTE et al., 2003; REIS, 2009).

Neste contexto, objetivou-se verificar as alterações nos atributos químicos do solo e nas frações de P em solos amazônicos cultivados com pastagens não adubadas e com diferentes tempos de abertura em relação a uma área de floresta nativa.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Considerações gerais sobre áreas amazônicas**

A floresta amazônica brasileira permaneceu completamente intacta até o início da era quase “moderna” do desmatamento, com a inauguração da rodovia Transamazônica, em 1970. Desde então, os índices de desmatamento na Amazônia, vieram aumentando num ritmo variável, tiveram uma diminuição após a implantação do novo código florestal em 2008, e tornou a aumentar a partir dos anos 2019 e 2020, o Sistema DETER (INPE, 2020), coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, contabilizou uma área acumulada de 6.059 km<sup>2</sup>, associada com os alertas de desmatamentos na Amazônia Brasileira. Esta área é aproximadamente 1,7 vezes maior que a média entre 2016 e 2018 (3.582 km<sup>2</sup>) e do que a área no ano de referência 2018/2019 (3.647 km<sup>2</sup>) para o mesmo intervalo de tempo (ARAGÃO et al., 2008; ARAGÃO; SILVA JUNIOR; ANDERSON, 2020), e embora a floresta amazônica seja desmatada por inúmeras razões, a criação de gado ainda é a causa predominante (FEARNSIDE, 2020).

Dentre as áreas de pastagem para criação animal, mais da metade estão em avançado estado de degradação (SILVA NETO et al., 2012; DE SOUZA BRAZ; FERNANDEZ; ALLEONI, 2013), de acordo com dados da Ferreira Júnior et al. (2020), o total de áreas ocupadas com pastagens no ano de 2018 era de 170,7 milhões de hectares e, durante o período de 2010 a 2018, cerca de 31,7 milhões de hectares de pastagens foram abandonadas ou convertidas para outros usos e em relação a degradação no mesmo período, cerca de 118,9 milhões de hectares apresentavam sinais leves, moderados e altos de degradação. Isso ocorre principalmente por manejo inadequado do solo e da cultura. O manejo inadequado do solo contribui potencialmente para a degradação ambiental, uma vez que altera negativamente as características físicas, químicas e biológicas do solo (SILVA NETO et al., 2011).

Durante o processo de abertura de áreas, com a queima da vegetação natural e introdução de gramíneas forrageiras, alteramos o ciclo de fertilidade e dinâmica das frações de fósforo no solo, e a falta de manejo adequado dessas áreas, pode resultar em esgotamento do solo. Segundo Beck e Sanches (1994), devido à baixa proporção de biomassa acima e abaixo de solos com gramíneas,

a fertilidade pode ser mantida por uma taxa mais alta de reciclagem de P orgânico do solo, como foi relatado para outros sistemas cultivos (BECK; SANCHEZ, 1994), e esse padrão pode durar por um longo período de tempo.

Apesar das alterações nos atributos químicos do solo durante o processo de conversão de áreas e da importância do P em ecossistemas tropicais (VITOUSEK, 1984; HERBERT; FOWNES, 1995) e em pastagens plantadas na Amazônia (SERRÃO et al., 1978), pouca informação está disponível sobre as transformações em áreas de floresta natural e pastagens.

## **2.2 Importância do fósforo na nutrição de plantas**

O fósforo (P) é um elemento essencial a qualquer forma de vida, e está presente em todos os ecossistemas. Este nutriente é um dos mais investigados na literatura, em função de sua importância para os seres vivos, da frequência com que limita a produção das culturas, sobretudo nas regiões tropicais e pelo fato de ser um insumo mineral finito e insubstituível (MALAVOLTA, 2006; REIS, 2009; HORTA; TORRENT, 2010).

O P é imprescindível ao crescimento e à reprodução das plantas. O elemento está presente na forma de fosfato em moléculas de açúcares intermediários da respiração e fotossíntese, é constituinte de fosfolipídeos que compõem as membranas vegetais (PRADO, 2008). É, também, componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004). Sendo o principal papel na planta o de armazenar e transferir energia (MALAVOLTA, 2006). A energia produzida na fotossíntese e na respiração é armazenada principalmente na forma de ATP. A planta irá usar essa energia nos diversos processos vitais, desde o transporte de solutos pelas membranas das células, trabalho mecânico de penetração da raiz no solo, na absorção ativa de nutrientes, até na síntese de amido (PRADO, 2008).

Em casos de deficiência do nutriente as plantas poderão apresentar coloração verde mais escura nas folhas mais velhas, visto que o número de folhas e a expansão da área foliar diminuem em detrimento da formação da clorofila, além disso, algumas espécies podem apresentar coloração avermelhada ou arroxeada, especialmente ao longo das nervuras devido ao acúmulo de pigmento vermelho, azul ou púrpura pertencente ao grupo das

antocianinas (PRADO, 2008). Como o P atua como regulador da fotossíntese e metabolismo de carboidratos, a deficiência do elemento limita o desenvolvimento das plantas, e as mesmas podem ficar com aspecto de “enfezadas”, e também podem apresentar baixo florescimento, com redução no número de sementes e frutos, com atraso na maturidade (PRADO, 2008).

Diante da importância do P na nutrição de plantas, são frequentes os efeitos desse nutriente na produção de culturas em solos tropicais. Nesses solos torna-se ainda mais importante o comportamento de P, uma vez que os teores do nutriente estão muito abaixo dos níveis críticos, limitando o desenvolvimento normal das culturas (SOUSA; LOBATO, 2004).

### **2.3 Dinâmica e disponibilidade de fósforo no solo**

Os teores totais de P nas rochas da crosta terrestre são, em média, 1.000 mg kg<sup>-1</sup>. Nos solos, o elemento pode ser encontrado em valores que variam desde 35 até 5.300 mg kg<sup>-1</sup>. Entretanto, uma pequena porção do fósforo total encontrado nos solos está em equilíbrio com a solução do solo, denominado P lábil, em virtude de interações químicas que podem ocorrer entre o fosfato e a solução do solo (NOVAIS; SMYTH, 1999; ESSINGTON, 2004).

No solo, o elemento pode ser encontrado na forma orgânica e inorgânica. As formas orgânicas abrangem aquelas que fazem parte da estrutura de compostos orgânicos, como o P na biomassa microbiana do solo, e o P estrutural ou adsorvido aos resíduos orgânicos e matéria orgânica do solo, como ésteres do ácido fosfórico, fosfonatos e anidridos do ácido fosfórico (GATIBONI et al., 2013).

As formas de P inorgânico (Pi), podem ser separadas em dois grupos: o fósforo dos minerais primários (P estrutural) e o P adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila ou precipitado com Fe, Al e Ca. O inorgânico presente na solução do solo é considerado P adsorvido com baixa energia de ligação na superfície dos coloides, produto da decomposição da matéria orgânica da liberação de minerais primários (CESSA et al., 2009). As formas de Pi presentes na solução do solo são dependentes do pH e são elas H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> e HPO<sub>4</sub><sup>-2</sup>. Em faixas de pH entre 5 e 6 pode haver precipitação de formas iônicas com Fe e Al.

Precipitados semelhantes podem ser formados com Ca em pH acima de 7 (HAVLIN et al., 2005).

O fósforo inorgânico adsorvido ou precipitado à fração coloidal mineral do solo pode ocorrer em todos os minerais no solo em virtude da facilidade do fosfato em formar complexos com alta energia de ligação. Dessa forma, poderá ser encontrado no solo ligado ao Fe, Al e Ca e também adsorvido nas bordas das argilas silicatadas e, principalmente, adsorvido a oxihidróxidos de Fe e Al (PARFITT, 1978). A separação entre os fenômenos de adsorção e precipitação é um tanto difícil (NOVAIS; SMYTH, 1999), pois é um íon adsorvido e, dependendo de sua concentração e seu tempo de reação, pode aumentar sua energia de ligação com o adsorvente, passando a caracterizar um precipitado (SPOSITO, 2008).

Com relação a energia de ligação, o fosfato pode ser adsorvido aos colóides em ligações monodentadas (um oxigênio do fosfato é ligado ao metal do coloide) e em ligações bidentadas (dois oxigênios do fosfato são ligados ao metal do coloide). Existe a possibilidade ainda de uma ligação bidentada especial, denominada: “binucleada”, em que dois oxigênios do fosfato são ligados a dois átomos do metal do coloide (FIXEN; GROVE, 1990; PARFITT, 1978). A energia de ligação é crescente dos compostos monodentados para os bidentados e binucleados; a reversibilidade ou dessorção diminui na mesma ordem. As ligações monodentadas são mais comuns nas bordas das argilas silicatadas, enquanto as bidentadas são mais frequentes em oxihidróxidos de Al e Fe com elevada área superficial específica (PARFITT, 1978), principalmente nos de Fe (BARRON et al., 1988; FROSSARD et al., 1995).

A reversibilidade das reações (dessorção), depende da proporção de ocupação dos sítios de adsorção e outros fatores que alteram a magnitude da energia de ligação deste elemento com os colóides do solo. Deste modo, a capacidade de extração dos métodos de avaliação da disponibilidade está vinculada a essa energia de adsorção (RHEINHEIMER et al., 2003). Isso torna importante a investigação dos estoques de P total e diferentes frações no solo em áreas de floresta e áreas de pastagem de diferentes idades através do uso de técnicas de fracionamento químico de P.

## 2.4 Fracionamento de fósforo

Para entendimento mais amplo das transformações do P no solo, métodos foram desenvolvidos para quantificar não apenas o P lábil, mas também as formas de menor labilidade, compreendidas entre o P lábil e o P total do solo. Desde o trabalho desenvolvido por Chang e Jackson (1957), popularizaram-se as análises sequenciais de P, denominadas fracionamento, em que diferentes extratores químicos são adicionados sequencialmente a uma mesma amostra de solo, extraíndo frações do P total do solo. Esses métodos baseiam-se na suposta seletividade e no poder de cada extrator químico, extraíndo sequencialmente desde formas mais lábeis até as mais estáveis do solo (GATIBONI et al., 2013).

Dentre as técnicas, a mais popular, têm sido a proposta por Hedley et al. (1982). A técnica consiste em extração sequencial de formas lábeis, pouco lábeis e não lábeis em uma mesma amostra, para remoção progressiva das frações de P inorgânico ( $P_i$ ) e orgânico ( $P_o$ ) (CERETTA et al., 2010). Sua vantagem é a obtenção de informações sobre a disponibilidade de P a curto e longo prazo, por avaliação dos diferentes compartimentos com distintos graus de disponibilidade para as plantas (SILVA et al., 2003).

