



UFRR

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

CARLOS HENRIQUE LIMA DE MATOS

**EXTRATORES DE FÓSFORO DISPONÍVEL PARA SOLOS DO ESTADO DE
RORAIMA**

BOA VISTA

2014

CARLOS HENRIQUE LIMA DE MATOS

**EXTRATORES DE FÓSFORO DISPONÍVEL PARA SOLOS DO ESTADO DE
RORAIMA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima em parceria com a Embrapa Roraima, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Manejo do Solo e da Água.

Orientador: Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo.

BOA VISTA

2014

CARLOS HENRIQUE LIMA DE MATOS

**EXTRATORES DE FÓSFORO DISPONÍVEL PARA SOLOS DO ESTADO DE
RORAIMA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima em parceria com a Embrapa Roraima, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Manejo do Solo e da Água. Defendida em 31 de março de 2014 e avaliada pela seguinte banca:

Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo
Orientador / UFRR

Prof. Dra. Sandra Cátia Pereira Uchôa
Membro / UFRR

Prof. Dra. Karine Dias Batista
Membro / EMBRAPA-RR

Prof. Dr. Romildo Nicolau Alves
Membro / IFRR

A minha irmã,
Kelly Juliana Lima de Matos,
eterna princesa do lar.

AGRADECIMENTOS

Ao meu reencontro com Deus. Pelas bênçãos e milagres semeados em minha história. Por me mostrar o seu poder através das vitórias em minha vida.

Ao meu pai por ter me trazido à realidade e mostrado que a vida está além das paredes da Universidade. Por ter se mostrado meu amigo quando eu mais precisei, apoiando-me mesmo quando não concordava com minhas decisões. Por ter feito das minhas escolhas as suas.

À minha mãe, mesmo distante, que insiste em lembrar-se do seu filho e dizer que acredita nele. Por fazer questão de saber como estou, de me chamar atenção e acreditar que ainda tenho 11 anos.

Aos meus irmãos Anderson, Ana Victória e Matheus Matos pela cumplicidade durante todos esses anos. Pela torcida, incentivos e pensamentos positivos que me fizeram alcançar além do que eu poderia. Pelas brincadeiras, prosas e parceria. Pelo respeito que têm por seu irmão mais velho, muito obrigado.

À minha namorada, Kelen Almeida, por ter me trazido paz. Por me escutar, opinar, ajudar e confiar. Por me amar com meus erros e ter me escolhido como companheiro, pelas palavras de carinhos.

A CAPES/POSAGRO pela bolsa concedida durante os dois anos de vigência do mestrado. À UNIVASF e UFRR pelos anos de luta, pelas oportunidades, por um aprendizado a cada dificuldade, pelas frustrações e alegrias. Obrigado por fazerem parte da minha vida, serem minha realidade por tantos anos e deixarem um legado em minha história.

Ao professor Valdinar Melo pela confiança investida em mim. Por perceber um potencial e me orientar a fim de melhor aproveitá-lo. Pelas cobranças adjuntas aos louros das minhas vitórias. Por ter sido um amigo durante esse período e me cobrado como tal. Pelas orientações, contribuições, sugestões e reclamações, as quais foram muitas, obrigado.

Aos professores Sandra Uchôa e José Frutuoso do Vale Júnior por todos os ensinamentos na ciência do solo. Por terem investido em mim e acreditado que eu poderia ir além. Por me defenderem quando eu não poderia e me extraírem o máximo. Pela companhia, amizade e boas conversas, minha gratidão.

À professora Carmem Masutti por sua participação ativa na Iniciação Científica e TCC. Por mostrar que existe uma ciência da terra onde pisamos, plantamos e colhemos. Por dar mais que oportunidades, um rumo. Por dividir o seu pensamento de um mundo mais justo e me tomar como o seu filho.

Aos demais professores do POSAGRO que contribuíram para minha formação profissional e pessoal. Por se preocuparem com o aprendizado e colocá-lo acima dos objetivos pessoais.

Aos meus amigos Rafael Prado, Pedro Nascimento, Raimundo Pereira, Semiramys Silva, Luis Munaro, Alana Perondi, Karla Andrade, Thais Góes, Jéssica Roger, Ataiza Souza, Rafaella Mariano, Fábio e Fabrício Durães, Osvaldo Vasconcelos, Igor Silva e Henrique Souza por viverem minha vida como se fosse a deles. Pelas palavras ditas e pelos gestos de acalanto, por me procurarem quando eu não queria ajuda, tirarem-me de casa quando desejava ficar debaixo do travesseiro. Por me obrigarem a levantar e continuar, por me enfrentarem, ouvirem-me e não dormirem enquanto eu falava, obrigado.

A todos os meus companheiros de luta da UFRR e amigos de Roraima, em especial aos alunos da Graduação e Mestrado em Agronomia, que me fizeram rir, chorar, ajudar, reclamar, correr e parar. A Bárbara Silva, Cássia Nascimento, Danielly Silva, Dayane Santos, Deyse Silva, Dianaia Lopes, Elene Marçal, Jeysse Andrade, Monique Feitosa, Taiane Matias e Yara Cardoso. A Fernando Souza, Josimar Chaves e “Zé da Cantina”.

Aos que não foram citados pela limitação da minha lembrança e que têm fundamental importância na construção da minha história. A todos estes que entraram e garantiram o seu espaço, os meus agradecimentos mais sinceros.

Se eu soubesse antes o
que sei agora, erraria tudo
exatamente igual.

(Humbero Geissinger)

RESUMO

Os solos da região tropical úmida do Brasil são diversificados devido ao seu material de origem, clima e relevo. São, na sua maioria, de baixa fertilidade, sendo o fósforo (P) disponível nesses solos, geralmente, baixo. A dinâmica do P no solo torna sua determinação complexa, sobretudo pelas características distintas dos extratores. Objetivou-se com este trabalho avaliar a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) e a eficiência dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina na determinação do P disponível em solos representativos do estado de Roraima. Sete solos foram coletados em três regiões do Estado e determinadas suas propriedades morfológicas, mineralógicas, físicas e químicas. Para avaliar a CMAP dos solos, foi determinado o P remanescente (P-rem) dos solos em triplicata no laboratório para cada solo e quatro repetições. O P-rem de cada solo foi empregado para definir os padrões de P em solução a serem utilizados na determinação da CMAP por intermédio de isotermas de Langmuir. Para testar a eficiência dos extratores, foi conduzido experimento em condições de casa de vegetação. O delineamento empregado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 7 x 5, com quatro repetições. O primeiro fator consistiu dos sete solos (LA (ITÃ), LV (ITÃ), LA (SERRA DA PRATA), LA (CCA), PA (CCA), FT (BONFIM), SN (SURUMU)) e o segundo fator de cinco doses de P estimadas com base na CMAP de cada solo (0, 25, 50, 75 e 100% da CMAP). A parcela consistiu de um vaso de polietileno preto com 5 dm³ de solo e cinco plantas. A espécie utilizada foi o milho, híbrido 30F35YH – Pioneer, cultivada em duas fases de 30 dias com intervalos de dois dias. As doses de P foram aplicadas cinco dias antes do plantio utilizando o fosfato monopotássico (KH₂PO₄) como fonte. Amostra de solo de cada parcela (200 g) foi retirada antes do plantio para determinação do P disponível empregando os extratores. Ao final de cada período, fez-se o corte das plantas, acondicionando-as em saco tipo Kraft e levando-as à estufa de circulação forçada a 60° C para obtenção da massa seca. Foram realizados teste de correlação para CMAP *versus* energia de ligação, pH, matéria orgânica, argila e CTC, além da matéria seca x extrator e extrator x extrator. A CMAP é superior no FT (BONFIM) e LV (ITÃ) devido ao tipo de argila e teor da fração respectivamente. Considerando os solos representativos do estado, a CMAP não se correlaciona com nenhuma das propriedades do solo analisadas, obtendo relação forte com a argila quando elencados apenas os Latossolos e Argissolos. Os extratores Mehlich-3 e Bray-1 são mais sensíveis às variações das propriedades dos solos, não sendo indicados para grupos heterogêneos de classes de solos. O método da Resina apresenta as maiores correlações com os diferentes solos individualmente e agrupados. Este extrator demonstra-se adequado na determinação do P disponível para as plantas para os solos da região tropical úmida do país.

Palavras-chave: Mineralogia do Solo. CMAP. Extratores. Milho.

ABSTRACT

The soils of the humid tropical region of Brazil are diversified because of its source material, climate and topography. They are mostly low fertility, with available phosphorus (P) in these soils generally low. The dynamic of soil P becomes a complex determination, especially by the distinct characteristics of the extractors. The objective of this study was to evaluate the maximum phosphorus adsorption capacity (MPAC) and the efficiency of Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 and Resin extractors in the determination of available P in soils of the state of Roraima. Seven soils were collected in three regions of the state and determined its properties morphological, mineralogical, chemical and physical. To evaluate the MPAC of the soils, was determined the remaining P (P-rem) of the soil in triplicate for each soil in the laboratory and four replications. The P-rem of each soil was used to define the patterns of P in solution to be used in determining the MPAC by Langmuir isotherm. To test the efficiency of extracting, the experiment was conducted in greenhouse conditions. The design applied was in a randomized blocks design, in factorial scheme 5 x 7 with four replications. The first factor consisted of the seven soils (LA (ITA), LV (ITA), LA (SERRA DA PRATA), LA (CCA), PA (CCA), FT (BONFIM), SN (SURUMU)) and the second factor of five P rates estimated based on the MPAC of each soil (0, 25, 50, 75 and 100% of MPAC). The plot consisted of a black pot polyethylene with 5 dm³ of soil and five plants. The species used was corn, hybrid 30F35YH - Pioneer, grown in two phases of 30 day within interval of two days. The P was applied five days before planting using potassium dihydrogen phosphate (KH₂PO₄) as a source. Soil samples from each plot (200 g) were collected before planting to determine the available P using the extractors. At the end of each period, the plants were cut, packed in kraft bag and taking them to the forced circulation oven at 60 ° C to obtain the dry mass. Correlation test for MPAC versus binding energy, pH, organic matter, clay and T were performed, in addition to dry matter x extractor and extractor x extractor. The MPAC is higher in FT (BONFIM) and LV (ITA) due to the type and content of clay fraction respectively. Considering the representative soils of the state, the MPAC is not correlated with any of the soil properties analyzed, obtaining strong relationship with the clay when listed only the Oxisols and Ultisols. The Mehlich-3 and Bray-1 extractors are more sensitive to changes in soil properties and are not suitable for heterogeneous groups of soils. The resin method exhibit the highest correlation with the different soils individually and grouped. This extractor is demonstrated appropriate in determining of the available P for plants to soils of the humid tropical region of the country.