O fracionamento proposto por Hedley et al. (1982) inicia-se com a extração em resina trocadora de ânions (RTA), responsável por extrair as frações lábeis de P inorgânico ( $P_{iRTA}$ ). Posteriormente realiza-se extração em  $\text{NaHCO}_3$  0,5 mol  $\text{L}^{-1}$  que também extrai frações lábeis de P inorgânico e orgânico ( $P_{ibic}$  e  $P_{obic}$ ). Na sequência a extração em  $\text{NaOH}$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$  ( $P_{ihid}$  e  $P_{ohid}$ ),  $\text{NaOH}$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$  + ultrassonificação;  $\text{HCl}$  1,0 mol  $\text{L}^{-1}$  e digestão residual com  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ . Sendo que nos extratos alcalinos ( $\text{NaHCO}_3$ ;  $\text{NaOH}$ ) são quantificados os teores de  $P_i$ , logo após o processo de extração, e o P total após digestão, o P orgânico é determinado pela diferença entre P total e P inorgânico (GATIBONI et al. 2013).

Condon et al. (1985) propuseram algumas alterações ao método proposto por Hedley et al. (1982), e desde então os extratores utilizados no fracionamento são, sequencialmente, resina trocadora de ânions ( $P_{iRTA}$ ),  $\text{NaHCO}_3$  0,5 mol  $\text{L}^{-1}$  a pH 8,5 ( $P_{ibic}$  e  $P_{obic}$ ),  $\text{NaOH}$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$  ( $P_{ihid}$  e  $P_{ohid}$ ),  $\text{HCl}$  1,0 mol  $\text{L}^{-1}$  ( $P_{iHCl}$ ),  $\text{NaOH}$  0,5 mol  $\text{L}^{-1}$  ( $P_{ihid0,5}$  e  $P_{ohid0,5}$ ) e digestão com  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$  ( $P_{residual}$ ). As frações orgânicas ( $P_o$ ) são determinadas pela diferença entre

o P total e o Pi em cada extrator. Sendo classificados de acordo com a labilidade em P lábil, P moderadamente lábil e P não-lábil, de acordo com o proposto por Cross e Schlesinger (1995).

Os autores Cross e Schlesinger (1995) realizaram o agrupamento de observações realizadas por diversos autores sobre quais as formas de P são extraídas na sequência do fracionamento proposto por Hedley. A partir do trabalho deles, de maneira geral, assume-se que a resina trocadora de ânions extrai formas lábeis de Pi e, em adição, o NaHCO<sub>3</sub> também retira formas lábeis de Pi e Po, mas que não foram acessadas pela resina. Ao NaOH é atribuído o poder de extrair o Pi quimissorvido a óxidos de Al e Fe, que é moderadamente lábil. Também, com NaOH, é extraído o Po moderadamente lábil. O tratamento do solo com HCl extrai o Pi contido nos fosfatos de Ca e fortemente adsorvido e, finalmente, a digestão do solo com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> extrai o P residual (Pi + Po), chamado também de P recalcitrante (GATIBONI et al., 2013).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição das áreas de estudo

O estudo foi realizado em duas propriedades da região norte mato-grossense. A primeira propriedade está localizada no município de Nova Guarita, MT, Brasil (10°17'56.02"S; 55°24'57.87"O) e a segunda no município de Alta Floresta, MT, Brasil (9°52'24.13"S; 56°13'38.77"O). O clima das regiões é tipo Am, chuvoso, com nítida estação seca, com precipitação média anual de 2.400 mm e temperatura média anual entre 24,6 e 28,3° C (ALVARES et al., 2013).

As áreas de pastagens das propriedades estudadas foram formadas por conversão direta da floresta nativa para pastagem sem fase intermediária de cultivo, com a extração seletiva de madeira, desmatamento e queima da vegetação restante e semeadura final de capim não nativo *Urochloa brizantha*; e não foi realizado nenhum tipo de correção e adubação no decorrer dos anos.

Em cada propriedade foram selecionadas três áreas. Na propriedade localizada em Nova Guarita, MT, a primeira área originou-se a aproximadamente 30 anos; a segunda área a aproximadamente 15 anos e; uma área de floresta nativa que não sofreu alterações pelo homem. Na propriedade localizada no município de Alta Floresta, MT, a primeira área foi formada por conversão de floresta para pastagem a 35 anos; a conversão da segunda área ocorreu a 20 anos e; a terceira área de floresta nativa que não sofreu alterações pelo homem.

Esta pesquisa trata de um estudo observacional onde 6 áreas foram estudadas e as variáveis foram os atributos químicos do solo e as frações de fósforo em duas profundidades (0-0,10 e 0,10-0,20 m). Duas coletas de solo foram realizadas nas áreas de estudo. Uma, inicialmente, para fins de classificação do solo e outra para avaliação dos atributos químicos do solo e do estoque das frações de fósforo a partir de análises laboratoriais.

As parcelas consistiram nas áreas de pastagem de diferentes idades. Dentro de cada parcela separou-se 4 unidades experimentais, com dimensões de 10x50 m. Dentro de cada unidade experimental foi realizada a coleta de dez amostras aleatórias de solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m.

### 3.2 Classificação do solo

A classificação do solo teve por objetivo avaliar se os solos das áreas de cada propriedade correspondiam a mesma classificação. Para evitar influências nas análises. Desse modo, em cada área, realizou-se a abertura de uma trincheira com 50 cm de diâmetro e 1 metro de profundidade (0,50 x 1,00 m), e as amostras foram coletadas de 0,10, 0,10- 0,20, 0,20- 0,30, 0,30- 0,40, 0,40- 0,50, 0,50- 0,60, 0,60- 0,70, 0,70- 0,80, 0,80- 0,90, 0,90-1,00 m de profundidade, metodologia adaptada de Soltangheisi et al. (2019).

Essa classificação foi realizada de acordo com os níveis categóricos do sistema, sendo que o presente trabalho levou em consideração as classes até o 3º nível categórico (SANTOS et al., 2015). Dessa forma, avaliou-se a cor úmida do solo (MUNSELL SOIL COLOR COMPANY, 1950), a textura pelo método do densímetro (Bouyoucos) conforme Embrapa (1997) e a saturação por bases.

#### 3.2.1 Classificação do solo da propriedade localizada no município de Nova Guarita, MT

As amostras para classificação foram coletadas em fevereiro de 2020 com auxílio de cavadeira articulada. Os solos das áreas foram classificados como LATOSSOLO VERMELHO (10 R 4/6, úmido) Distrófico (LVd). Para a determinação da saturação por bases do solo da trincheira, realizou-se a análise química nas profundidades 0,30 a 0,80 m (homogenizadas) (Tabela 1).

Tabela 1- Atributos químicos do solo nas profundidades 0,30 a 0,80 m de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) localizado na região amazônica, no município de Nova Guarita – MT.

Área	pH		P Mehlich 1 -----mg dm <sup>-3</sup> -----	K	Ca	Mg	Al	H+Al
	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>						
FN	6,0	5,2	0,7	46	2,07	0,46	0,0	2,72
P15	6,0	5,4	0,3	13	1,20	0,28	0,0	1,53
P30	5,9	5,0	0,4	19	1,13	0,17	0,0	2,69
	T		SB	Sat. por bases		Sat. por alumínio		
	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			V%	m%			
FN	5,4		2,6	49		0		
P15	3,0		1,5	49		0		
P30	4,0		1,3	33		0		

Fonte: Laboratório de Análises de Solo, Adubo e Foliar – LASAF, Alta Floresta – MT, 2021.  
Obs: T= CTC a pH 7; SB= Soma de bases.

Os resultados encontrados para a textura do solo nas áreas de estudo estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Atributos físicos do solo das profundidades 0,10 a 1 m de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) localizado na região amazônica, no município de Nova Guarita – MT.

Área	Areia	-----g kg <sup>-1</sup> -----	
		Silte	Argila
0-0,10 m			
FN	660	61	280
P15	630	49	321
P30	614	69	317
0,10-0,20 m			
FN	610	73	317
P15	505	74	421
P30	587	96	317
0,20-0,30 m			
FN	560	61	380
P15	455	49	496
P30	541	42	417
0,30-0,40 m			
FN	510	73	417
P15	383	84	533
P30	442	41	517
0,40-0,50 m			
FN	460	48	492
P15	383	72	546
P30	417	41	542
0,50-0,60 m			
FN	460	48	492
P15	408	72	521
P30	367	42	591
0,60-0,70 m			
FN	410	73	517
P15	362	73	565
P30	378	80	542
0,70-0,80 m			
FN	460	48	492
P15	387	48	565
P30	366	42	592
0,80-0,90 m			
FN	459	49	492
P15	387	48	565
P30	415	19	566
0,90-1 m			
FN	484	74	442
P15	412	36	553
P30	390	17	593

Fonte: Laboratório de Análises de Solo, Adubo e Foliar – LASAF, Alta Floresta – MT, 2021.

### 3.2.2 Classificação do solo da propriedade localizada no município de Alta Floresta, MT

As amostras para classificação do solo foram coletas em maio de 2020 com auxílio de cavadeira articulada. Os solos das áreas foram classificados como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (5 YR 5/8, úmido) (PVAd). Para a determinação da saturação por bases do solo da trincheira, realizou-se a análise química nas profundidades 0,30 a 0,80 m (homogenizadas) (Tabela 3) e os resultados encontrados para a textura do solo se encontram na Tabela 4.

Tabela 3- Atributos químicos do solo nas profundidades 0,30 a 0,80 m de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd) localizado na região amazônica, no município de Alta Floresta – MT.

Área	pH		P Mehlich 1 ----mg dm <sup>-3</sup> ----	K	Ca	Mg -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	Al	H+Al
	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>						
FN	4,3	4,2	0,7	49	0,42	0,18	1,2	6,06
P20	4,9	4,4	0,4	96	0,35	0,08	0,5	3,34
P35	4,9	4,5	0,7	35	0,64	0,34	0,5	4,48
	T		SB	Sat. por bases		Sat. por alumínio		
	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			V%		m%		
FN	6,8		0,7	11		62		
P20	4,0		0,7	17		40		
P35	5,6		1,1	19		32		

Fonte: Laboratório de Análises de Solo, Adubo e Foliar – LASAF, Alta Floresta – MT, 2021.  
Obs: T= CTC a pH 7; SB= Soma de bases.

### 3.3 Análises laboratoriais

As amostras de solo para determinação dos atributos químicos e das frações de fósforo foram coletadas com auxílio de trado holandês, sendo dez amostras simples nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, em fevereiro de 2020 na propriedade de Nova Guarita, MT e maio de 2020 em Alta Floresta, MT.

#### 3.3.1 Análise dos atributos químicos do solo

Essas amostras foram secas ao ar e passadas por peneira com abertura de 2 mm e submetidas à análise química, seguindo a metodologia descrita por Silva (2009). O pH do solo foi determinado em H<sub>2</sub>O e em CaCl<sub>2</sub>, utilizando peagâmetro de bancada. O fósforo e potássio (K<sup>+</sup>) extraídos do solo pelo método de Mehlich 1 (HCl 0,05 M; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 M), quantificado por espectrofotometria e fotometria de chama, respectivamente. O cálcio (Ca<sup>2+</sup>), o magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e o alumínio (Al<sup>3+</sup>) extraídos com KCl 1M e quantificados por titulometria, o H+Al foram extraídos com acetato de Ca e determinados por titulometria. A determinação da matéria orgânica foi realizada pelo método colorimétrico (RAIJ et al., 2001) e a textura do solo determinada pelo método do densímetro (Bouyoucos), conforme Embrapa (1997). Posteriormente foram calculados os atributos saturação por bases (V%) e CTC potencial.

Tabela 4- Atributos físicos do solo das profundidades 0,10 a 1 m de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd) localizado na região amazônica, no município de Alta Floresta – MT.

Área	Areia	Silte		Argila
		g kg <sup>-1</sup>		
0,0-0,10 m				
FN	601	100		300
P20	651	102		247
P35	646	77		277
0,10-0,20 m				
FN	601	75		325
P20	676	65		259
P35	644	65		291
0,20-0,30 m				
FN	576	75		350
P20	626	52		322
P35	640	38		322
0,30-0,40 m				
FN	489	75		437
P20	551	77		372
P35	540	88		372
0,40-0,50 m				
FN	476	100		425
P20	501	52		447
P35	490	60		450
0,50-0,60 m				
FN	464	87		450
P20	501	52		447
P35	490	59		451
0,60-0,70 m				
FN	501	50		450
P20	501	52		447
P35	490	59		451
0,70-0,80 m				
FN	476	50		475
P20	501	90		409
P35	465	63		472
0,80-0,90 m				
FN	501	50		450
P20	501	102		397
P35	465	51		484
0,90-1 m				
FN	501	62		437
P20	526	77		397
P35	465	51		484

Fonte: Laboratório de Análises de Solo, Adubo e Foliar – LASAF, Alta Floresta – MT, 2021.

### 3.3.2 Fracionamento químico de fósforo

O fracionamento químico das formas de fósforo foi realizado de acordo com a metodologia proposta por Hedley et al. (1982) com modificações propostas por Condon et al. (1985) e Gatiboni et al. (2007). Adicionou-se diferentes extratores a 0,5 g de solo (moído em gral), passado em peneira de 1 mm, em ordem sequencial:

1) resina de troca aniônica (lâmina de RTA de dimensões 2,5 x 1 cm imersa em 10 mL de H<sub>2</sub>O em tubo falcon com capacidade para 15 mL), agitou-se por 16 horas em agitador ponta a ponta (33 rpm), retirou-se a lâmina RTA, lavando o excesso de solo. A resina foi adicionada em recipiente contendo 10 mL de HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup> por 90 minutos. Passados os 90 min., agitou-se o líquido e a resina por 30 min. em agitador horizontal. O solo e a água do tubo foram centrifugados a 4.000 rpm por 35 minutos, descartando o sobrenadante.

2) adicionou-se 10 mL de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> no solo centrifugado anteriormente, com agitação manual para desprendimento do solo e agitou-se 16 horas no agitador ponta a ponta. Centrifugou-se à 6.000 rpm por 15 minutos e reservou-se o sobrenadante para determinação do P total e P inorgânico nessa fração. Adicionou-se 10 ml de NaCl 0,5 mol L<sup>-1</sup>, para evitar que o resíduo do extrator anterior reduzisse a eficiência do subsequente, conforme sugerido por Gatiboni et al. (2013), centrifugando novamente à 4.000 rpm por 10 minutos e adicionou-se o sobrenadante ao extrato previamente reservado, determinando-se a forma final de P<sub>bic</sub> e P<sub>o<sub>bic</sub></sub> (inorgânico e orgânico);

3) adicionou-se 10 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> na amostra de solo da etapa anterior e repetiu-se o mesmo processo, determinando a forma final de P<sub>hid0,1</sub> (inorgânico e orgânico);

4) foram adicionados 10 mL de HCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e idem a etapa anterior, tendo como forma final de P<sub>HCl</sub> (inorgânico);

5) adicionou-se 10 mL de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> e os procedimentos foram idem a etapa anterior, determinando-se a forma final de P<sub>hid-0,5</sub> e P<sub>o<sub>hid-0,5</sub></sub> (inorgânico e orgânico).

Ao final da extração sequencial, o solo residual remanescente foi seco a 50° C, moído para homogeneizar e digerido com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentrado para extrair P residual (P<sub>residual</sub>) (BROOKES; POWLSON; JENKINSON, 1982).

O fósforo inorgânico dos extratos de NaHCO<sub>3</sub> e NaOH foi analisado pelo método de Dick e Tabatabai (1997). Nos extratos alcalinos foi determinado o fósforo total por digestão com persulfato de amônio + ácido sulfúrico em autoclave (USEPA, 1971), sendo o P<sub>o</sub> obtido pela diferença entre o fósforo total

e fósforo inorgânico. O fósforo nos extratos ácidos foi determinado segundo metodologia de Murphy e Riley (1977).

A divisão, tanto do Pi quanto do Po em formas lábeis, moderadamente lábeis e não-lábeis é arbitrária e meramente didática, servindo para demonstrar que há compartimentos de Pi e Po no solo com maior ou menor capacidade de suprimento para a solução do solo (GATIBONI et al.,2013) e mesmo que essa subdivisão seja imprecisa, ajuda no entendimento da dinâmica da disponibilidade do fósforo. Dessa maneira, preferiu-se realizar a discussão das formas de P separadamente, citando ao longo do texto as que o autor considera como lábil, mod. lábil e não-lábil.

A fração considerada lábil foi constituída pelas formas de  $P_{iRTA}$ ,  $P_{obic}$  e  $P_{ibic}$ . A fração mod. lábil foi constituída pelas formas  $P_{hid0,1}$ ,  $P_{ohid0,1}$ ,  $P_{ihid0,5}$ ,  $P_{ohid0,5}$  e a fração não lábil de P constituída pelo P extraído pela solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, quantificando as formas de P ligadas ao cálcio (CROSS; SCHLESINGER, 1995; GATIBONI et al., 2013) e pelo P residual.

A fração  $P_{ibic}$  da propriedade localizada no município de Nova Guarita, MT apresentou valores de leitura de P nas amostras de solo menores que a amostra em branco. Uma hipótese para que isso tenha ocorrido seria a de que o solo teria adsorvido P da solução de bicarbonato de sódio e por esse motivo os valores foram negativos. Dessa forma, desconsiderou-se essa fração na realização das análises estatísticas e considerou-se apenas  $P_{tbic}$  como  $P_{obic}$  (uma vez que não há P inorgânico nessas amostras, todo o P foi considerado orgânico).

Com o intuito de compreender o que pode ter ocorrido com a fração de  $P_{ibic}$ , realizou-se a análise da capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) (Apêndice A). A quantidade de P adsorvida ao solo foi estimada pela diferença entre o valor da concentração de P na solução de equilíbrio e o de P adicionado (ALVAREZ et al., 2000). Com os resultados construímos as isotermas de adsorção (Langmuir), com os dados do P adsorvido plotados no eixo das ordenadas e as concentrações pré-determinadas na solução de equilíbrio no eixo das abcissas.

### **3.4 Análises estatísticas**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância através do teste t, e quando significativos as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade em utilizando-se o Statistical Analysis Software (SAS).

Para as análises multivariadas aplicou-se os seguintes métodos estatísticos multivariados: análise de componentes principais (PCA) e Matriz de correlação, utilizando-se o software estatístico R versão 4.0.3 e os pacotes ggplot2, ggfortify e corrplot (R CORE TEAM, 2020).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Nova Guarita, MT**

#### **4.1.1 Atributos químicos do solo**

Os maiores teores de P Mehlich 1, Ca e Mg foram encontrados na área de floresta nativa na profundidade 0-10 cm. O mesmo foi observado para os teores de matéria orgânica e para os atributos calculados CTC, SB e V% (Tabela 5). Não houve diferença entre as áreas para os valores de Ca, CTC e matéria orgânica na profundidade 10-20 cm. Os maiores teores de K na profundidade 0-10 foram observados na área de pastagem de 30 anos, no entanto, na profundidade 10-20, a área de floresta nativa apresentou os maiores valores do nutriente.

A área de pastagem de 30 anos apresentou os menores de pH em água e CaCl<sub>2</sub>, associado a isso observou-se que essa área apresentou os maiores teores de Al tóxico, H+Al e saturação por alumínio (m%). O aumento do pH diminui a solubilidade do alumínio tóxico no solo, enquanto a matéria orgânica causa a complexação desse elemento (FALLEIRO et al., 2003), como pode ser observado na área de floresta nativa.

Os maiores valores observados para somas de bases (SB) e P disponível na área de floresta nativa se devem principalmente ao processo de ciclagem de nutrientes favorecidos pela serapilheira e raízes das arbóreas. A soma de bases trocáveis (SB), representa a soma dos teores de cátions permutáveis Ca<sup>2+</sup>+ Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup>. A saturação por bases está diretamente relacionada com a soma de bases, e é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo (RONQUIM, 2010).

Uma das respostas para o maior teor de K na área de pastagem de 30 anos pode estar associada a suplementação fornecida aos animais que estavam presentes na área no período de coleta e a elevada taxa de precipitação, o que contribui para a infiltração do elemento no perfil do solo.

Tabela 5- Atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd), cultivado com pastagens de 15 e 30 anos e floresta nativa adjacente, nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, Alta Floresta, MT, 2020.

Área	Profundidade (cm)	
	0-10	10-20
	-----pH (H <sub>2</sub> O) -----	
FN	5,7 a	5,6 a
P15	5,4 b	5,7 a
P30	5,4 b	5,6 a
	pH CaCl <sub>2</sub>	
FN	5,6 a	5,3 a
P15	4,9 b	5,1 b
P30	4,8 b	4,9 b
	-----P Mehlich 1 (mg dm <sup>-3</sup> ) -----	
FN	1,9 a	0,8 a
P15	0,9 b	0,7 a
P30	0,8 b	0,2 b
	-----K (mg dm <sup>-3</sup> ) -----	
FN	115 b	89 a
P15	49 c	33 b
P30	143 a	53 b
	-----Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----	
FN	6,5 a	3,6 a
P15	3,5 b	3,0 a
P30	2,3 b	2,2 a
	-----Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----	
FN	1,7 a	1,2 a
P15	0,7 b	0,5 b
P30	0,8 b	0,4 b
	-----Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----	
FN	0,0 b	0,0 a
P15	0,0 b	0,0 a
P30	0,2 a	0,0 a
	-----H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----	
FN	2,9 b	2,5 ab
P15	3,3 ab	2,4 b
P30	3,8 a	3,0 a
	-----CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----	
FN	11,3 a	7,5 a
P15	7,6 b	6,0 a
P30	7,2 b	5,8 a
	-----SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----	
FN	8,5 a	5,0 a
P15	4,3 b	3,6 ab
P30	3,4 b	2,8 b
	-----V%-----	
FN	65 a	66 a
P15	56 b	59 b
P30	47 c	47 c
	-----M.O (g kg <sup>-1</sup> ) -----	
FN	34,4 a	20,3 a
P15	30,9 b	20,1 a
P30	27,6 b	21,4 a

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste t ( $p \leq 0,05$ ).