Key Words: Soil Mineralogy. MPAC. Extractors. Corn.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Localização dos perfis coletados para montagem do experimento | 25 |
| Figura 2 – Perfis de solo coletados para a montagem do experimento | 26 |
| Figura 3 – Condução do experimento de eficiência de extratores em solos do estado..... | 31 |
| Figura 4 – Difratometria de raio-x da fração areia dos solos estudados..... | 33 |
| Figura 5 – Difratometria de raio-x da fração silte dos solos estudados | 34 |
| Figura 6 – Difratometria de raio-x da fração argila dos solos estudados..... | 35 |
| Figura 7 – Isotermas de adsorção de Langmuir classificadas de acordo com a CMAP | 49 |
| Figura 8 – Extração de P através dos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina em diferentes doses de P aplicadas ao solo..... | 54 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Localização dos perfis coletados para montagem do experimento..... | 24 |
| Tabela 2 – Amplitude das doses de P necessárias para determinação da CMAP nos solos | 28 |
| Tabela 3 – Principais minerais encontrados nas frações areia, silte e argila dos solos estudados..... | 36 |
| Tabela 4 – Caracterização física dos perfis analisados no estudo | 39 |
| Tabela 5 – Caracterização química dos perfis analisados no estudo | 42 |
| Tabela 6 – Coeficientes da equação de Langmuir, CMAP, energia de ligação e correlação entre CMAP com características do solo (0-20 cm)..... | 50 |
| Tabela 7 – Coeficientes da equação linear referente à extração de P através dos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina nas diferentes dosagens aplicadas ao solo | 56 |
| Tabela 8 – Coeficientes da equação linear referente à extração de P através dos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina e a matéria seca do milho nos diferentes tipos de solo..... | 59 |
| Tabela 9 – Coeficiente de correlação linear para a relação extrator x matéria seca em cada solo, agrupados de acordo com a proporcionalidade de extração e na sua totalidade..... | 60 |
| Tabela 10 – Coeficiente de correlação linear para a relação extrator x extrator em cada solo..... | 63 |

SUMÁRIO

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 OBJETIVOS | 14 |
| 2.1 Geral | 14 |
| 2.2 Específicos | 14 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA | 15 |
| 3.1 O fósforo e as plantas | 15 |
| 3.2 Fósforo no solo..... | 16 |
| 3.3 Capacidade de adsorção de fósforo em solos de região tropical úmida brasileira | 17 |
| 3.4 Eficiência dos métodos de extração de fósforo..... | 19 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 23 |
| 4.1 Caracterização das regiões de amostragem..... | 23 |
| 4.2 Seleção e coleta das amostras de solo | 24 |
| 4.3 Análises mineralógica, física e química dos solos | 27 |
| 4.4 Determinação da Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo (CMAP)..... | 27 |
| 4.5 Experimento em casa de vegetação..... | 29 |
| 4.6 Extração de P pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina | 30 |
| 4.7 Análises estatísticas..... | 30 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 32 |
| 5.1 Caracterização morfológica e mineralógica dos solos | 32 |
| 5.3 Caracterização física dos solos | 38 |
| 5.3 Caracterização química dos solos | 41 |
| 5.4 Adsorção de P nos solos representativos do estado de Roraima | 48 |
| 5.5 Eficiência de extratores de P para os solos do estado..... | 53 |
| 5.5.1 Relação entre as doses de P aplicada e o extraído pelos diferentes métodos..... | 53 |
| 5.5.2 Correlação entre as quantidades de P extraídas pelos diferentes métodos e a matéria seca do milho produzida nas diferentes classes de solo | 58 |
| 5.5.3 Correlação entre os teores de P extraído pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina..... | 62 |
| 6 CONCLUSÕES | 64 |
| REFERÊNCIAS..... | 68 |
| APÊNDICES | 74 |

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de fósforo (P) no solo, seu transporte às plantas e, conseqüentemente, a produção das culturas, são diretamente influenciados pelo sistema de cultivo associado ao manejo da adubação fosfatada. Em solos brasileiros, a baixa disponibilidade do P, somada à sua baixa mobilidade e a alta reatividade a minerais de ferro e alumínio, faz com que este elemento seja o macronutriente mais utilizado nas adubações (BRASIL; MURAOKA, 1997; NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

Por sua vez, as plantas apresentam vários mecanismos e processos relacionados às suas características morfológicas e fisiológicas que contribuem para a aquisição e uso eficiente de nutrientes pouco disponíveis no solo, dentre esses, o P (ARAÚJO; MACHADO, 2006; COIMBRA et al., 2014). Atualmente, diversas espécies exigentes em P vêm sendo utilizadas em pesquisas de dinâmica desse elemento em solos de baixa fertilidade ou que apresentam quantidades disponíveis insatisfatórias desse nutriente (CORRÊA et al., 2008).

Na Amazônia, diversos autores apontam variação de adsorção de P entre as diferentes classes de solos da região (FALCÃO; SILVA, 2004). Em Roraima, Melo et al. (2006), Silva et al. (2010) e Melo, Schaefer e Uchôa (2010) afirmam que, em virtude do caráter caulínítico que possuem, os solos apresentam baixa adsorção de P, exceto os Latossolos e Argissolos Vermelho e Vermelho-Amarelos oxídicos do Estado.

A avaliação do P no solo é determinada por meio de vários métodos que apresentam capacidades diferentes de extração, onde nem sempre se correlacionam com o P absorvido pelas plantas. A aptidão em extrair P de diferentes classes de solo se dá em função de cada metodologia de extração utilizada, razão pela qual enfatiza-se a importância de avaliar a disponibilidade de P nos solos determinada por diferentes métodos de extração (SILVA; RAIJ, 1999; FREITAS et al., 2013).

Dentre esses métodos, destacam-se os de extração química, que possuem capacidade de solubilizar o P adsorvido às cargas positivas do solo, onde os extratores ácidos (Bray-1, Mehlich-1 e Mehlich-3) extraem o P ligado ao cálcio, ao ferro e alumínio em proporções diferentes (RAIJ; FEITOSA, 1980; SILVA et al.,

2008; GONÇALVES et al., 2012; STEINER et al., 2012; FREITAS et al., 2013). Outro método de extração utilizado é o da resina trocadora de íon, que extrai, em princípio, apenas as formas lábeis de P sem a utilização de qualquer reagente químico. Esse método se baseia no fato de o solo ser um trocador de íons, sendo o pH da suspensão resina-solo semelhante ao pH do solo (SILVA; RAIJ, 1999).

No Brasil, os métodos de avaliação utilizados estimam de forma razoável a disponibilidade de P para as plantas, tanto sob as condições naturais de fertilidade, quanto sob uso de adubações com fosfatos solúveis (SOUZA et al., 2011). Nesse contexto, a compreensão dos fenômenos básicos da dinâmica do P no solo torna-se necessária, pois permite tomada de decisão eficiente sobre a necessidade, definição de doses e modo de aplicação de fertilizantes fosfatados. Estudos inerentes à disponibilidade do P são necessários, e devem ser realizados em função dos diferentes ambientes e da diversidade pedológica do país.

Logo, a hipótese central do presente trabalho é que os métodos de extração variam na sua capacidade de extrair o P em função das propriedades do solo, influenciando, assim, na recomendação de adubação e, conseqüentemente, na produção da planta.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a adsorção e disponibilidade de P no solo através dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e resina trocadora de ânions em sete classes de solos representativas do estado de Roraima.

2.2 Específicos

- a) Determinar a CMAP dos solos estudados;
- b) Correlacionar a CMAP com propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos;
- b) Correlacionar o fósforo extraído pelos diferentes métodos e a massa seca do milho;
- c) Propor método de avaliação do P disponível adequado para solos de Roraima.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O fósforo e as plantas

O fósforo (P), nutriente em todo o ciclo de desenvolvimento dos vegetais, está associado a vários processos fisiológicos das plantas, como a fotossíntese, a divisão celular e a utilização de açúcares e amido, além de desempenhar importante papel no processo de formação de sementes e estimular o desenvolvimento radicular quando utilizado em quantidades adequadas (COIMBRA et al., 2014).

Na planta, o P é encontrado na estrutura do DNA (ácido desoxirribonucleico), RNA (ácidos ribonucleicos), polímeros de nucleotídeos, ésteres, fósforo inorgânico (Pi) e ATP (adenosina trifosfato). É pouco móvel no solo e seu suprimento às plantas se dá, principalmente, por difusão, que é um processo dependente da umidade do solo e da superfície radicular (ARAÚJO; MACHADO, 2006; NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007; LEÃO; FREIRE; MIRANDA, 2011).

Em solos mais intemperizados, a baixa disponibilidade de P às plantas tem sido apontada como a principal causa do baixo desenvolvimento da maioria das culturas em regiões tropicais (BROGGI et al., 2010). De acordo com Coimbra et al. (2014), o P é um macronutriente que está, frequentemente, em concentrações inferiores às necessidades das culturas na solução do solo. Isso ocorre devido ao P possuir capacidade de formar compostos de alta energia ligados aos colóides, mantendo-o estável na fase sólida do solo. Dessa forma, apenas uma pequena fração estará disponível para as plantas, independente do P total do solo (CHAVES; CHAVES; MENDES, 2007; NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

Como consequência, a absorção de P pelas espécies vegetais depende de diversos mecanismos que facilitam este processo, tais como, a acidez na rizosfera, o dreno por Ca e P e o próprio ciclo da cultura. Ademais, o suprimento da necessidade da planta com relação ao P é feito por meio da aplicação do elemento através de adubações que promovem o crescimento radicular, compensando parcial ou totalmente a baixa disponibilidade de P do solo (SILVA et al., 2010). Isso demonstra que a eficiência de absorção e as fontes de P não devem ser consideradas apenas quanto ao solo, mas também à espécie cultivada e sua capacidade de absorção desse nutriente (ARAÚJO; MACHADO et al., 2006).

3.2 Fósforo no solo

Sem dúvidas, devido à resposta apresentada às espécies vegetais e à sua complexa dinâmica no solo, o P é um dos principais nutrientes na agricultura brasileira. Em solos tropicais, sua adsorção aos oxi-hidróxidos de Fe e Al, presentes, principalmente, nos solos altamente intemperizados, e precipitação em formas catiônicas de Fe, Al e Ca, tornam o P pouco disponível para as plantas (SANTOS; KLIEMANN, 2005; CHAVES; CHAVES; MENDES, 2007).

Nos solos amazônicos, as principais limitações quanto à fertilidade são: elevada acidez, baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e ânions (CTA), deficiência de N, P, K, S, Ca, Mg, B, Cu e Zn, além da baixa capacidade de fixar o P aplicado como fertilizante (BRASIL; MURAOKA, 1997). A concentração de P no solo é mantida, via de regra, pela ciclagem biológica do material orgânico advindo da cobertura vegetal (MELO et al., 2006).

Para a obtenção de informações inerentes à fertilidade e ao teor de P disponível do solo, faz-se a utilização da análise química, que atualmente é a prática utilizada na determinação de recomendação para adubações fosfatadas (RAIJ; FEITOSA, 1980; SILVA et al., 1999; BORTOLON; GIANELLO; SCHLINDWEIN, 2009). A avaliação da disponibilidade de P em um solo é uma prática resultante da ação integrada dos seguintes fatores: Intensidade (I), que é a concentração do nutriente do solo; Quantidade (Q), que se refere ao quantitativo do nutriente que está adsorvido e, ou, precipitado, porém em equilíbrio com o fator Intensidade (I); e o Fator Capacidade de Fósforo (FCP), que é a capacidade de resistência que o solo apresenta em influenciar os valores de Intensidade (I) (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007; SILVA et al., 2008; CORRÊA; NASCIMENTO; ROCHA, 2011).

Segundo Souza et al. (2011), a avaliação do P disponível no solo pode apresentar problemas de correlação entre o P disponível às plantas e o P avaliado pelo extrator, onde, através da fonte de P utilizada e das características do solo e da planta, essa correlação pode ser ajustada para cada tipo de extrator utilizado. Para Corrêa et al. (2008), a extração de P do solo pode ser afetada pela ação das seguintes propriedades inerentes ao solo: teor e tipo de argila, CTC, poder tampão, absorção de Ca e de P, teor de matéria orgânica (M.O.) e a umidade do solo, visto que, esses fatores afetam a solubilização do P no solo. Solos que apresentam baixos teores de argila, elevado valor de P-remanescente (P-rem) e baixa

capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP), apresentam maiores extrações de P (MOREIRA et al., 2006).