A redução nos teores de nutrientes com o aumento da profundidade do solo, como pode ser observado no presente estudo, associa-se, principalmente, a diminuição nos teores de matéria orgânica desses solos em profundidades maiores.

Cardoso et al. (2011) verificaram resultados semelhantes aos do presente estudo para os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis, matéria orgânica do solo, soma de bases trocáveis (SB) e capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) que foram significativamente reduzidos pela conversão da vegetação arbórea em pastagem cultivada após 27 anos, notoriamente na camada de 00–10 cm.

#### 4.1.2 Frações de fósforo no solo

A área de floresta nativa apresentou os maiores teores de fósforo para as frações  $\text{P}_{\text{IRTA}}$ ,  $\text{P}_{\text{HCl}}$ ,  $\text{P}_{\text{hid}0,5}$  e  $\text{P}_{\text{hid}0,5}$  na profundidade 0-10 cm (Tabela 6). Para a fração  $\text{P}_{\text{hid}0,1}$ , os maiores teores foram encontrados na área de pastagem de 15 anos tanto para a profundidade 0-10 quanto para a profundidade 10-20 cm. Para o  $\text{P}_{\text{residual}}$  os maiores teores foram encontrados nas áreas de 15 e 30 anos na profundidade 0-10.

Os resultados encontrados para o  $\text{P}_{\text{IRTA}}$ ,  $\text{P}_{\text{bic}}$  se assemelham aos observados por Soltangheisi et al. (2019). Os autores encontraram maiores teores de  $\text{P}_{\text{IRTA}}$  e  $\text{P}_{\text{bic}}$  em áreas de floresta comparadas com áreas de pastagens 15 anos após a conversão. De acordo com estudo desenvolvido por Johnson, Frizano e Vann (2003), a fração  $\text{P}_{\text{bic}}$  foi responsável por 53% do P lábil em solos altamente intemperizados, já para Cross e Schlesinger (1995) os valores variaram entre 30 a 60% do P lábil. No presente estudo, essa fração contribui com mais de 90% do P considerado como lábil em ambas as áreas.

As maiores concentrações de  $\text{P}_{\text{bic}}$  (forma lábil) e  $\text{P}_{\text{hid}0,5}$  (mod. lábil) encontradas na área de floresta podem estar relacionados a maior população microbiana presente na área. Isso porque a biomassa microbiana tem papel especial nas formas de P do solo, como agente ativo que decompõem os resíduos orgânicos, podendo liberar P na solução do solo na forma de  $\text{P}_i$  ou

permitir seu acúmulo juntamente com a matéria orgânica (GATIBONI et al., 2013). Sendo esse fosfato quantificado nas frações orgânicas.

Tabela 6- Frações de fósforo em um LATOSSOLO-VERMELHO Distrófico, cultivado com pastagens de 15 e 30 anos e floresta nativa adjacente, nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, Alta Floresta, MT, 2020.

Área	Profundidade (cm)	
	0-10	10-20
	-----P <sub>IRTA</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	6,77 a	2,01 a
P15	1,59 b	0,61 b
P30	2,06 b	0,67 b
	-----P <sub>Obic</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	23,61 a	16,22 b
P15	21,32 a	18,34 a
P30	15,74 b	9,15 c
	-----P <sub>hid0,1</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	56,24 c	79,94 b
P15	131,0 a	108,60 a
P30	97,31 b	91,88 b
	-----P <sub>hid0,1</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	36,23 a	13,81 b
P15	38,71 a	20,43 a
P30	26,41 b	11,92 b
	-----P <sub>IHCl</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	1,03 a	0,49 a
P15	0,61 b	0,39 a
P30	0,19 c	0,19 b
	-----P <sub>hid0,5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	54,43 a	39,44 a
P15	45,46 b	34,18 a
P30	38,16 c	38,45 a
	-----P <sub>hid0,5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	19,94 a	17,60 a
P15	10,09 b	18,04 a
P30	8,82 b	24,89 a
	-----P <sub>residual</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	239,70 b	307,80 c
P15	394,50 a	564,70 a
P30	373,00 a	378,70 b

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste t ( $p \leq 0,05$ ).

Os mecanismos desenvolvidos pelas plantas presentes em áreas florestais, como as associações micorrízicas e/ou exsudatos provenientes da rizosfera (solubilizadores de P), poderiam explicar os maiores teores encontrados para as frações P<sub>hid0,1</sub> e P<sub>hid0,5</sub> nessa área, uma vez que esses mecanismos são capazes de adquirir P moderadamente lábil (BOLAN, 1991). Além disso, esse P pode voltar ao solo através do material vegetal que será decomposto e acumulado na matéria orgânica do solo.

Garcia-Montiel et al. (2000) e Townsend et al. (2002) encontraram resultados semelhantes para os teores de  $P_{\text{hid},1}$  em um Latossolo, na Amazônia central brasileira e no sudoeste da Costa Rica, respectivamente. Os autores relacionam essas proporções mais elevadas nas áreas de pastagem as mudanças na estrutura e na qualidade da matéria orgânica. Outro fator para essa resposta, pode ser os mecanismos de adaptação utilizado pelas plantas em caso de deficiência de P.

Como nossos solos são fortemente intemperizados, o P extraído por HCl constitui uma fração desprezível do P total. Segundo Tiessen e Moir (1993), o  $P_{\text{HCl}}$  está ausente em muitos solos fortemente intemperizados. Por esse motivo, houve baixa contribuição da fração no presente estudo e também em estudos realizados por Soltangheisi et al. (2019). Garcia-Montiel et al. (2000) evidenciaram tendências de P extraível com HCl concentrado em pastagens mais jovens são seguidas pelo declínio em pastagens mais velhas, como observado no presente estudo.

Os maiores teores de  $P_{\text{residual}}$  encontrados na área de pastagem de 30 anos, pode ser resultado do “envelhecimento” do fósforo adsorvido, cujas ligações tendem à especificidade, formando compostos binucleados ou ainda a penetração do fosfato nas imperfeições do mineral cristalizado. Isso resulta em maior estabilidade e menor possibilidade de dessorção do fosfato (RHEINHEIMER; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

Resultados obtidos por Garcia-Montiel et al. (2000) diferiram dos observados quanto aos teores de  $P_{\text{residual}}$ . Os autores observaram proporções mais baixas em pastagens de 20 anos (41–55% do P total) em comparação com a floresta original (63–65% do P total) na Amazônia brasileira.

Enquanto nas áreas de estudo foram de 72% para floresta, 70% na pastagem de 15 anos e 75% na pastagem de 30 anos. Chen et al. (2000) registraram menor  $P_{\text{residual}}$  em solos florestais em comparação com pastagens adjacentes, assemelhando-se aos resultados encontrados no presente estudo. Acredita-se que os maiores teores de  $P_{\text{residual}}$  encontrados nas áreas de pastagem, se devem a falta de reposição do nutriente no decorrer do tempo e a alteração nos teores de matéria orgânica nessas áreas, fazendo com que o P

lável e moderadamente lábil passe para as formas não-láveis, que dificilmente estarão disponíveis para as plantas.

Menores teores de P com o envelhecimento da pastagem em solos tropicais fortemente intemperizados foram observados por Townsend et al. (2002) e Numata et al. (2007). Outras pesquisas mostraram que o conteúdo de nutrientes liberados para o solo após o corte e queima da floresta diminuiu rapidamente nos primeiros anos de conversão em pastagem (FEARNSIDE, 1980; BUSCHBACHER, 1984), porém, mais de 15 anos após a conversão, pode-se afirmar que o P total do solo em ambas as áreas é herdado do material original, considerado como propriedade primária do solo e como os solos amazônicos são altamente intemperizados, o P total não é afetado por mudança no uso da terra (SOLTANGHEISI et al., 2019).

Quando analisamos o percentual de cada fração na profundidade 0-10 cm (Figura 1), nota-se a diminuição gradual, com o avanço do tempo, sobre as frações lábeis e, o aumento das frações não lábeis.

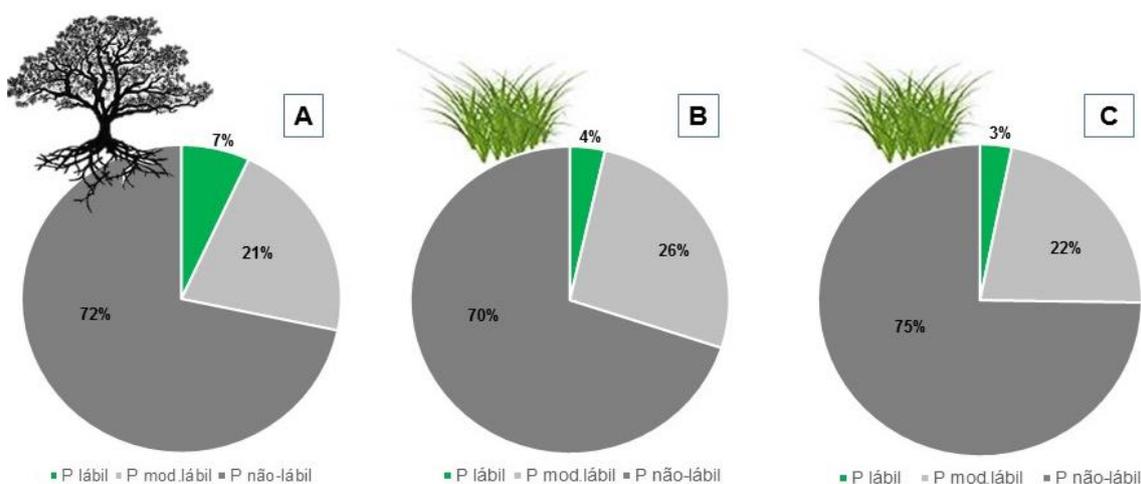


Figura 1- Fração lábil ( $P_{RTA}$ ;  $P_{o_{bic}}$ ), fração mod. lábil ( $P_{i_{hid0,1}}$ ;  $P_{o_{hid0,1}}$ ;  $P_{HCl}$ ) e não-lável ( $P_{i_{hid0,5}}$ ;  $P_{o_{hid0,5}}$ ;  $P_{residual}$ ) em um LATOSSOLO-VERMELHO Distrófico, cultivado com pastagens de 15 e 30 anos e floresta nativa adjacente, para a profundidade de 0-10 cm.

A conversão de floresta em pastagem alterou os padrões de P na área de estudo, onde o P era reciclado entre a biomassa acima do solo através da serapilheira para um sistema onde a ciclagem de P é dependente das transferências através da biomassa abaixo do solo da gramínea. Segundo

Garcia-Montiel et al. (2000) a decomposição da biomassa da raiz em pastagens estabelecidas libera P que é reciclado ou transformado em P orgânico do solo. Os autores sugeriram que a disponibilidade de P em pastagens mais velhas é provavelmente mantida por uma reciclagem mais rápida do P orgânico e algum equilíbrio entre as formas de P orgânica e ocluída, possivelmente mediada por micorrizas associadas às raízes. No entanto, os mesmos observaram que em pastagens com 20 anos ou mais, o reservatório de P ocluído compreendia uma fração menor do P total do solo (41-55%) do que nas florestas originais (63-65%), diferindo dos resultados observados no presente estudo.