As análises químicas realizadas no Brasil dão a noção apenas do valor quantitativo (Q) dos teores de P disponível do solo, visto que, também, torna-se necessário, para a correta interpretação da disponibilidade de P, o conhecimento do fator capacidade de fósforo (FCP) do solo, que é estimado a partir das correlações deste fator com as propriedades do solo, como o teor de argila e P-rem (SILVA; RAIJ, 1999; SILVA et al., 1999). No entanto, para Schlindwein e Gianello (2008), a inclusão da argila nos estudos de correlação aumentam o tempo de entrega dos resultados e dificulta a interpretação da real disponibilidade de P no solo, em particular os solos de textura argilosa.

Segundo Corrêa et al. (2008), as propriedades do solo que refletem o FCP devem ser consideradas nas recomendações de adubação fosfatada, uma vez que essas propriedades determinam a capacidade de adsorção de P do solo. Dessa forma, diferenças de absorção podem ser ajustadas, estimando, assim, as quantidades de P disponíveis que devem ser aplicadas no solo (BROGGI et al., 2010).

De acordo com Novais, Smyth e Nunes (2007), após a aplicação e a posterior dissolução de um fertilizante fosfatado, praticamente todo o P é retido na fase sólida do solo, formando compostos de baixa solubilidade. Porém, as plantas possuem capacidade de aproveitar parte desse P retido, num processo denominado recuperação (ARAÚJO; MACHADO, 2006). Esse processo é dependente de vários fatores, tais como: a espécie cultivada, a acidez do solo, a granulometria e forma de aplicação dos fertilizantes fosfatados, os quais afetam, de forma diferenciada, a dinâmica dreno-fonte e a capacidade de absorção do P do solo.

3.3 Capacidade de adsorção de fósforo em solos de região tropical úmida brasileira

O solo pode funcionar como fonte ou dreno de P a depender da sua capacidade de suprir as necessidades das plantas ou competir com elas, fixando parte do P adicionado ao solo. Com o aumento do intemperismo, os solos passam de fonte a dreno devido ao aumento da sua capacidade de adsorção de ânions

através de sítios ativos positivos formados, principalmente, pelos óxi-hidróxidos de Fe e Al (FARIAS et al., 2009).

A capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) e a energia de ligação podem estimar e quantificar o poder de adsorção de ânions dos solos (RANNO, 2007). A utilização da isoterma de Langmuir tem sido comum na determinação desses fatores, por conter um parâmetro quantitativo relacionado à CMAP e um qualitativo que expressa a energia de ligação entre os ânions e os sítios de absorção (FARIAS et al., 2009). Segundo Corrêa, Nascimento e Rocha (2011), a utilização das isotermas traz duas vantagens: a primeira é a capacidade de estimar os atributos de adsorção do P e a segunda é a possibilidade de se conhecer a natureza dos processos de adsorção desse elemento. Essa estimativa depende das características do material de origem, teor e mineralogia da argila, presença de óxidos de ferro e alumínio, pH e M.O. que influenciam na retenção de P (RANNO, 2007).

Outro fator que influencia a CMAP dos solos é a mineralogia da argila. Para Broggi et al. (2011), o processo de adsorção nesta fração pode seguir a seguinte ordem preferencial: argilas 2:1 < argilas 1:1 < óxidos cristalinos de Fe e Al < óxidos amorfos de Fe e Al. Os minerais que apresentam grupamentos superficiais Fe-OH e Al-OH influenciam diretamente a adsorção de fosfato por meio de trocas de ligantes (quimiossorção), sendo, ainda, essa adsorção potencializada pela forma estrutural e superfície de contato de cada mineral (FONTES; CAMARGO; SPOSITO, 2001).

As argilas silicatadas possuem baixa capacidade de adsorção de ânions, sendo os argilominerais do tipo 1:1 os com maior retenção. A caulinita, por apresentar apenas superfícies externas, é um mineral que possui baixos valores de superfície de contato quando comparada a outros argilominerais, como a montmorilonita, que apresenta elevada superfície interna e externa (CHAVES; CHAVES; MENDES, 2007; RESENDE et al., 2011). Esse fator justifica a baixa adsorção de cátions em solos cauliníticos (RANNO et al., 2007; BROGGI et al., 2011).

Por outro lado, os óxidos de ferro e alumínio elevam a adsorção de ânions, sobretudo os fosfatos, através das cargas positivas formadas em pH ácido ou por meio de “pontes” criadas pela ligação parcial entre os óxidos e cátions como Ca^{2+} e Al^{3+} (SILVA; RAIJ, 1999). O aumento dos teores de óxidos de ferro e alumínio

influencia a capacidade de adsorção de ânions dos solos a depender da sua concentração e acidez do solo (RANNO et al., 2007; PINTO et al., 2013).

Há controvérsia do papel da M.O. na adsorção de ânions devido a sua ambivalência. Ao mesmo tempo que a M.O. oferece ao solo cargas positivas oriundas dos radicais carboxílicos e fenólicos em pH ácido, pode também bloquear os sítios ativos do fosfato no solo, em destaque os óxidos de Fe e Al (CHAVES; CHAVES; MENDES, 2007). A redução da adsorção de P tem sido atribuída à ação do ácido carbônico sobre a solubilização de minerais contendo P, à formação de complexos com o húmus, fazendo com que o P possa ser absorvido pelas plantas, ao aumento da competição entre ânions orgânicos e o fosfato pelos sítios de adsorção de P, e pela formação de camadas de húmus ao redor dos óxidos de Fe e Al, diminuindo o poder de adsorção desses óxidos (MOREIRA et al., 2006; NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007; PINTO et al., 2013).

Em solos ácidos, a resposta das plantas aos fertilizantes fosfatados pode ser afetada pela concentração de óxidos de Fe e Al que adsorvem quimicamente o P (MOREIRA et al., 2006; CHAVES; CHAVES; MENDES, 2007; FARIAS et al., 2009; VILAR et al., 2010; BROGGI et al., 2011). De acordo com Falcão e Silva (2004), o aproveitamento do P solúvel adicionado ao solo, por meio da adubação, varia de 5% a 25%. O restante desse P se torna indisponível para as plantas por fixação ao solo. Essa disponibilidade do P depende do pH de cada solo, pois os compostos reativos com fosfatos variam entre solos ácidos e alcalinos (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007)

Na Amazônia, altos teores de caulinita e baixos teores de óxidos de ferro e alumínio são responsáveis pela baixa capacidade de adsorção de P em cerca de 90% dos solos da região (SMYTH, 1996). Essa baixa capacidade pode ser influenciada pelos teores de argila e M.O. contidos nesses solos. Segundo Melo et al. (2006), a alta capacidade de adsorção de fosfato em solos da região amazônica é encontrada em solos com maiores teores de argila, ferro livre e ferro total.

3.4 Eficiência dos métodos de extração de fósforo

A avaliação do P disponível no solo normalmente é realizada pelo uso de extratores ácidos, caso de Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$), Mehlich-3 ($\text{NH}_4\text{F } 0,015 \text{ mol L}^{-1} + \text{CH}_3\text{COOH } 0,2 \text{ mol L}^{-1} + \text{NH}_4\text{NO}_3 \text{ } 0,25 \text{ mol L}^{-1} +$

HNO_3 0,013 mol L^{-1} + EDTA 0,001 mol L^{-1}) e Bray-1 (HCl 0,025 mol L^{-1} + NH_4F 0,03 mol L^{-1}), e pela resina trocadora de ânions. A escolha do extrator adequado para determinação do P disponível nos solos de determinada região depende da correlação entre o teor de P do extrator e o conteúdo de P da planta (RAIJ; FEITOSA, 1980; BRASIL; MURAOKA, 1997; SILVA et al., 1999; SILVA et al., 2008; BORTOLON; GIANELLO; SCHLINDWEIN, 2009; STEINER et al., 2012). No entanto, existem contestações quanto ao extrator que melhor expressa a disponibilidade de P às plantas (SANTOS; KLIEMANN, 2005; SOUZA et al., 2011; GONÇALVES et al., 2012).

No Brasil, os extratores Mehlich-1 e resina são os mais utilizados nos laboratórios de análises de solo, tendo em vista que a eficiência desses extratores se dá em função da relação entre o elemento extraído e as características do solo (GATIBONI et al., 2002; SANTOS; KLIEMANN, 2005; STEINER et al., 2012). Os extratores ácidos, por apresentarem facilidades na aquisição de extratos límpidos por decantação e oferecerem baixo custo de análises, são mais viáveis para o uso em rotina de laboratório (SILVA; RAIJ, 1999). Esses extratores agem de formas diferenciadas dependendo do tipo de solo, pois possuem diferentes capacidades em dissolver e solubilizar o P dos compostos fosfatados (RAIJ; FEITOSA, 1980; BRASIL; MURAOKA, 1997; SANTOS; KLIEMANN, 2005; SOUZA et al., 2011; FREITAS et al., 2013).

Para a determinação do fósforo disponível do solo, a maioria dos laboratórios de análise química presentes na Amazônia utiliza como extrator principal o Mehlich-1, mesmo com estudos insipientes sobre sua eficiência nessas regiões (BRASIL; MURAOKA, 1997). No entanto, esse método vem sendo pouco indicado para solos argilosos, principalmente onde houve aplicação de fosfatos pouco solúveis em água, devido à excessiva extração da forma P-Ca por esse método, indisponível para as plantas (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

Segundo Novais, Smyth e Nunes (2007), os valores de P disponível em solos argilosos têm sido frequentemente subestimados pelo extrator Mehlich-1, principalmente em solos com pH mais elevados, devido à exaustão do extrator em consequência da elevada CTC e ineficácia na extração de P ligado a Fe e Al. Por outro lado, com o mesmo extrator, valores superestimados de P disponível são observados em solos com predomínio de P e Ca em função de sua gênese e da

utilização de fosfatos pouco solúveis (GONÇALVES et al., 2012; FREITAS et al., 2013). Embora os resultados encontrados por Mehlich-1 sejam variáveis em função das propriedades de cada solo, em vários trabalhos esse extrator tem sido mais satisfatório do que o método da Resina, por apresentar correlação superior entre o P disponível e o absorvido pelas plantas (SANTOS; KLIEMANN, 2005; SILVA et al., 2008).

Para solos que apresentam amplas variações de propriedades químicas, o extrator químico Bray-1 vem sendo o mais recomendado, devido à sua ação complexante do Al^{3+} pelo fluoreto (BRASIL; MURAOKA, 1997). Já para solos ácidos, o extrator Mehlich-3 é o mais difundido, além de ter despertado o interesse de pesquisadores na avaliação da disponibilidade de fósforo. Segundo Bortolon e Gianello (2008), o Mehlich-3 é considerado mais econômico para análises laboratoriais de solo, principalmente, devido sua capacidade de extrair simultaneamente outros nutrientes, além do P, como K, Ca, Mg, Na, B, Cu, Fe, Mn, Zn. De acordo com Bortolon, Gianello e Schlindwein (2009), esse extrator é adequado para substituir o Mehlich-1 na avaliação do P disponível nos solos do estado do Rio Grande do Sul.

Quanto ao método da resina trocadora de ânions, Silva e Raij (1999) consideraram vários aspectos favoráveis desse extrator, como: elevada correlação entre P absorvido pela planta e P extraído do solo, uso eficiente em solos ácidos e alcalinos, revela efeito da calagem na disponibilidade de P, além de não superestimar o P em solos tratados com fosfatos naturais, sendo o que apresenta melhor embasamento teórico para a determinação do fator quantidade de P nos solos. Segundo Gonçalves et al. (2012), a Resina se fundamenta na premissa de simular o comportamento do sistema radicular das plantas no momento da absorção de P, além de não promover alterações químicas naturais do solo, apresentando, com isso, resultados satisfatórios comparados aos demais extratores.

Os resultados quanto à eficiência dos extratores na determinação do P disponível no solo são diversos e demonstram a importância desses estudos na definição do método de extração para cada região. Silva et al. (1999), na avaliação dos métodos de extração Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina, constataram que a Resina foi o extrator que obteve melhor correlação com a matéria seca e P absorvido pelo feijoeiro para três tipos de fontes de P em Latossolos do Mato Grosso do Sul.

Diversos autores chegaram a mesma conclusão (SILVA; RAIJ, 1999; SOUZA et al., 2011; GONÇALVES et al., 2012), justificando que a metodologia da Resina garante extração de P semelhante à das raízes. Por outro lado, Brasil e Muraoka (1997) observaram correlações positivas na extração com Mehlich-3, sendo este método e o Bray-1 os mais sensíveis às variações do solo, como teor e mineralogia da argila. Essa sensibilidade também foi observada por Bortolon e Gianello (2008) no estudo de extratores de P no Rio Grande do Sul. Há ainda autores que não observaram diferenças consideráveis entre os extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina (RAIJ; FEITOSA, 1980; SANTOS; KLIEMANN, 2005; SILVA et al., 2008; STEINER et al., 2012; FREITAS et al., 2013).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterizações das regiões de amostragem

O estado de Roraima é composto por três biomas: Florestas, Campinaranas e Savanas, com a última ocupando a região central do estado (VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010).

O Estado possui clima classificado como Aw (tropical chuvoso sem estação fria), quente e úmido, apresentando período seco (dezembro a março) e chuvoso (maio a agosto) bem definido segundo a classificação climática de Köppen. De acordo com Barbosa (1997), a temperatura média anual é da ordem de 25 °C e a precipitação pluvial varia de 1100 mm na fronteira com a Venezuela, 1600 mm na região central do estado até 2900 mm na região sul.

No centro-sul do Estado, particularmente na região do Itã, encontram-se solos oriundos de rochas vulcânicas ácidas (granitos/gnaisses) que fazem parte do embasamento Cristalino Brasileiro. Esse material produz solos de matiz amarelada, predominando os Argissolos e Latossolos Amarelos, ácidos e de baixa fertilidade. Os solos avermelhados da região são originados da Suíte Intrusiva Serra da Prata, constituída de hiperstênio, granitos e gnaisses, e Suíte Metamórfica Rio Urubu, composta por biotita-gnaisse e metagranitóides, devido à riqueza em minerais como biotita e plagioclásios, elevando a fertilidade desses solos (BRASIL, 1998). A vegetação é classificada como Floresta Ombrófila Aberta, contribuindo com a ciclagem de nutrientes.

A região central do Estado é derivada de sedimentos pré-intemperizados da Formação Boa Vista acumulados em bacia rasa, datadas do final do período Terciário e início do Quaternário, de mineralogia caulínica e pobre em óxidos de ferro (VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010). Por conseguinte, são solos ácidos, de baixa fertilidade, M.O., CTC e elevada m% (BRASIL, 1984; RODRIGUES et al., 2000; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010; BENEDETTI, 2011). As principais classes representativas dessa Formação são os Latossolos e Argissolos amarelos. Ocorre, pontualmente, a presença de relevos residuais provenientes de granitos e gnaisses do Complexo Guianense ou do basalto da Formação Apoteri, responsável pelos solos vermelhos encontrados em menor evidência na região (VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010). A vegetação varia de Savana Graminosa a Savana Parque

sobre solos provenientes de sedimentos até ilhas de floresta nas inclusões de solos oriundos do basalto.

No extremo norte se distribui o domínio da depressão sedimentar e pediplano do Surumu, Parimé e baixo Cotingo. Nessa região, encontra-se grandes manchas de Planossolos Háplicos e Planossolos Nátricos, com elevada saturação por sódio, oriundos de rochas vulcânicas ácidas e intermediárias (riolitos, dacitos e riodacitos) (VALE JÚNIOR et al., 2011). Os principais minerais que formam essas rochas são quartzo, feldspato potássico e plagioclásio sódico. A vegetação apresenta características intrínsecas, em transição de savana para caatinga, sendo comum as espécies *Curatella americana*, *Byrsonima* sp., *Cereus* e *Melocactus* (SCHAEFER et al., 1993).

4.2 Seleção e coleta das amostras de solo

Foram selecionadas sete classes de solos de referência no Estado para condução do experimento (Tabela 1; Figuras 1 e 2).

Tabela 1 – Localização dos perfis coletados para montagem do experimento.

| Solos | Sigla | Município | Coordenadas | |
|------------------------------------------------|---------------------|-----------|-----------------|-----------------|
| | | | Latitude | Longitude |
| LATOSSOLO AMARELO Distrófico petroplântico | LA (ITÃ) | Caracaraí | 01° 31' 36,8" N | 60° 45' 0,4" W |
| LATOSSOLO VERMELHO Distrófico petroplântico | LV (ITÃ) | Caracaraí | 01° 30' 7,1" N | 60° 43' 13,7" W |
| LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico | LA (SERRA DA PRATA) | Mucajaí | 02° 22' 20,3" N | 60° 59' 54,0" W |
| LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico | LA (CCA) | Boa Vista | 02° 52' 15,9" N | 60° 42' 40,2" W |
| ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico | PA (CCA) | Boa Vista | 02° 52' 22,9" N | 60° 42' 41,8" W |
| PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico abrupção | FT (BONFIM) | Bonfim | 03° 32' 14,0" N | 60° 0' 33,3" W |
| PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico plântico | SN (SURUMU) | Pacaraima | 04° 11' 33,2" N | 60° 46' 19,5" W |

Os perfis LV (ITÃ), LA (ITÃ), LA (SERRA DA PRATA) e FT (BONFIM) foram abertos e classificados morfologicamente de acordo com o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS et al., 2013). A taxonomia foi obtida obedecendo os

critérios do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2013). Foram retiradas amostras de 1 kg dos horizontes superficiais e subsuperficiais e acondicionados em sacos plásticos devidamente lacrados e identificados. As amostras foram transportadas para a casa de secagem de solos do Núcleo de Pesquisas Agrícolas (NUPAGRI) do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da UFRR. Depois de secas ao ar, as amostras foram destorroadas e passadas por peneira de malha 2 mm, obtendo-se a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), com o objetivo de caracterizá-las mineralógica, física e quimicamente. A caracterização dos perfis LA (CCA) e PA (CCA) foram extraídas de Benedetti et al. (2011) e as informações do SN (SURUMU), de Schaefer et al. (1993).

Em cada perfil, foram coletados 150 kg de solo da camada superficial (0 - 20 cm) para montagem do estudo de disponibilidade de P em solos representativos do estado. Essas amostras foram devidamente secas e passadas por peneira de malha 4 mm. Esse material foi utilizado para montagem do experimento em condição de casa de vegetação.



Fonte: Google Earth 7.1.

Figura 1 – Localização dos perfis coletados para montagem do experimento. FT: Plintossolo Argilúvico; LA: Latossolo Amarelo; LV: Latossolo Vermelho; PA: Argissolo Amarelo; SN: Planossolo Nátrico.



Figura 2 – Perfis de solo coletados para a montagem do experimento. A: LA (ITÃ); B: LV (ITÃ); C: LA (SERRA DA PRATA); D: LA (CCA); E: PA (CCA); F: FT (BONFIM); G: SN (SURUMU).

4.3 Análises mineralógica, física e química dos solos

A análise mineralógica das frações areia, silte e argila foi realizada em amostras orientadas pela difração de raios-X (DRX). Foi adicionado cerca de 100 mL de água e 10 mL de solução de NaOH 1 N a amostras de aproximadamente 100 g de solo. Após 24 horas, as amostras foram desagregadas por meio de dispersor durante 10 min. As frações foram separadas por peneiras de malha 0,053 mm, para areia e silte, e 0,002 mm, para silte e argila, sendo lavadas constantemente com o propósito de retirar resquícios do NaOH que porventura viessem mascarar os difratogramas.

Posteriormente à secagem das amostras em temperatura ambiente, as frações de solo foram maceradas e fixadas em lâminas de vidro com óleo mineral, para areia, e água, para silte e argila. Os difratogramas de raios-X foram obtidos em difratômetro Shimadzu, com tubo de cobalto, no intervalo de 7 a 70° com velocidade 0,02°/seg.

Na análise física dos perfis, avaliou-se a textura pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). A relação silte/argila de cada horizonte, o gradiente textural do perfil, obtido através da razão B/A dos teores de argila, e a classe textural, identificada por intermédio do triângulo textural, consideraram o proposto pelo SBCS (EMBRAPA, 2013) e foram realizados mediante os resultados da análise textural dos perfis.

As análises químicas dos perfis compreenderam: pH em água, cálcio, magnésio e alumínio trocável em KCl 1 mol L⁻¹, fósforo e potássio disponível em Mehlich-1, acidez potencial em acetado de cálcio 0,5 mol L⁻¹ e M.O. a partir do carbono orgânico, determinado pela oxidação do dicromato de potássio (EMBRAPA2009). Os atributos do solo Soma de Bases – SB (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺), Capacidade de Troca de Cátions Total – CTCt (SB + H + Al), Capacidade de Troca de Cátions Efetiva – CTCe (SB + Al), Atividade da Argila (T/argila x 1000), Saturação por Bases – V% (SB/T x 100) e Saturação por Alumínio – m% (Al³⁺/t x 100) foram obtidos através dos resultados das análises supracitadas.

4.4 Determinação da Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo (CMAP)

Antes de quantificar a CMAP de cada solo, determinou-se o P-rem em solução após agitação de uma amostra de solo de 5 cm³ com 50 mL de solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ contendo 60 mg L⁻¹ de P por 1 h conforme Alvarez V. et al. (2000). Os valores de P-rem serviram para identificação de intervalos de adsorção para cada solo, diminuindo a amplitude de teste e assegurando maior confiabilidade aos resultados. A Tabela 2 apresenta os intervalos e as doses de P utilizados para determinação da CMAP dos solos no presente estudo.

Tabela 2 – Amplitude das doses de P necessárias para determinação da CMAP nos solos.

| Intervalo | | Doses de P | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------|-----|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | mg L ⁻¹ | | | | | | | | | |
| PA (CCA) + SN (SURUMU) | | | | | | | | | | | |
| 0 - 60 | 0,0 | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 15,0 | 21,0 | 27,0 | 33,0 | 42,0 | 51,0 | 60,0 |
| LA (ITÃ) + LV (ITÃ) + LA (SERRA DA PRATA) + LA (CCA) | | | | | | | | | | | |
| 0 - 80 | 0,0 | 4,0 | 8,0 | 12,0 | 20,0 | 28,0 | 36,0 | 44,0 | 56,0 | 68,0 | 80,0 |
| FT (BONFIM) | | | | | | | | | | | |
| 0 - 110 | 0,0 | 5,5 | 11,0 | 16,5 | 27,5 | 38,5 | 49,5 | 60,5 | 77,0 | 93,5 | 110,0 |

De posse desses intervalos, procedeu-se a determinação da CMAP pesando-se 2,5 g de solo adicionados a 25 mL de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ contendo as diferentes concentrações de P discriminadas na Tabela 1 para cada solo. As amostras foram agitadas em agitador horizontal por 24 h, centrifugadas a 3000 rpm por 5 minutos e filtradas conforme Alvarez V. (2000). A concentração de equilíbrio foi utilizada na determinação das constantes da equação de Langmuir como segue:

$$\frac{C}{\frac{x}{m}} = \left(\frac{1}{b}\right) * C + \frac{1}{a*b}$$

Onde:

C: concentração de P na solução de equilíbrio (mg L⁻¹);

x/m: quantidade de P adsorvido ao solo (mg g⁻¹);

a: constante relacionada com a energia de ligação do elemento ao solo (L mg⁻¹);

b: CMAP do solo (g kg⁻¹).