#### **4.1.4 Dinâmica entre os atributos químicos e as frações de P no solo**

Para melhor compreender a dinâmica entres os atributos químicos com as frações de fósforo, realizou-se a análise dos componentes principais (PCA). Os resultados podem ser observados na Figura 2. A análise destaca dois agrupamentos distintos, conforme a distância entre as médias. A primeira componente principal (PC1) explica 46% dos dados e separa a área de floresta nativa das áreas de pastagem de 15 e 30 anos, essa separação ocorre pelos maiores valores encontrados para os atributos químicos pH em água e  $\text{CaCl}_2$ , P Mehlich 1, Ca, Mg, CTC, SB, V%, M.O e para as frações de  $\text{P}_{\text{IRTA}}$ ,  $\text{P}_{\text{O}_{\text{bic}}}$ ,  $\text{P}_{\text{hid0,1}}$ ;  $\text{P}_{\text{HCl}}$ ;  $\text{P}_{\text{hid0,5}}$ , com destaque para a profundidade 0-10 cm na área de floresta.

A segunda componente principal (PC2) explica 21% dos dados e separa as áreas de pastagem de 15 e 30 anos da área de floresta nativa. Observa-se uma dinâmica entre as áreas pastagens, através do aumento das concentrações de Al, H+Al,  $\text{P}_{\text{residual}}$ ,  $\text{P}_{\text{hid0,1}}$  e P inorgânico, conforme há aumento do tempo de abertura.



diferentes formas é muito variável e depende da intensidade de atuação dos fatores de formação do solo, sendo o grau de intemperismo um dos principais determinantes das quantidades de P em cada forma.

A relação da fração  $P_{\text{hid}0,1}$  com os maiores teores de Al nas áreas de pastagem, ocorrem, pelo fato de que essa fração é caracterizada pela extração do P quimissorvido aos óxidos de Fe e Al.

A matriz de correlação entre os atributos químicos do solo e frações de fósforo complementa as discussões acima (Figura 3). Nela é possível observar correlação positiva entre os de P residual com os teores de argila e Al. Demonstrando que os solos tropicais apresentam relação com óxidos de ferro, alumínio, caulinita e matéria orgânica (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001; CONTE et al., 2003; REIS, 2009).

Os teores de matéria orgânica se correlacionaram positivamente com os teores de P Mehlich 1,  $P_{\text{RTA}}$ ,  $P_{\text{bic}}$ ,  $P_{\text{hid}0,1}$ ,  $P_{\text{hid}0,5}$ ,  $P_{\text{HCl}}$ , P total e com os atributos químicos do solo. O que significa que o aumento de um promove aumento do outro.

A correlação negativa entre o P Mehlich 1, RTA e o teor de argila, pode estar relacionado ao aumento da capacidade de adsorção do nutriente presente na solução do solo.

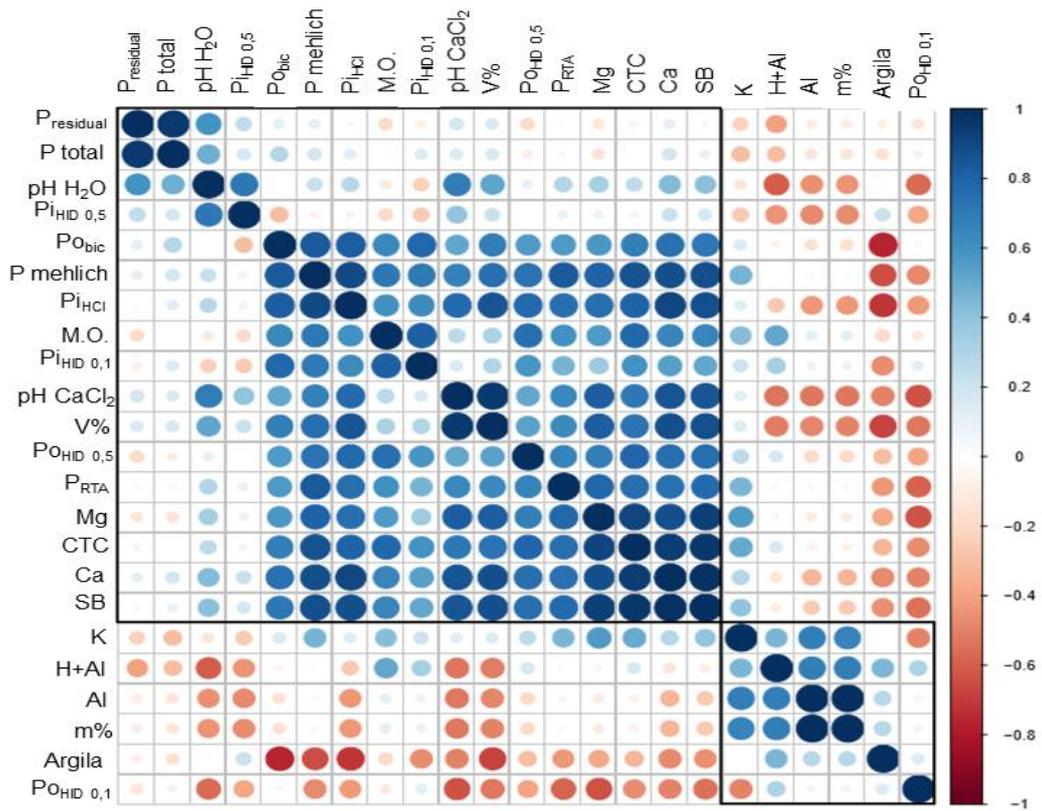


Figura 3- Matriz de correlação entre atributos químicos e frações de fósforo no solo. \*\*\*, \*\*, \*: 0, 0,1; e 1%, respectivamente pelo teste-t a 5% de probabilidade. Vermelho: correlação positiva; Preto: correlação negativa.

## 4.2 Alta Floresta, MT

### 4.2.1 Atributos químicos do solo

A área de floresta nativa apresentou os maiores teores de P, CTC, M.O, Al e H+Al, na profundidade 00-10 cm. Os maiores teores de Ca, Mg, pH, SB e V% foram encontrados para a área de pastagem de 35 anos, na profundidade 0-10. A área de pastagem de 20 anos apresentou os maiores teores de K, em ambas as profundidades (Tabela 7). Não houve diferença entre as áreas de floresta e pastagem 35 anos para os teores de P Mehlich 1 e Mg, na profundidade 10-20 cm.

Os menores teores de Ca encontrados na área de floresta podem estar relacionados a adição de resíduos orgânicos característicos dessa área, pois esses resíduos podem proporcionar a complexação de metais com os ácidos orgânicos de baixa massa molecular (acetato, formato, lactato, oxalato, malato e citrato) gerados da decomposição dos mesmos, agindo no sentido de diminuir a disponibilidade dos cátions em solução ou de aumentar sua disponibilidade pela ação nos sítios de adsorção desses metais (GUPPY et al., 2005; PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Geralmente, os teores de Ca e Mg aumentam na solução, por ocasião da adição de resíduos vegetais em solos com pH menor que 6,0 (POHLMAN; MCCOLL, 1986), no entanto, como os solos da região amazônica apresentam menor fertilidade, a biomassa pode estar imobilizando esses nutrientes na área de floresta, o que contribui para a não quantificação na análise de solo. Outro fator que pode ter colaborado para os maiores teores de Ca e Mg na área de pastagem de 35 anos, pode estar relacionada a suplementação mineral fornecida pelo produtor aos animais.

É possível observar que o aumento do pH reduziu os teores de Al e, conseqüentemente, a saturação por Al nas áreas de pastagens com o aumento do tempo de abertura. Os valores mais baixos de pH encontrados na área de floresta nativa podem, de acordo com Rodrigues et al. (2010), estar associados a maior deposição de serrapilheira e, conseqüentemente, o processo de decomposição gerar maior liberação de ácidos, o que diminui os valores de pH do solo. Segundo Mello et al. (1984), a matéria orgânica em decomposição fornece prótons H<sup>+</sup> e esses tendem a acidificar os solos. Esse resultado contrasta com o observado para o LVd.

Tabela 7- Atributos químicos de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVAd), cultivado com pastagens de 20 e 35 anos e floresta nativa adjacente, nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, Alta Floresta, MT, 2020.

Área	Profundidade (cm)	
	0-10	10-20
	-----pH (H <sub>2</sub> O) -----	
FN	4,3 c	4,3 c
P20	4,7 b	4,9 b
P35	5,8 a	5,3 a
	-----pH (CaCl <sub>2</sub> ) -----	
FN	4,1 b	4,1 c
P20	4,4 a	4,5 b
P35	4,5 a	4,6 a
	-----P Mehlich 1 (mg dm <sup>-3</sup> )-----	
FN	0,9 a	0,6 a
P20	0,4 c	0,3 b
P35	0,7 b	0,6 a
	-----K (mg dm <sup>-3</sup> ) -----	
FN	56,5 b	44,1 b
P20	87,2 a	68,3 a
P35	38,2 c	32,2 c
	-----Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )-----	
FN	0,5 b	0,3 c
P20	0,4 c	0,4 b
P35	0,8 a	0,7 a
	-----Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )-----	
FN	0,2 b	0,2 a
P20	0,1 c	0,1 b
P35	0,3 a	0,2 a
	-----Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----	
FN	1,1 a	1,0 a
P20	0,4 b	0,5 b
P35	0,4 b	0,3 c
	-----H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----	
FN	5,9 a	5,3 a
P20	3,6 b	3,5 b
P35	3,9 b	3,4 b
	-----CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----	
FN	6,9 a	5,8 a
P20	4,3 b	4,1 b
P35	4,8 b	4,4 b
	-----SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----	
FN	0,9 b	0,5 b
P20	0,7 b	0,7 b
P35	1,1 a	1,0 a
	-----V% -----	
FN	12 b	9 c
P20	21 a	15 b
P35	23 a	22 a
	-----M.O (g kg <sup>-1</sup> ) -----	
FN	27,7 a	20,9 a
P20	21,9 b	16,8 b
P35	21,4 b	19,2 a

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste t ( $p \leq 0,05$ ).

Associado aos menores teores de pH temos os maiores teores de alumínio no sistema florestal, isso ocorre pelo aumento da solubilidade do nutriente com a diminuição do pH. Entretanto, os maiores valores encontrados para a CTC a pH 7,0 observados para a área de floresta associam-se aos maiores teores de matéria orgânica. A acidificação citada anteriormente pela matéria orgânica é contrabalanceada pelo fornecimento de cargas negativas através da desprotonação dos grupos carboxílicos presentes nessa matéria orgânica, liberando cargas negativas e aumentando conseqüentemente a CTC do solo (DICK et al., 2009). Ciotta et al. (2003), verificaram o aumento da CTC de um solo após 21 anos de adoção de práticas com utilização de matéria orgânica.