Mediante esta equação, foram estimados a CMAP e a energia de ligação do P ao solo.

4.5 Experimento em casa de vegetação

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, no Centro de Ciências Agrárias, UFRR Boa Vista-RR. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 7 x 5, com quatro repetições. O primeiro fator compreendeu as sete classes de solos (LA - ITÃ, LV - ITÃ, LA - Serra da Prata, LA - CCA, PA - CCA, FT - Bonfim e SN - Surumu, e o segundo fator as cinco doses de P (0, 25, 50, 75 e 100% da CMAP de cada solo).

Foram utilizados 5 kg de cada solo da camada de 0-20 cm, previamente peneiradas em malha de 4 mm e colocadas em recipientes de polietileno de volume igual a 5 L. Os solos foram calcareados através do CaCO_3 (PRNT 100%) considerando o método de correção pela saturação por bases para a cultura do milho ($V\% = 60\%$). As amostras foram incubadas por 20 dias, recebendo irrigações diárias com água destilada. Foram realizadas adubações de correção para os elementos N, K, S e Zn de acordo com as sugestões encontradas no manual “Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação” (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999), subsidiadas pelos resultados das análises químicas para os horizontes superficiais do solo (0 - 20 cm). As doses de P para cada tratamento em cada tipo de solo foram aplicadas três dias após as correções supramencionadas por intermédio do fosfato monopotássico (KH_2PO_4) em solução. Cinco dias após esse procedimento, foram coletados 200 g de solo em cada unidade experimental e acondicionados em potes plásticos fechados e identificados de 500 mL, dando-se início a fase experimental.

O experimento foi conduzido no período de 2 de setembro de 2013 a 8 de novembro de 2013, totalizando 62 em cultivo sucessivo de 30 dias cada (Figura 3). Em cada fase, a cultura teste utilizada foi o milho (*Zea mays* L.), híbrido 30F35YH - Pioneer. Foram utilizadas oito sementes, deixando-se cinco plantas por vaso. A irrigação foi realizada diariamente com água destilada. O controle de pragas foi realizado manualmente e as adubações de cobertura contendo N e K aplicadas 12 dias após a emergência (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999). O corte das plantas deu-se rente à superfície do solo após 30 dias de emergência, ocorrendo

replântio cinco dias após o fim da primeira fase. O material vegetal coletado nas duas fases foi acondicionado em sacos tipo Kraft e seca ao ar em estufa de circulação forçada a 60 °C até atingir peso constante, quando sua massa foi medida e utilizada para os estudos de correlação com o P extraído pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina.

4.6 Extração de P pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina

As amostras de solo das camadas de 0-20 cm foram utilizadas na determinação do P disponível com o uso dos extratores Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), Mehlich-3 (NH₄F 0,015 mol L⁻¹ + CH₃COOH 0,2 mol L⁻¹ + NH₄NO₃ 0,25 mol L⁻¹ + HNO₃ 0,013 mol L⁻¹ + EDTA 0,001 mol L⁻¹), Bray-1 (HCl 0,025 mol L⁻¹ + NH₄F 0,03 mol L⁻¹) e Resina. Os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 seguiram a metodologia descrita por EMBRAPA (2009), o método Bray-1 foi realizado em conformidade com Bray e Kurtz (1945) e a extração via Resina foi realizada de acordo com Rajj (2001).

O P disponível nas amostras foi determinado considerando a relação solo:extrator de 1:10 (5 cm³ de TFSA e 50 mL da solução extratora) e o teor de P avaliado através de Espectrofotômetro de luz visível/UV. Os procedimentos laboratoriais foram executados em duplicata.

4.7 Análises estatísticas

Foram realizados estudos de correlação linear entre as variáveis CMAP e Energia de ligação, pH, M.O., argila e T para a camada de 0-20 cm. O coeficiente de correlação linear também foi determinado para a relação extrator x matéria seca e extrator x extrator. Todos os parâmetros foram comparados pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade e classificados de acordo com Larson e Farber (2010).



Figura 3 – Condução do experimento de eficiência de extratores em solos do estado. A: Implantação do experimento; B: 12 dias após emergência; C: 30 dias após emergência; D: Final do experimento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterizações morfológica e mineralógica dos solos

A difratometria das frações areia, silte e argila dos horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos estudados estão representados das Figuras 4 a 6. Os principais minerais identificados em cada fração estão apresentados na Tabela 3.

Os Latossolos da região do Itã são originados da Suíte Intrusiva Serra da Prata, constituída de hiperstênio, granitos e gnaisses, e Suíte Metamórfica Rio Urubu, composta por biotita-gnaisses e metagranitóides, devido à riqueza em minerais como biotita e plagioclásios, elevando a fertilidade desses solos (BRASIL, 1998).

O LA (ITÃ) predomina na região e é resultado do intemperismo e retrabalhamento de granitos e gnaisses. Por esse motivo, prevalece o mineral quartzo na fração areia e silte (Figuras 4A, 4B, 5A e 5B; Tabela 3). A fração argila é predominantemente caulínica acompanhada de goethita (óxido de ferro na forma reduzida) em menor quantidade, sendo este mineral responsável pela coloração amarelada dessa classe (Figura 6A; Tabela 3). O LV (ITÃ), derivado de biotita-gnaisses e metagranitóides, originam solo com maior presença de óxi-hidróxidos de ferro e alumínio. Prevalece o mineral quartzo na fração areia, com o silte formado por quartzo, goethita e hematita. A fração argila é composta de caulinita, gibbsita, goethita e hematita (Figura 6B; Tabela 3), sendo este mineral responsável pela pigmentação vermelha da classe (VIDAL-TORRADO et al., 2005; RESENDE et al., 2011). A predominância de óxi-hidróxidos no LV (ITÃ) junto à sua textura mais argilosa resulta em solos mais férteis e com maior T que o LA (ITÃ).

Os Argissolos e Latossolos Amarelos presentes no entorno de Boa Vista são formados a partir de sedimentos argilo-arenosos pré-intemperizados da formação Boa Vista e acumulados em bacia sedimentar rasa (VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010). Alguns podem ser influenciados por relevos residuais, caso da Serra da Prata, compostos por granitos/gnaisses associados ao embasamento Cristalino Brasileiro. Por esse motivo, são solos de considerável pobreza química e textura média ao longo do perfil, podendo ocorrer podzolização (movimento da fração argila ao longo do perfil) ou não, dependendo da sua posição do relevo (BRASIL, 1984; RODRIGUES et al., 2000; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010; BENEDETTI, 2011).

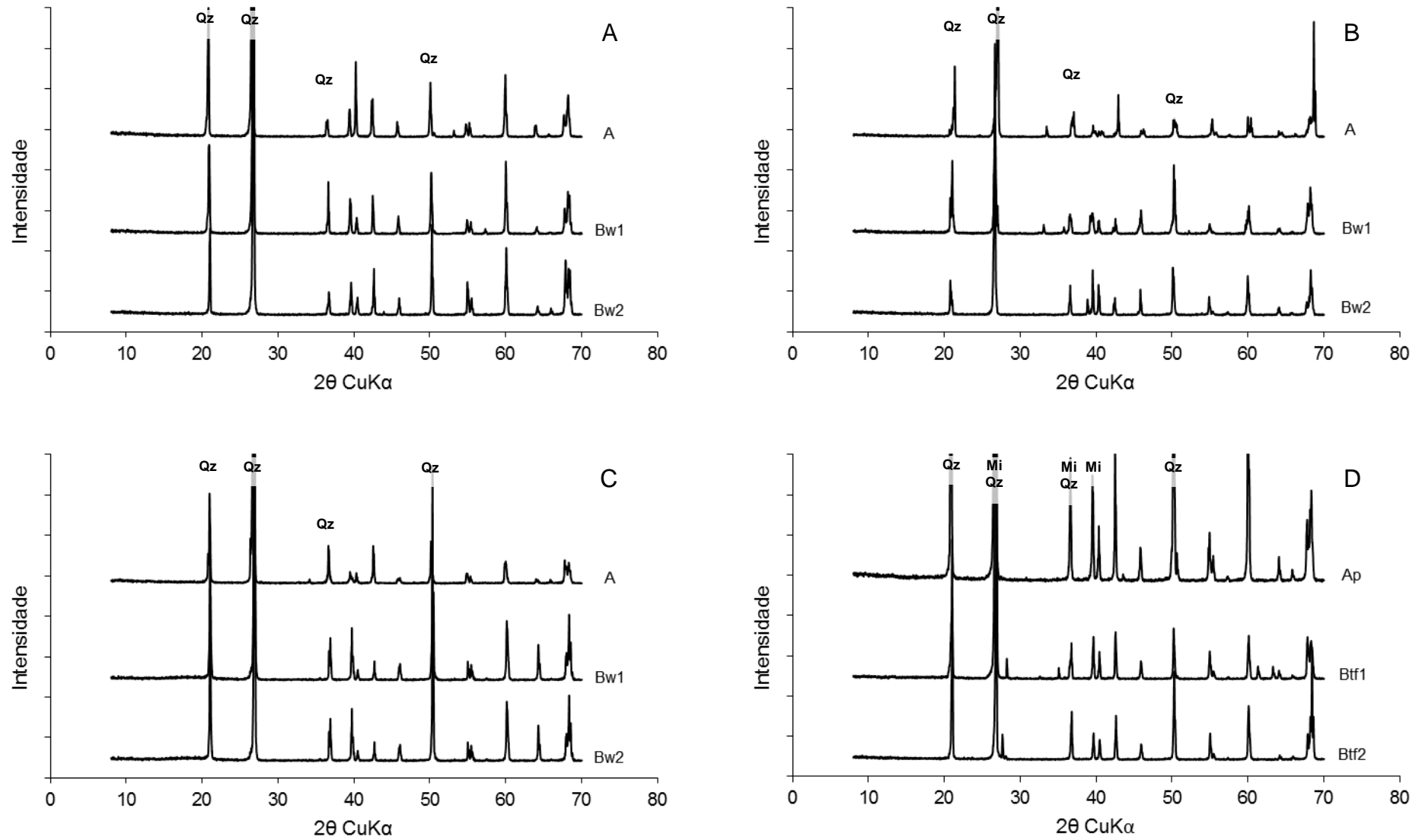


Figura 4 – Difratoimetria de raio-x da fração areia dos solos estudados. A: LA (ITÃ); B: LV (ITÃ); C: LA (SERRA DA PRATA); D: FT (BONFIM). Gb: Gibbsita; Gt: Goethita; Hm: Hematita; Mi: Mica; Qz: Quartzo.

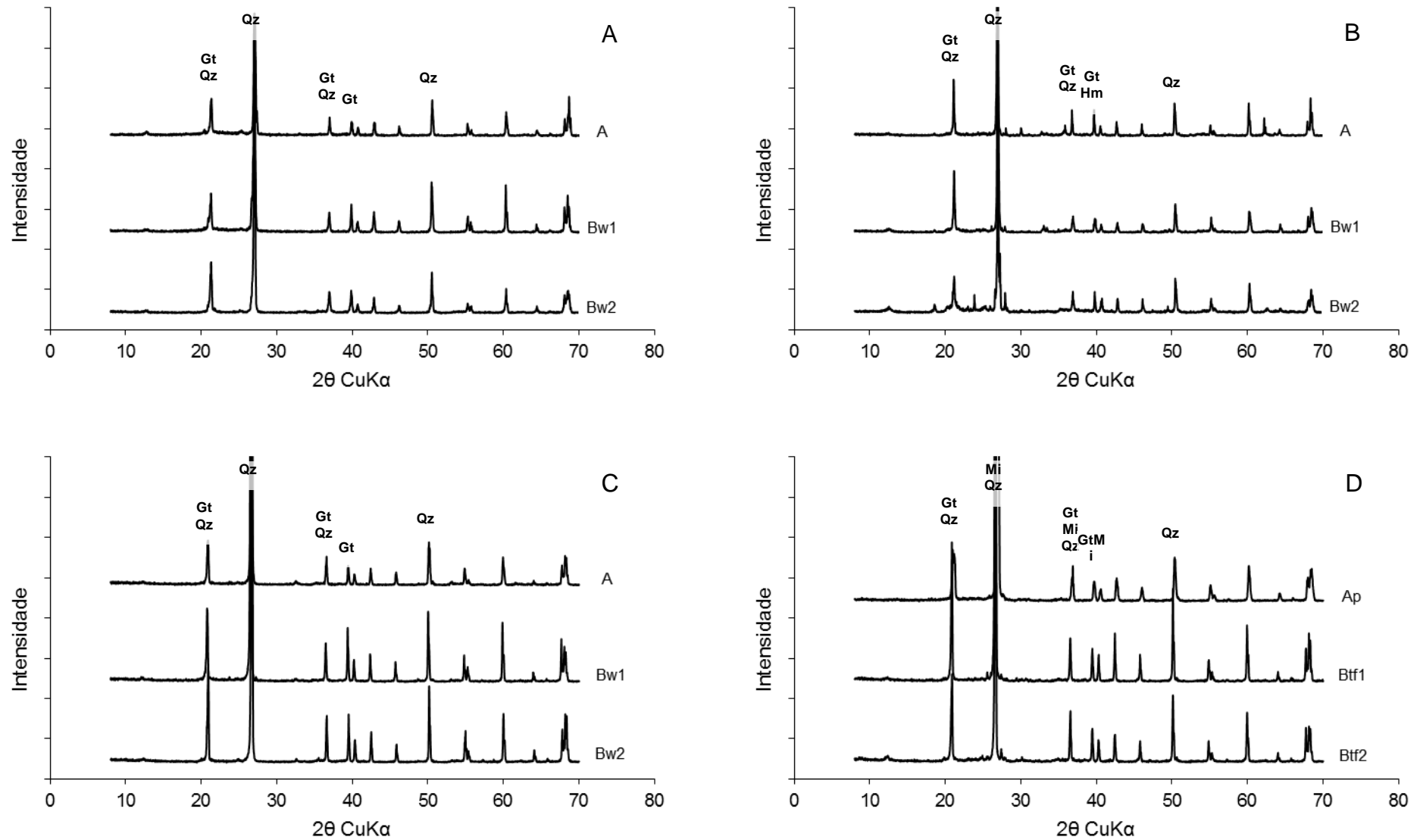


Figura 5 – Difratometria de raio-x da fração silte dos solos estudados. A: LA (ITÃ); B: LV (ITÃ); C: LA (SERRA DA PRATA); D: FT (BONFIM). Gb: Gibbsita; Gt: Goethita; Hm: Hematita; Mi: Mica; Qz: Quartzo.

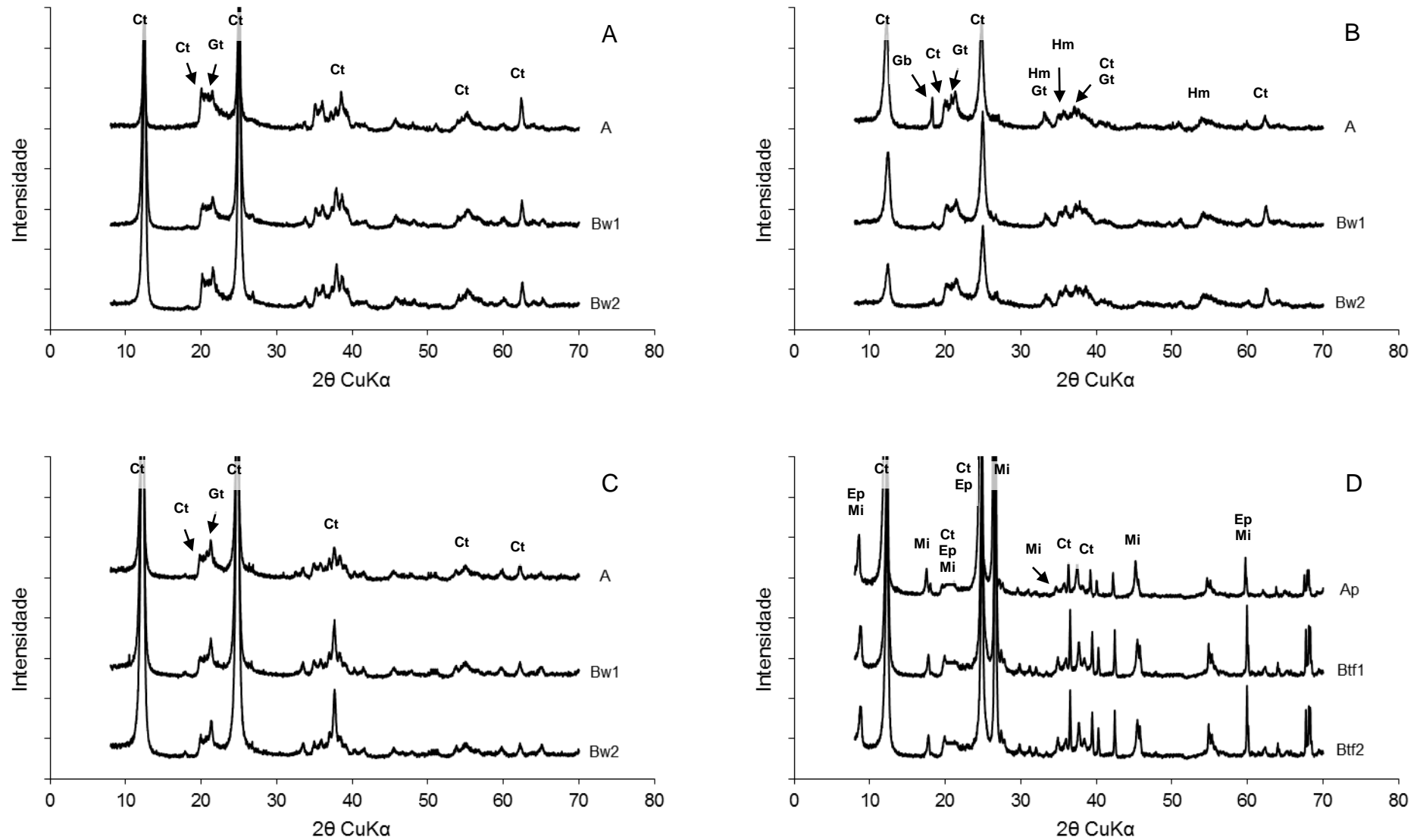


Figura 6 – Difratomia de raio-x da fração argila dos solos estudados. A: LA (ITÃ); B: LV (ITÃ); C: LA (SERRA DA PRATA); D: FT (BONFIM). Ct: Caulinita; Ep: Minerais expansíveis; Gb: Gibbssita; Gt: Goethita; Hm: Hematita; Mi: Mica.

Tabela 3 – Principais minerais encontrados nas frações areia, silte e argila dos solos estudados.

| Solo | Horizonte | Principais minerais | | |
|---------------------|-----------|---------------------|------------|----------------|
| | | Areia | Silte | Argila |
| LA (ITÃ) | A | Qz | Gt, Qz | Ct, Gt |
| | Bw1 | Qz | Gt, Qz | Ct, Gt |
| | Bw2 | Qz | Gt, Qz | Ct, Gt |
| LV (ITÃ) | A | Qz | Gt, Hm, Qz | Ct, Gb, Gt, Hm |
| | Bw1 | Qz | Gt, Hm, Qz | Ct, Gb, Gt, Hm |
| | Bw2 | Qz | Gt, Hm, Qz | Ct, Gb, Gt, Hm |
| LA (SERRA DA PRATA) | A | Qz | Gt, Qz | Ct, Gt |
| | Bw1 | Qz | Gt, Qz | Ct, Gt |
| | Bw2 | Qz | Gt, Qz | Ct, Gt |
| LA (CCA)* | A | Qz | Gt, Qz | Ct, Gt |
| | Bw1 | Qz | Gt, Qz | Ct, Gt |
| | Bw2 | Qz | Gt, Qz | Ct, Gt |
| PA (CCA)* | A | Qz | Gt, Qz | Ct |
| | Bt1 | Qz | Gt, Qz | Ct |
| | Bt2 | Qz | Gt, Qz | Ct |
| FT (BONFIM) | Ap | Mi, Qz | Gt, Mi, Qz | Ct, Es, Mi |
| | Btf1 | Mi, Qz | Gt, Mi, Qz | Ct, Es, Mi |
| | Btf2 | Mi, Qz | Gt, Mi, Qz | Ct, Es, Mi |
| SN (SURUMU)** | A | - | - | - |
| | E | - | - | - |
| | Btn | - | Ct, Fd, Qz | Ct, It |

Onde: Ct: Caulinita; Es: Esmectita; Fd: Feldspato; Gb: Gibbsita; Gt: Goethita; Hm: Hematita; It: Ilita; Mi: Mica; Qz: Quartzo. *Retirado e adaptado de Benedetti et al. (2011).

**Retirado e adaptado de Schaefer et al. (1993).

O PA (CCA), LA (CCA) situado no *Campus Cauamé*, UFRR, e o e LA (SERRA DA PRATA), encontrado nas mediações da Serra da Prata, têm a sua fração arenosa e siltosa composta basicamente de quartzo (Figuras 4C, 5C; Tabela 3). A fração argila desses solos é basicamente caulínica, ocorrendo goethita em menor quantidade, responsável pela coloração amarelada desses solos (Figura 6C; Tabela 2). Como consequência dessa mineralogia, esses solos têm baixa CTC e CTA (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999; FONTES; CAMARGO; SPOSITO, 2001; MELO et al., 2006; INDA JÚNIOR, 2007; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010; BENEDETTI et al., 2011).

Os Planossolos e Plintossolos do norte do estado estão presentes na formação Surumu e resultam do intemperismo de rochas vulcânicas ácidas representadas pelos riolitos e riodacitos, de menor granulometria que os granitos e maior riqueza em plagioclásios e feldspatos (SCHAEFER et al., 1993; SCHAEFER; DALRYMPLE, 1996). O intemperismo desse material está associado aos índices pluviométricos da região, com cerca de 1000 mm ano⁻¹ (BARBOSA, 1997), originando solos com maior presença de minerais primários e menor teor de argila, muitas vezes sofrendo processo de sodificação, agente dispersante de argila dos agregados. Como consequência, formam-se solos com baixa taxa de infiltração de água, imperfeitamente a mal drenados, recomendado para culturas anuais adaptadas a ambientes alagados.

O FT (BONFIM) encontrado no local é composto por quartzo e traços de mica nas frações areia e silte (Figuras 4D e 5D; Tabela 3). Na fração argila, os minerais predominantes são a caulinita, mica e traços de mineral do tipo 2:1 (Figura 6D; Tabela 3). A mica presente é representada na sua totalidade pela muscovita (mica branca), mineral mais resistente ao intemperismo dentro das classes das micas de acordo com a série de Bowen. A presença desse mineral, precursor dos minerais expansíveis que podem estar presentes nessa classe por vezes, justifica a atividade da argila observada em campo e durante o experimento. Por conseguinte, a classe possui elevada CTC oriunda das micas e seus derivados, que possuem maior superfície específica de adsorção (100-200 m² g⁻¹) quando comparados a caulinita (10-30 m² g⁻¹), conforme Novais, Smyth e Nunes (2007), principal argilomineral na maior parte dos solos estudados.