#### **4.2.2 Frações de fósforo no solo**

As maiores concentrações de  $P_{iRTA}$ ,  $P_{ibic}$  e  $P_{iHCl}$  foram encontradas na área de floresta nativa na profundidade 0-10 cm (Tabela 8). Para os valores  $P_{ohid0,1}$  o maior valor foi encontrado na profundidade 00-10 para a área de pastagem de 20 anos, enquanto na profundidade 10-20, os maiores teores foram encontrados na área de floresta nativa. Os maiores valores para a fração  $P_{ihid0,1}$  na profundidade 0-10 cm, foram encontrados para as áreas de floresta e pastagem 35 anos.

Os teores de  $P_{ohid0,5}$  não se diferenciaram entre as áreas de floresta e pastagem de 35 anos em ambas as profundidades. Não houve diferença para os teores de  $P_{ihid0,5}$  e  $P_{residual}$  na profundidade 0-10, no entanto, para a profundidade 10-20, observou-se os maiores teores para as áreas de pastagem de 20 e 35 anos.

Os resultados obtidos para as variáveis  $P_{iRTA}$  e  $P_{ibic}$  se assemelham aos encontrados para o LVd. Uma vez que a biomassa através da decomposição dos resíduos orgânicos, pode liberar P na solução do solo na forma de Pi ou permitir seu acúmulo juntamente com a matéria orgânica. Os teores de  $P_{ohid0,1}$  também se assemelharam aos encontrados para o LVd, apresentando os maiores teores nas áreas de pastagem.

Tabela 8- Frações de fósforo em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVA<sub>d</sub>), cultivado com pastagens de 15 e 30 anos e floresta nativa adjacente, nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, Alta Floresta, MT, 2020.

Área	Profundidade (cm)	
	00-10	10-20
	-----P <sub>IRTA</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	3,49 a	1,82 a
P20	1,30 c	1,01 b
P35	1,75 b	1,31 b
	-----P <sub>o<sub>bic</sub></sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	8,86 c	9,56 a
P20	9,58 b	9,63 a
P35	10,49 a	9,86 a
	-----P <sub>i<sub>bic</sub></sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	24,42 a	12,34 a
P20	13,47 b	10,28 b
P35	9,28 c	10,67 b
	-----P <sub>O<sub>hid0,1</sub></sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	92,88 a	97,20 a
P20	92,63 a	66,47 b
P35	88,87 b	75,25 b
	-----P <sub>i<sub>hid0,1</sub></sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	65,59 a	3,35 c
P20	16,35 b	8,15 b
P35	63,49 a	19,25 a
	-----P <sub>i<sub>HCl</sub></sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	1,21 b	0,47 a
P20	1,39 b	0,46 a
P35	2,36 a	0,67 a
	-----P <sub>O<sub>hid0,5</sub></sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	47,67 a	36,41 a
P20	31,11 b	31,41 a
P35	53,37 a	35,12 a
	-----P <sub>i<sub>hid0,5</sub></sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	28,67 a	18,27 b
P20	24,88 a	31,61 a
P35	26,87 a	45,44 a
	-----P <sub>residual</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )-----	
FN	325,94 b	451,57 b
P20	460,16 a	578,79 a
P35	475,19 a	439,29 b

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste t ( $p \leq 0,05$ ).

A fração de P extraída por HCl se assemelhou ao estudo anterior. Os resultados são semelhantes com os obtidos por Garcia-Montiel et al. (2000). De acordo com os autores, houve declínio em pastagens mais velhas, os aumentos que ocorreram na extração HCl foram relativamente grandes em um período relativamente curto de tempo (3 a 5 anos após o corte da floresta).

Os maiores teores de P<sub>i<sub>bic</sub></sub> na área de floresta pode estar relacionado ao processo de mineralização do P orgânico extraído por bicarbonato.

O P orgânico e inorgânico extraído com NaOH 0,1 ( $P_{\text{hid}0,1}$ ) e 0,5 mol L<sup>-1</sup> ( $P_{\text{hid}0,5}$ ) representa o P orgânico de labilidade moderada e o P orgânico fisicamente protegido na superfície interna dos microagregados, respectivamente (CROSS; SCHLESSINGER, 1995; GATIBONI, 2003). As frações mod. lábeis de P são consideradas indisponíveis para absorção pelas plantas em curto prazo (CROSS; SCHLESINGER, 1995), no entanto, elas são responsáveis por reabastecerem o P lábil por longos períodos de tempo (FRIZANO et al., 2002).

Quando observamos os resultados encontrados para as frações de  $P_{\text{hid}0,1}$  e  $P_{\text{hid}0,5}$ , entre as áreas de estudo podemos inferir que o processo de queima da floresta libera o P que estava ligado a biomassa e isso dá início a uma série de mudanças no ecossistema e redistribuição de P entre a biomassa e os solos, e também dentro do solo nos reservatórios de P e após 35 anos de corte e queima dessa floresta, os teores podem estar voltando ao estado original nessas frações.

A concentração encontrada para as formas consideradas lábeis se diferenciou notoriamente dos resultados obtidos para o LVd (Figura 4). Esse resultado está relacionado aos maiores teores de  $P_{\text{O}_{\text{bic}}}$  e  $P_{\text{I}_{\text{bic}}}$  no PVAd. Enquanto no solo anterior as formas lábeis contribuíam com 7, 4 e 3%, respectivamente, no PVAd os teores contribuíam com 6, 4 e 3%. Dessa forma, foi possível observar dinâmica similar através da diminuição dos teores lábeis e aumento das lábeis com o aumento do tempo de abertura. Houve pouca diferença entre os teores considerados não-lábeis entre as áreas de pastagens de 20 e 35 anos.

Soltangheisi et al. (2019) encontraram valores altos para as frações lábeis, principalmente o  $P_{\text{O}_{\text{bic}}}$ , em solos amazônicos. Os autores atribuem ao maior intemperismo dessas áreas em comparação com estudos desenvolvidos anteriormente. Essas altas proporções para eles devem ser consideradas cautelosamente, pois, primeiramente, a extração de bicarbonato ocorre em pH 8,5, que mobiliza compostos orgânicos de P não solúveis sob a condição de campo com pH ácido. E em segundo lugar, apenas uma fração do  $P_{\text{O}_{\text{bic}}}$  pode ser considerada como disponível as plantas

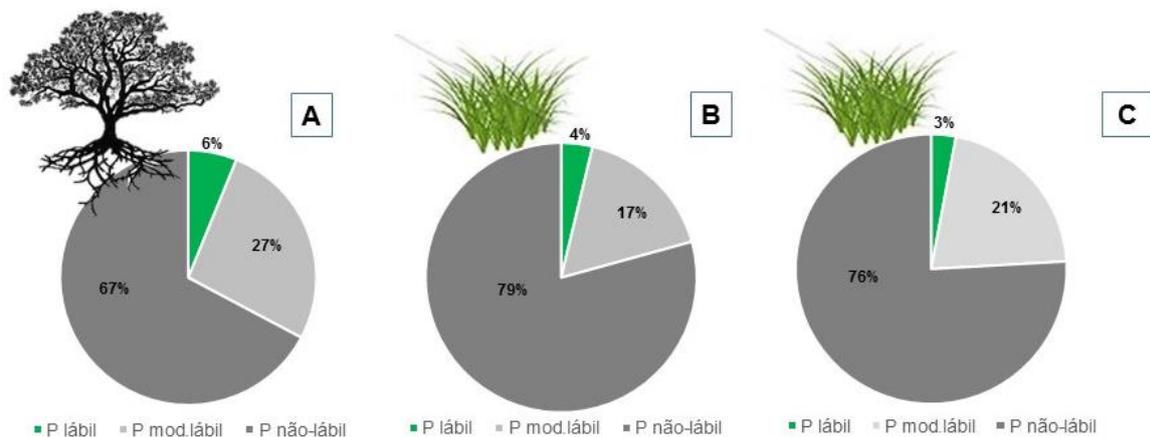


Figura 4- Fração lábil ( $P_{IRTA}$ ;  $P_{obc}$ ;  $P_{bic}$ ), fração mod. lábil ( $P_{hid0,1}$ ;  $P_{ohid0,1}$ ;  $P_{HCl}$ ) e não-lábil ( $P_{hid0,5}$ ;  $P_{ohid0,5}$ ;  $P_{residual}$ ) em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, cultivado com pastagens de 20 e 35 anos e floresta nativa adjacente, para a profundidade de 0-10 cm.

#### 4.2.4 Dinâmica entre os atributos químicos e as frações de fósforo no solo

Através da análise dos componentes principais (PCA), foi possível compreender a dinâmica de P e fertilidade nas áreas de estudo (Figura 5). A primeira componente principal (PC1) explica 41% dos dados e separa a área de floresta nativa das áreas de pastagem de 20 e 35 anos. Essa separação ocorre pelas maiores concentrações das frações de  $P_{residual}$ ;  $P_{bic}$ ;  $P_{hid0,5}$ ;  $P_{HCl}$  e P inorgânico, dos maiores valores de Ca, Mg, V%, SB, e também os maiores valores de pH, encontradas na área de pastagem de 35 anos, com destaque para a profundidade 0-10 cm.

A segunda componente principal (PC2) explica 30% dos dados e separa as áreas de pastagem de 20 e 35 anos da área de floresta nativa. Os maiores teores de  $P_{RTA}$ ;  $P_{obc}$ ;  $P_{hid0,1}$ ;  $P_{ohid0,5}$ ; P orgânico e os maiores valores de CTC, Al, H+Al, m% e matéria orgânica foram observados na área de floresta com destaque para a profundidade 0-10 cm.