O SN (SURUMU) possuem na sua fração silte a presença de quartzo e outros minerais primários facilmente intemperizáveis, caso do K-feldspato. Os argilominerais presentes têm composição basicamente caulinítica com traços de illita, mineral secundário do tipo 2:1 resultado da decomposição dos feldspatos (Tabela 2). A expansibilidade dos argilominerais observada no FT (BONFIM) não ocorre nesse solo, visto que a maior parte dos minerais expansíveis sofreram intemperismo. Esses minerais são comumente encontrados em Planossolos do Nordeste (SCHAEFER; DALRYMPLE, 1996) em conjunto à presença de óxidos de ferro livre (FARIAS et al., 2009), que eleva a CTC desses solos. Segundo Schaefer et al. (1993), é provável que haja a presença de Na-plagioclásio na fração areia, justificando a elevada saturação por sódio no complexo de troca do solo após sua decomposição. Apesar dos argilominerais presentes, a textura predominantemente franco-arenosa da classe tem maior influência sobre o poder de adsorção de cátions e ânions, sendo os mais baixos dentre os solos estudados.

5.3 Caracterização física dos solos

Os Latossolos do Itã possuem os maiores teores de argila dentre os solos estudados (Tabela 4), com valores entre 265,2 e 494,1 g kg⁻¹ para o LA (ITÃ) e 415,1 e 616,1 g kg⁻¹ para o LV (ITÃ). A classe textural variou de argilosa a muito argilosa para este, solos oriundos de gabro/diabásio, rocha vulcânica básica de granulometria menor, e de franco argilo-arenosa a argilosa naquele, resultado do intemperismo de granito/gnaisse, rocha vulcânica ácida de granulometria mais grosseira. O gradiente textural evidenciado não é suficiente para caracterizar processo de podzolização, mas constata solos em transição com a classe dos Argissolos. A relação silte/argila está em conformidade com a classe dos Latossolos conforme EMBRAPA (2013), não ultrapassando 0,35 no LA (ITÃ) e 0,45 no LV (ITÃ).

Em se tratando dos solos do entorno de Boa Vista, os Latossolos estudados possuem textura que varia de franco argilo-arenosa a argilosa no LA (SERRA DA PRATA) e franco argilo-arenosa a argiloarenosa no LA (CCA). O conteúdo de argila

Tabela 4 – Caracterização física dos perfis analisados no estudo (continua...).

| Solo | Hor | Profun. cm | Análise Física | | | | | Classe Textural |
|---------------------|-----|---------------|--------------------|--------|--------|--------------|--------------------|-----------------------|
| | | | Areia | Silte | Argila | Silte/Argila | Gradiente Textural | |
| | | | g kg ⁻¹ | | | | | |
| LA (ITÃ) | A | 0-12 | 663,50 | 71,30 | 265,20 | 0,27 | 1,50 | Franco argilo-arenosa |
| | AB | 12-24 | 532,05 | 122,05 | 345,90 | 0,35 | | Franco argilo-arenosa |
| | Bw1 | 24-45 | 423,25 | 131,45 | 445,30 | 0,30 | | Argilosa |
| | Bw2 | 45-70 | 410,70 | 151,70 | 437,60 | 0,35 | | Argilosa |
| | Bwc | 70-85+ | 394,10 | 111,80 | 494,10 | 0,23 | | Argilosa |
| LV (ITÃ) | A | 0-15 | 413,00 | 171,90 | 415,10 | 0,41 | 1,38 | Argilosa |
| | AB | 15-32 | 372,85 | 193,15 | 434,00 | 0,45 | | Argilosa |
| | Bw1 | 32-52 | 234,50 | 149,40 | 616,10 | 0,24 | | Muito Argilosa |
| | Bw2 | 52-74 | 276,90 | 180,20 | 542,90 | 0,33 | | Argilosa |
| | Bwc | 74-85+ | 242,05 | 159,95 | 598,00 | 0,27 | | Argilosa |
| LA (SERRA DA PRATA) | A | 0-12 | 625,80 | 141,20 | 233,00 | 0,61 | 1,28 | Franco argilo-arenosa |
| | AB | 12-20 | 549,35 | 156,65 | 294,00 | 0,53 | | Franco argilo-arenosa |
| | BA | 20-32 | 419,50 | 163,50 | 417,00 | 0,39 | | Argilosa |
| | Bw1 | 32-54 | 483,10 | 190,90 | 326,00 | 0,59 | | Franco argilo-arenosa |
| | Bw2 | 54-88+ | 497,20 | 234,80 | 268,00 | 0,88 | | Franco argilo-arenosa |
| LA (CCA)* | A | 0-12 | 663,00 | 85,00 | 252,00 | 0,34 | 1,18 | Franco argilo-arenosa |
| | AB | 12-27 | 623,00 | 70,00 | 307,00 | 0,23 | | Franco argilo-arenosa |
| | BA | 27-40 | 576,00 | 82,00 | 342,00 | 0,24 | | Franco argilo-arenosa |
| | Bw1 | 40-70 | 491,00 | 151,00 | 358,00 | 0,42 | | Argiloarenosa |
| | Bw2 | 70-125+ | 496,00 | 216,00 | 287,00 | 0,75 | | Franco argilo-arenosa |

Onde: *Retirado e adaptado de Benedetti et al. (2011). **Retirado e adaptado de Schaefer et al. (1993).

Tabela 4 – Caracterização física dos perfis analisados no estudo (conclusão).

| Solo | Horizonte | Profundidade cm | Análise Física | | | | | Classe Textural |
|---------------|-----------|--------------------|--------------------------------|--------|--------|---------------|--------------------|-----------------------|
| | | | Areia | Silte | Argila | Silte/ Argila | Gradiente Textural | |
| | | | ----- g kg ⁻¹ ----- | | | | | |
| PA (CCA)* | A | 0-25 | 869,00 | 21,00 | 110,00 | 0,19 | 2,39 | Areia franca |
| | AB | 25-43 | 834,00 | 16,00 | 115,00 | 0,14 | | Areia franca |
| | Bt1 | 43-105 | 738,00 | 61,00 | 201,00 | 0,30 | | Franco arenosa |
| | Bt2 | 105-145+ | 580,00 | 83,00 | 337,00 | 0,25 | | Franco argilo-arenosa |
| FT (BONFIM) | Ap | 0-30 | 588,85 | 289,15 | 122,00 | 2,37 | 2,20 | Francoarenosa |
| | Bf1 | 30-64 | 427,05 | 299,95 | 273,00 | 1,10 | | Franco |
| | Bf2 | 64-90+ | 380,35 | 356,65 | 263,00 | 1,36 | | Franco |
| SN (SURUMU)** | A | 0-20 | 760,00 | 120,00 | 120,00 | 1,00 | 1,83 | Francoarenosa |
| | E | 20-50 | 640,00 | 180,00 | 180,00 | 1,00 | | Francoarenosa |
| | Btn | 50-90+ | 560,00 | 220,00 | 220,00 | 1,00 | | Franco argilo-arenosa |

Onde: *Retirado e adaptado de Benedetti et al. (2011). **Retirado e adaptado de Schaefer et al. (1993).

situa-se entre 252,0 e 358,0 g kg⁻¹ neste, e 233,0 a 417,0 g kg⁻¹ naquele. A relação silte/argila superior no LA (SERRA DA PRATA) é resultado do intemperismo *in situ* do material de origem, enquanto o LA (CCA) é composto de material transportado e sedimentado. O gradiente textural é baixo para os dois solos, não ultrapassando 1,28, fato constatado por outros autores em Latossolos da região (RODRIGUES et al., 2000; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010; BENEDETTI et al., 2011). O PA (CCA), por sua vez, possui teores de argila inferiores em todos os horizontes, oscilando entre 110,0 g kg⁻¹ no horizonte superficial a 337,0 g kg⁻¹ no horizonte mais profundo, caracterizando gradiente textural suficiente para a classe dos Argissolos. A classe textural desses solos encontra-se entre areia franca e franco argilo-arenosa. A relação silte/argila implica solos de natureza sedimentar, indicando estágio de intemperismo avançado (RODRIGUES et al., 2000; MELO et al., 2006; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010; BENEDETTI et al., 2011).

Os solos do norte do Estado apresentam textura mais arenosa que as classes anteriores. O FT (BONFIM) possui teores de argila que variam entre 122,0 e 263,0 g kg⁻¹, e o SN (SURUMU), 120,0 e 220,0 g kg⁻¹. A classe textural encontra-se entre francoarenosa a franco argilo-arenosa neste, e francoarenosa a franco naquele, incidindo em um gradiente textural condizente com Bt. A elevada relação silte/argila para os solos infere a presença de minerais primários intemperizáveis na fração silte, como feldspatos e micas, o que garante maiores índices de fertilidade a essas classes (SCHAEFER et al., 1993; SCHAEFER; DALRYMPLE, 1996)

5.3 Caracterização química dos solos

Os solos encontrados na região do Itã (Tabela 5) são ácidos, com pH variando de 4,5 a 5,0 no LA (ITÃ) e 5,0 a 5,6 no LV (ITÃ). Essa diferença entre as classes é devida, dentre outros fatores, à textura argilosa e teores mais elevados de M.O. dos Latossolos Vermelhos da região. A M.O. dos solos oscilou entre 2,1 e 22,2 g kg⁻¹ no LA (ITÃ) e 2,1 e 32,0 g kg⁻¹ no LV (ITÃ), sendo os maiores valores constatados nos horizontes superficiais. Essas características refletiram nos maiores teores de P ao longo do perfil, que alcançaram 17,0 e 26,0 mg kg⁻¹ nos horizontes superficiais do Latossolo Amarelo e Vermelho respectivamente. São solos de média a alta fertilidade, com o LV (ITÃ) possuindo maior riqueza química que o LA (ITÃ).

Tabela 5 – Caracterização química dos perfis analisados no estudo (continua...).