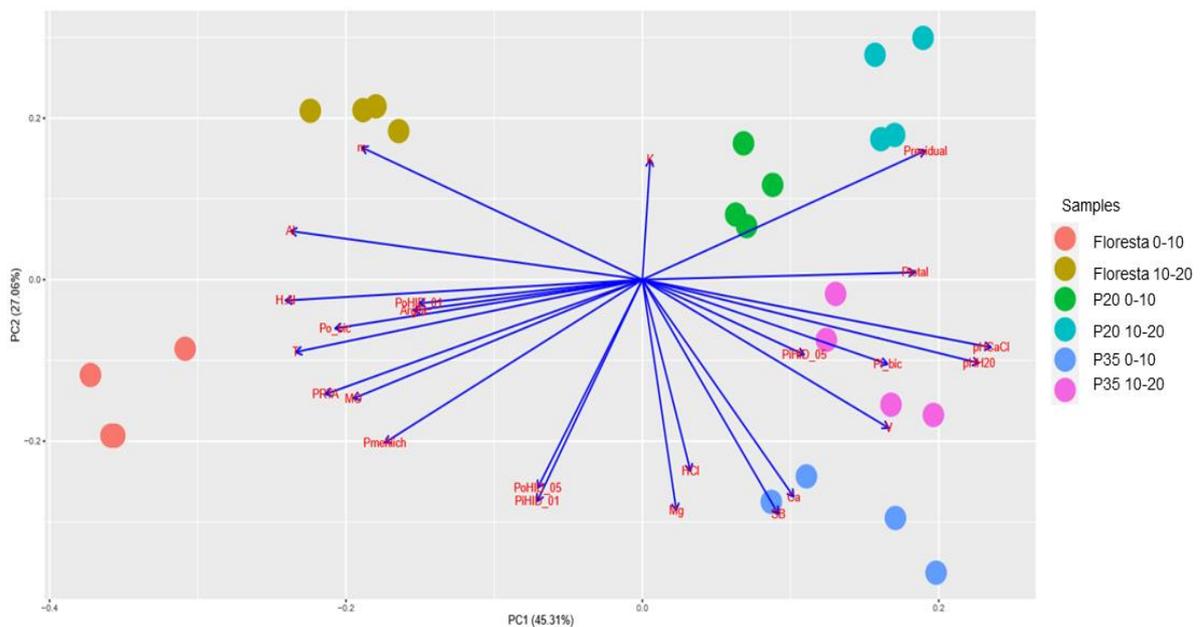


Figura 5- Análise dos componentes principais (PCA) sobre os atributos químicos do solo e das frações de fósforo em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, cultivado com pastagens de 20 e 35 anos e floresta nativa adjacente, Alta Floresta, MT, 2020.

Assim como o observado para o LVd podemos observar a dinâmica do  $P_{\text{residual}}$  e  $P$  inorgânico na pastagem com 35 anos de abertura. Indicando a maior contribuição nessa fração para os maiores teores de  $P$  inorgânico.

Ao contrário do observado para o LVd, os teores de cálcio foram maiores na área de pastagem de 35 anos, mas, assim como na propriedade anterior, houve relação entre o nutriente com os teores de  $P$  extraído por HCl.

Os teores de  $P$  orgânico,  $P_{\text{RTA}}$ ,  $P_{\text{ohid},0,5}$ ,  $P_{\text{ohid},0,1}$ ,  $P_{\text{Mehlich}}$  se relacionaram com os teores de matéria orgânica encontrados na área de floresta nativa, com destaque para a camada 0-10 cm. Assim como explicado para o LVd, a matéria orgânica possui grande influência sobre essas frações no solo.

A matriz de correlação entre os atributos químicos do solo e frações de fósforo complementa as discussões acima (Figura 6). Nela é possível observar que fósforo orgânico extraído por bicarbonato ( $P_{\text{ohid},0,5}$ ) teve correlação negativa com os teores de  $P_{\text{bic}}$ , o que indica que o aumento de um resulta em diminuição do outro.

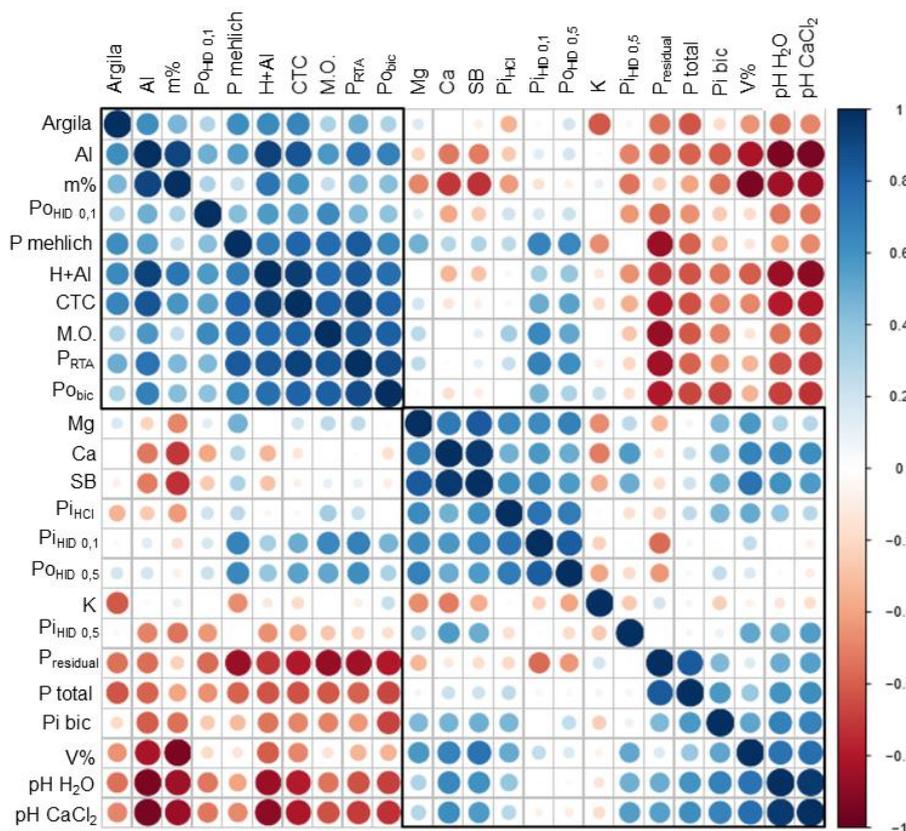


Figura 6- Matriz de correlação entre atributos químicos e frações de fósforo no solo. \*\*\*, \*\*, \* 0; 0,1; e 1, respectivamente pelo teste-t a 5% de probabilidade. Vermelho: correlação positiva; Preto: correlação negativa.

O mesmo se observa entre os teores de P<sub>O<sub>hid</sub>0,1</sub> e P<sub>I<sub>hid</sub>0,1</sub>, que apresentaram correlação negativa. Esse resultado indica que o aumento de uma forma de P causa diminuição da outra.

Vale ressaltar que as frações orgânicas e inorgânicas de P podem atuar como fonte ou dreno de P, dependendo das características mineralógicas, condições ambientais, do manejo empregado no solo e da fertilização desses solos (NOVAIS; SMYTH, 1999; PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Entretanto, em condições naturais, onde não há adição de fósforo, a dinâmica das formas de P indicam que a disponibilidade no nutriente está relacionada principalmente a ciclagem de formas orgânicas.

## 5. CONCLUSÕES

Os atributos químicos do solo foram influenciados pelo avanço do tempo de uso do solo das áreas de pastagens, sendo que, para a área de LVd observamos redução nos teores de nutrientes em comparação com as áreas de floresta.

Houve decréscimo nas frações de fósforo consideradas lábeis e aumento das frações não-lábeis com o aumento do tempo de uso do solo nas áreas de pastagens, para ambos os solos estudados.

Observou-se que houve dinâmica entre as formas de fósforo com os atributos químicos do solo, com destaque para os resultados obtidos para as formas de P extraídas por HCl e os teores de Ca, demonstrando o comportamento do P e Ca no solo.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Estugarda, v. 22, n.6, p. 711-728, 2013.

ARAGÃO, LUIZ E. O. C.; SILVA JUNIOR, CELSO H. L.; ANDERSON, L. O. **O desafio do Brasil para conter o desmatamento e as queimadas na Amazônia durante a pandemia por COVID-19 em 2020**: implicações ambientais, sociais e sua governança. São José dos Campos, 2020. 34p.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000.

BARRON, V.; HERRUZO, M.; TORRENT, J. Phosphate adsorption by aluminous hematites of different types. **Soil Science Society of America Journal**, United States, v. 52, n. 3, p. 647-651, 1988.

BECK, M.A.; SANCHES, P.A. Soil Phosphorus Fraction Dynamics during 18 Years of Cultivation on a Typic Paleudult. **Soil Science Society of America Journal**, United States, v. 58, n. 5, p. 1424- 1931, 1994.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, v.21, n.113, p.73-85, 1974.

BOLAN, N.S. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 134, n. 2, p. 189–207, 1991.

BROOKES, P.C., POWLSON, D.S., JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdã, v.14, n.4, p.319–329, 1982.

BUSCHBACHER, R.J. **Changes in Productivity and Nutrient Cycling Following Conversion of Amazon Rainforest to Pasture**. Doctoral dissertation. University of Georgia. 1984.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M.L.N.S.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; FREITAS, D.A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no pantanal sul-mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.3, p. 613-622, 2011.

CARDOSO, I.M.; JANSSEN, B.H.; OENEMA, O.; KUYPER, T.W. Phosphorus pools in Oxisols under shaded and unshaded coffee systems on farmers' fields in Brazil. **Agroforestry Systems**, Netherlands, n. 58, v. s/n, p. 55–64, 2003.

CERETTA, C. A.; LORENSINI, F.; GUSTAVO BRUNETTO, G. B.; GIROTTO, E., LUCIANO COLPO GATIBONI, L. C.; LOURENZI, C. R.; TIECHER, T. L.; CONTI, L.; TRENTIN, G.; MIOTTO, A. Frações de fósforo no solo após sucessivas

aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 593-602, 2010.

CHEN, C.R.; CONDRON, L.M.; DAVIS, M.R.; SHERLOCK, R.R. Effects of afforestation on phosphorus dynamics and biological properties in a New Zealand grassland soil. **Plant and Soil**, Netherlands v. 220, n.1/2, p. 151-163, 2000.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1161-1164, 2003.

CONDRON, L.M.; GOH, K.M.; NEWMAN, R.H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance analysis. **European Journal of Soil Science**, United Kingdom, v.36, n. 2, p. 199- 207, 1985.

CONTE, E.; ANGHINONI, I; RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n. 5, p. 893-900, 2003.

CROSS, A.F.; SCHLESINGER, W.H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, Netherlands, v.64, n.3-4, p.197-214, 1995.

DE SOUZA BRAZ, A. M.; FERNANDES, A. R.; ALLEONI, L. R. F. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in Amazon. **Land Degradation and Development**, Hoboken, v. 24, n. 1, p. 33-38, 2013.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: ALLEON, L.; MELO, V. eds. **Química e Mineralogia do Solo**, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p. 1- 68, 2009.

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. Determination of Orthophosphate in Aqueous Solutions Containing Labile Organic and Inorganic Phosphorus Compounds. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 6, n. 1, p. 82-85, 1977.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for sustainable environment**, Madison, Soil Science Society of America, 1994, p.3-21, (SSSA Special Publication, 35).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro nacional de pesquisa de solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

ESSINGTON, M.E. **Soil and water chemistry: An integrative approach**. Boca Raton: CRC Press, 2004. 534p.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.

FEARNSIDE, P.M. Os efeitos das pastagens sobre a fertilidade do solo na Amazônia Brasileira: consequências para a sustentabilidade de produção bovina. **Acta Amazonica**, Petrópolis, v.10, n. 1, p. 119–132, 1980.

FEARNSIDE, P.M. **Destruição e Conservação da Floresta Amazônica**, ed. 1. Editora do INPA: Manaus, 2020. 368 p.

FERREIRA JÚNIOR, L. G.; OLIVEIRA-SANTOS, C.; MESQUITA, V. V.; PARENTE, L. L. **Dinâmica das pastagens Brasileiras: Ocupação de áreas e indícios de degradação** - 2010 a 2018. Laboratório de processamento de imagens e geoprocessamento, Universidade Federal de Goiás, 2020.

FIXEN, P.E.; GROVE, J.H. Testing soils for phosphorus. In: WESTERMAN, R.L., ed. **Soil testing and plant analysis**. 3.ed. Madison, SSSA, 1990. p.141-180.

FRIZANO, J., JOHNSON, A.H., VANN, D.R., SCATENA, F.N. Soil phosphorus fractionation during forest development on landslide scars in the Luquillo Mountains, Puerto Rico. **Biotropica**, New Jersey, v. 34, n. 1, p. 17–26, 2002.

GARCIA-MONTIEL, D.C; NEILL, C.; MELILLO, J.; THOMAS, S.; STEUDLER, P.A.; CERRI, C.C. Soil Phosphorus Transformations Following Forest Clearing for Pasture in the Brazilian Amazon. **Soil Science Society of America Journal**, United States, v. 64, n. 5, p.1792-1804, 2000.

GATIBONI, L.C.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, A.F.C.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J.; LIMA, M.A.S. Phosphorus forms and availability assessed by<sup>31</sup>P-NMR in successively cropped soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v.36, n. 19, p.2625-2640, 2005.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.4, p.691-699, 2007.

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações. In: ARAÚJO, A.P.; ALVES, B.J.R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.8, p.141-187. 2013

GRAHAM, S.A., CRAFT, C.B., MCCORMICK, P.V., ALDOUS, A. Forms and accumulation of soil P in natural and recently restored peatlands—upper Klamath Lake, Oregon, USA. **Wetlands**, Netherlands, v. 25, n. 3, p. 594–606, 2005.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W.; BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 43, n. 2, p. 189-202, 2005.

HAVLIN, J. L. et al. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2005.

HERBERT, D.A., FOWNES, J.H. Phosphorus limitation of forest leaf area and net primary production on a highly weathered soil. **Biogeochemistry**, Amsterdã, v. 29, n.3, p. 223–235, 1995.

HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B.; CHAUHAN, B. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal**, United States, v.46, n.5, p.970–976, 1982.

HORTA, M.C.; TORRENT, J. **Dinâmica do Fósforo no Solo: Perspectiva Agronômica e Ambiental**. Castelo Branco: IPCB. 2010. 101 p.

JOHNSON, A.H.; FRIZANO, J.; VANN, D.R.; Biogeochemical implications of labile phosphorus in forest soils determined by the Hedley fractionation procedure. **Oecologia**, Germany, v. 135, n. 4, p.487–499, 2003.

LOURENTE, E. R. P. et al. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M. de O.C.; AZZOLLA, S. et al., **Fertilidade do solo**, São Paulo: Nobel, 400p. 1984.

MENDES, L. W. **Metagenome of Amazon Forest conversion: impacts on soil-borne microbial diversity and functions**. 2014. 99 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MUNSELL SOIL COLOR COMPANY. **Munsell soil color charts**, Munsell color, Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore, Maryland, USA. 1950, revised 1975.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 27, s/n, p.31-36, 1962.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NUMATA, I., CHADWICK, O.A., ROBERTS, D.A., SCHIMEL, J.P., SAMPAIO, F.F., LEONIDAS, F.C., SOARES, J.V. Temporal nutrient variation in soil and vegetation of post-forest pastures as a function of soil order, pasture age, and management, Rondônia, Brazil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Netherlands, v. 118, n. 1-4, p. 159–172, 2007.

OLSEN, S. R.; WATANABE, F. S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. **Soil**

**Science Society of America Journal**, United States, v. 21, n. 2, p.144-149, 1957.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais<sup>(1)</sup>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.3, p.911-920, 2008.

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.30, p.1-46, 1978.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, 2008.

POHLMAN, A. A.; MCCOLL, J. G. Kinetics of metal dissolution from forest soils by soluble organic acids. **Journal of Environmental Quality**, United States, v. 15, n. 1, p. 86-92, 1986.

R CORE TEAM, R. **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Determinação da Matéria Orgânica. In: RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A., eds. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. p.189-199.

REIS, T.H.P. **Dinâmica e disponibilidade de fósforo em solos cultivados com cafeeiro em produção**. 2009. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

RICHARDSON, A. E.; GEORGE, T. S.; MAARTEN, H.; SIMPSON, R.J. Utilization of soil organic phosphorus by higher plants. In: TURNER, B.L.; FROSSARD, E.; BALDWIN, D.S. (eds) **Organic phosphorus in the environment**, 1st edn. CABI Publishing, Cambridge, p. 165–184, 2005.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p. 151-160, 2001.

RHEINHEIMER, D. D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência rural**, Santa Maria. v. 33, n. 6, p. 1053-1059, 2003.

RHEINHEIMER, D.S.; MARTINAZZO, R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. & SILVA, L.S. Amplitude no fósforo microbiano em um Argissolo em pastagem nativa submetida à roçada e à introdução de espécies forrageiras com fertilização fosfatada em diferentes épocas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n.4, p. 561-567, 2008.

RODRIGUES, A.B.C. et al. Atributos Químicos em Solo sob Floresta Nativa e Capoeira. **UNICIÊNCIAS**, Cuiabá, v.14, n.1, 2010.

RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 1. ed. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, São Paulo, 2010.

SÁ, J.C.M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2004.

SERRÃO, A.S.; FALES, I.C.; VEIGA, J.B. da; TEIXEIRA NETO, J.F. **Produtividade de pastagens cultivadas em solos de baixa fertilidade das áreas de floresta do trópico úmido brasileiro**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1978. 73 p.

SILVA, M.A.; NÓBREGA, J.C.A.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; SÁ, J.J.G.; MARQUES, M.; MOTTA, P.E.F. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p.1197-1207, 2003.

SILVA, R. C. et al. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um Chernossolo com diferentes coberturas vegetais, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p.101-107, 2007.

SILVA NETO, S. P. et al. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 541-552, 2011.

SILVA NETO, S. P. et al. Dependência espacial em levantamentos do estoque de carbono em áreas de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n. 4, p. 547-556, 2012.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. **Soil survey manual**. Soil Conservation Service. U. S. Department of Agriculture Handbook 18.2017.

SOLTANGHEISI, A.; SANTOS, V. R.; FRANCO, H. C. J.; KOLLN, O.; VITTI, A. C.; DIAS, C. T. S.; HERRERA, W. F. B.; RODRIGUES, M.; SOARES, T. M.; WITHERS, P. J. A.; PAVINATO, P. S. Phosphate sources and filter cake amendment affecting sugarcane yield and soil phosphorus fractions. **Revista Brasileira De Ciência do Solo**, Viçosa, v. 43, n.1, p. 1- 17, 2019.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2. Ed., Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2004, 416p.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 2008, 329p.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry**: Genesis, composition, reactions. New York, John Wiley and Sons, 1994. 496p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TIESSEN, H., MOIR, J.O. Characterization of available P by sequential extraction. **Soil Sampling and Methods of Analysis**. 1. ed. Lewis Publishers: Boca Raton, p. 75-86,1993.

TOWNSEND, A.R.; ASNER, G.P.; CLEVELAND, C.C.; LEFER, M.E.; BUSTAMANTE, M.M. Unexpected changes in soil phosphorus dynamics along pasture chronosequences in the humid tropics. **Journal of geophysical research**, United States, v. 107, n. D20, p.1-9, 2002.

UEHARA, G.; GILLMAN, G. The mineralogy, chemistry, and physics of tropical soils with variable charge clays. **Soil Science**, v. 139, n.4, p.380, 1985.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Methods of chemical analysis for water and wastes. Cincinnati, 1971.

WRIGHT, A.L. Soil phosphorus stocks and distribution in chemical fractions for long- term sugarcane, pasture, turfgrass, and forest systems in Florida. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, v. 83, n. 3, p. 223–231, 2009.

VALE JÚNIOR, J. V.; SOUZA, M.I.L.; NASCIMENTO, P.P.R.R.; CRUZ, D.L.S. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável, **Revista Agroambiente On-line**, v. 5, n. 2, p.158-165, 2011.

VITOUSEK, P. M. Litterfall, Nutrient Cycling, and Nutrient Limitation in Tropical Forests. **Ecology**, Wiley Online Library, v. 65, n. 1, pp. 285-298, 1984.

XAVIER, F.A.S.; ALMEIDA, E.F.; CARDOSO, I.M.; MENDONÇA, E. S. Soil phosphorus distribution in sequentially extracted fractions in tropical coffee-agroecosystems in the Atlantic Forest biome, Southeastern Brazil. **Nutrient Cycling and Agroecosystems**, Netherlands, v. 89, s/n, p. 31–44, 2011.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A- ANÁLISE DA CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO

Realizou-se a análise da capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) em quatro amostras de solo, sendo: solo da área de floresta (moído; sem moer) e solo da área de pastagem 30 anos (moído; sem moer), escolhidos aleatoriamente. Adicionou-se 2 gramas de solo de cada amostra erlenmeyer de 125 mL. Em seguida 20 mL da solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  contendo P nas seguintes concentrações: (0; 2; 4; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 120  $\text{mg L}^{-1}$ ). Essas soluções foram agitadas por 24 horas em agitador horizontal. O teor de P na solução de equilíbrio (sobrenadante) foi determinado por colorimetria (BRAGA; DEFELIPO, 1974).

A hipótese para a realização deste teste era a de que o solo moído utilizado para a realização do fracionamento apresentaria maior capacidade de adsorção do que o mesmo solo sem moer e que este solo estaria adsorvendo o fósforo presente no reagente. Dessa forma utilizou-se duas amostras de solo aleatórias das áreas da propriedade para essa avaliação, sendo uma da área de floresta e outra da pastagem de 30 anos.

Houve aumento na capacidade de adsorção quando os solos da área de estudo passaram pelo processo de moagem. A energia de adsorção desses solos também foi maior quando o solo foi moído. Esse fator pode ter colaborado para a adsorção do fósforo do reagente.

Tabela 09- Capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) e energia de adsorção em duas amostras de solo (sem moer e moído) da área de floresta nativa (FN) e pastagem 30 anos (P30), Alta Floresta, 2020.

Solo	CMAP	Energia de adsorção	
		----- $\text{mg kg}^{-1}$ -----	
		FN	
Moído	541		121
Sem moer	522		114
		P30	
Moído	879		335
Sem moer	799		475

O P presente no reagente pode ter sido adsorvido ao Ca presente no solo, uma vez que o pH da solução de bicarbonato é calibrado para 8,5, favorecendo as ligações com o elemento.

Esse fósforo pode então ter sido extraído pelo  $Pi_{HCl}$ , apesar de os teores encontrados para as áreas de estudo terem sido muito baixos, eles apresentaram alta correlação.