| Solo | Horizonte | Profundidade cm | Análise Química | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|--------------------|-----------------|--------------------|---------------------|------------------------------------|-----|-----|----|-----|------|-----|-----|------|--------------------|------|------|
| | | | pH | M.O. | P | Ca | Mg | K | Na | Al | H+Al | SB | t | T | Ativ. Da argila | m | V |
| | | | | g kg ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | cmol _c dm ⁻³ | | | | | | | | | | % | |
| LA (ITÃ) | A | 0-12 | 5,0 | 22,2 | 17,0 | 2,5 | 1,4 | 0,0 | - | 0,2 | 5,7 | 3,9 | 4,1 | 9,6 | 36,3 | 4,8 | 40,8 |
| | AB | 12-24 | 5,0 | 15,5 | 5,0 | 0,8 | 1,7 | 0,0 | - | 0,2 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 4,8 | 13,9 | 7,4 | 52,1 |
| | Bw1 | 24-45 | 4,8 | 8,3 | 0,0 | 0,4 | 0,7 | 0,0 | - | 0,7 | 2,3 | 1,1 | 1,8 | 3,4 | 7,6 | 38,9 | 32,4 |
| | Bw2 | 45-70 | 4,8 | 6,1 | 0,0 | 0,1 | 0,4 | 0,0 | - | 0,4 | 2,2 | 0,5 | 0,9 | 2,7 | 6,2 | 44,4 | 18,5 |
| | Bwc | 70-85+ | 4,5 | 2,1 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | - | 0,6 | 2,2 | 0,3 | 0,9 | 2,5 | 5,1 | 66,1 | 12,3 |
| LV (ITÃ) | A | 0-15 | 5,6 | 32,0 | 26,0 | 5,5 | 2,1 | 0,5 | - | 0,1 | 3,3 | 8,1 | 8,2 | 11,4 | 27,4 | 1,2 | 71,0 |
| | AB | 15-32 | 5,6 | 16,4 | 4,0 | 2,7 | 1,4 | 0,4 | - | 0,2 | 2,9 | 4,5 | 4,7 | 7,4 | 17,0 | 4,3 | 60,8 |
| | Bw1 | 32-52 | 5,2 | 8,8 | 0,0 | 0,8 | 0,9 | 0,0 | - | 0,2 | 2,9 | 1,7 | 1,9 | 4,6 | 7,5 | 10,3 | 37,5 |
| | Bw2 | 52-74 | 5,2 | 6,7 | 0,0 | 0,2 | 0,7 | 0,0 | - | 0,6 | 2,7 | 0,9 | 1,5 | 3,6 | 6,6 | 39,9 | 25,1 |
| | Bwc | 74-85+ | 5,0 | 2,1 | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | - | 0,3 | 2,5 | 0,3 | 0,6 | 2,8 | 4,7 | 50,0 | 10,7 |
| LA (SERRA DA PRATA) | A | 0-12 | 5,6 | 13,7 | 42,0 | 1,9 | 1,2 | 0,0 | - | 0,0 | 2,4 | 3,1 | 3,1 | 5,5 | 23,7 | 0,0 | 56,6 |
| | AB | 12-20 | 5,7 | 10,2 | 10,0 | 1,3 | 0,8 | 0,0 | - | 0,0 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 4,2 | 14,3 | 0,0 | 50,1 |
| | BA | 20-32 | 5,7 | 5,5 | 2,0 | 0,9 | 0,7 | 0,0 | - | 0,1 | 1,9 | 1,6 | 1,7 | 3,5 | 8,4 | 5,9 | 45,8 |
| | Bw1 | 32-54 | 5,6 | 4,0 | 0,0 | 0,8 | 0,6 | 0,0 | - | 0,4 | 1,8 | 1,4 | 1,8 | 3,2 | 9,8 | 22,1 | 43,9 |
| | Bw2 | 54-88+ | 5,8 | 1,9 | 0,0 | 0,7 | 0,4 | 0,0 | - | 0,3 | 1,6 | 1,1 | 1,4 | 2,7 | 10,2 | 21,1 | 41,2 |
| LA (CCA)* | A | 0-12 | 4,6 | 9,3 | 0,5 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | - | 0,8 | 2,4 | 0,2 | 0,9 | 2,6 | 10,1 | 82,4 | 6,3 |
| | AB | 12-27 | 4,8 | 8,4 | 0,2 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | - | 0,7 | 2,1 | 0,1 | 0,8 | 2,2 | 7,1 | 86,7 | 5,1 |
| | BA | 27-40 | 4,9 | 5,9 | 0,2 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | - | 0,7 | 1,9 | 0,2 | 0,9 | 2,1 | 6,0 | 81,6 | 7,8 |
| | Bw1 | 40-70 | 5,0 | 5,5 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | - | 0,7 | 2,2 | 0,0 | 0,7 | 2,3 | 6,3 | 97,1 | 0,9 |
| | Bw2 | 70-125+ | 5,2 | 4,9 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | - | 0,5 | 2,0 | 0,1 | 0,6 | 2,1 | 7,1 | 88,3 | 3,4 |

Onde: M.O.: Matéria Orgânica; SB: Soma de Bases; t: Capacidade de Troca de Cátions Efetiva; T: Capacidade de Troca de Cátions Total; m: Saturação por Alumínio; V: Saturação por Bases. *Retirado e adaptado de Benedetti et al. (2011). **Retirado e adaptado de Schaefer et al. (1993).

Tabela 5 – Caracterização química dos perfis analisados no estudo (conclusão).

| Solo | Horizonte | Profundidade cm | Análise Química | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|--------------------|-----------------|--------------------|---------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|---------------------|---------------|------|
| | | | pH | M.O. | P | Ca | Mg | K | Na | Al | H+Al | SB | t | T | Atividade da argila | m | V |
| | | | | g kg ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | cmol _c dm ⁻³ | | | | | | | | | | ----- % ----- | |
| PA (CCA)* | A | 0-25 | 5,0 | 8,3 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | - | 0,4 | 1,7 | 0,1 | 0,5 | 1,8 | - | 85,4 | 3,9 |
| | AB | 25-43 | 4,9 | 4,0 | 0,4 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | - | 0,4 | 1,6 | 0,1 | 0,5 | 1,7 | - | 83,7 | 4,8 |
| | Bt1 | 43-105 | 5,0 | 4,5 | 0,3 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | - | 0,4 | 1,7 | 0,1 | 0,5 | 1,7 | 8,7 | 80,9 | 5,2 |
| | Bt2 | 105-145+ | 5,2 | 3,6 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | - | 0,4 | 2,0 | 0,1 | 0,4 | 2,0 | 6,1 | 85,4 | 2,9 |
| FT (BONFIM) | Ap | 0-30 | 5,3 | 15,4 | 53,0 | 2,5 | 0,9 | 0,2 | - | 0,1 | 2,8 | 3,6 | 3,7 | 6,4 | 52,1 | 2,7 | 55,9 |
| | Bf1 | 30-64 | 5,2 | 8,3 | 4,0 | 1,0 | 0,5 | 0,0 | - | 1,2 | 3,2 | 1,5 | 2,7 | 4,7 | 17,4 | 43,7 | 32,6 |
| | Bf2 | 64-90+ | 4,9 | 3,1 | 6,0 | 0,2 | 0,3 | 0,0 | - | 1,6 | 3,4 | 0,5 | 2,1 | 3,9 | 15,0 | 74,6 | 13,8 |
| SN (SURUMU)** | A | 0-20 | 5,4 | 19,0 | - | 0,2 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,2 | 1,0 | 1,1 | 2,2 | 18,6 | 8,8 | 46,2 |
| | E | 20-50 | 5,6 | 12,1 | - | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 1,7 | 9,2 | 11,8 | 45,5 |
| | Btn | 50-90+ | 6,5 | 10,3 | - | 1,0 | 0,7 | 0,2 | 0,3 | 0,0 | 0,5 | 2,2 | 2,2 | 2,7 | 12,1 | 0,0 | 81,2 |

Onde: M.O.: Matéria Orgânica; SB: Soma de Bases; t: Capacidade de Troca de Cátions Efetiva; T: Capacidade de Troca de Cátions Total; m: Saturação por Alumínio; V: Saturação por Bases. *Retirado e adaptado de Benedetti et al. (2011). **Retirado e adaptado de Schaefer et al. (1993).

Quando comparados, os Latossolos Amarelos e Vermelhos da região possuem teores de Ca^{2+} (0-2,5 a 0,2-5,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Mg^{2+} (0,3 - 1,4 a 0,1 - 2,1 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e K^+ (0,0-0,0 a 0,0-0,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) divergentes em reflexo, sobretudo, ao material de origem. O LA (ITÃ), oriundo de rochas vulcânicas ácidas (granitos e gnaisses), possui menor concentração de óxidos de ferro e de nutrientes quando comparado a solos provenientes de rochas vulcânicas básicas (gabro/diabásio), caso do LV (ITÃ). Decorrente disso, a SB é superior nos solos mais férteis, com valores entre 0,3 e 3,9 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o Latossolo Amarelo e 0,3 e 8,1 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o Latossolo Vermelho.

A acidez trocável (Al^{3+}) dos solos da região é muito baixa, quase não detectada pelo método, aumentando com a profundidade do perfil (0,2-0,7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o LA (ITÃ) e 0,1-0,6 para o LV (ITÃ)), reflexo da diminuição dos teores de M.O. e, por conseguinte, do pH. A acidez potencial (H+Al) é superior no Latossolo Amarelo (2,2-5,7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), com o Latossolo Vermelhos possuindo valores inferiores (2,5-3,3 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) devido a maior parte de suas cargas está preenchida, principalmente, por Ca e Mg.

São solos com CTC semelhantes, com valores para o LV (ITÃ) entre 2,8 e 11,4 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, acima dos valores para LA (ITÃ), no intervalo de 2,5 a 9,6 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Os principais fatores que influenciam essa variação são a textura do solo, de média a argilosa no Latossolo Amarelo e argilosa a muito argilosa nos Latossolo Vermelho, mineralogia da argila, com maior presença de oxi-hidróxidos de ferro no LV (ITÃ), e conteúdo de MO.

A m% é baixa para os solos nos horizontes superficiais e transicionais, elevando-se, consideravelmente, no horizonte diagnóstico (de 4,8 a 66,1% no LA (ITÃ) e de 1,2 a 50,0% no LV (ITÃ)) devido à diminuição dos teores de M.O. e SB, com conseqüente elevação dos valores de Al^{3+} . Desconforme a isso, a V% é elevada nos horizontes superficiais e transicionais, diminuindo com o aumento da profundidade do perfil (40,8 a 12,3% no LA (ITÃ) e 71,0 a 10,7% no LV (ITÃ)). Devido ao material de origem mais rico no LV (ITÃ), este possui maior V% que todos os perfis analisados, inclusive o LA (ITÃ), quando confrontado os valores de cada horizonte.

A atividade de argila, que mede a capacidade dessa fração em adsorver cátions, é semelhante para os dois perfis, oscilando entre 5,1 e 36,3 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e 4,7

e $27,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o Latossolo Amarelo e Vermelho respectivamente. Na superfície, onde os teores de M.O. são proeminentes em relação aos demais horizontes, a atividade de argila é influenciada pela CTC da fração orgânica do solo. Nos horizontes diagnósticos, a atividade de argila infere solos de natureza caulínica, com presença de oxi-hidróxidos de ferro em menor quantidade.

Na região de Boa Vista, os solos em estudo tiveram características químicas semelhantes. São solos ácidos, com pH variando entre 5,6 e 5,8 para o LA (SERRA DA PRATA), 4,6 e 5,2 para LA (CCA) e 4,9 e 5,2 para PA (CCA). As menores concentrações de H^+ em solução para o solo da Serra da Prata referem-se aos maiores valores de M.O. nesse perfil, que variaram entre $1,9$ e $13,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, contra $4,9$ e $9,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no LA (CCA) e $3,6$ e $8,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no PA (CCA), em conjunto ao reflexo remanescente da aplicação de calcário no solo, por se tratar de área experimental utilizada na condução de experimentos da empresa. Melo et al. (2006) observaram aumento do pH, P, SB e V% em Latossolo Amarelo cultivado com bananeira devido a queima intensa no local adjunto ao poder de ciclagem biológica da cultura que eleva os níveis de M.O. Esses fatores justificam, também, os maiores valores de P em superfície no LA (SERRA DA PRATA), o que não ocorre nos perfis analisados no CCA, resultado da sedimentação de material pré-intemperizado (VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010; BENEDETTI et al., 2011).

Em condições naturais, os solos sob savana do CCA são praticamente desprovidos de macronutrientes catiônicos. Situação diferente é observada no LA (SERRA DA PRATA), que possui concentrações de Ca^{2+} ($0,7$ a $1,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e Mg^{2+} ($0,4$ a $1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) elevados para solos caulínicos. Conforme supracitado, esses valores resultam do efeito remanescente da calagem em associação ao conteúdo de M.O. superior em relação aos solos do CCA. A SB do LA (SERRA DA PRATA) situa-se entre $1,1$ e $3,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A acidez trocável se encontra entre $0,5$ e $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no LA (CCA) e $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em todos os horizontes do PA (CCA). Os efeitos da calagem são percebidos diretamente sobre as concentrações de Al^{3+} do LA (SERRA DA PRATA), ficando entre $0,0$ e $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. A acidez potencial, por sua vez, mantém valores constantes entre os solos ($1,9$ a $2,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no LA (CCA), $1,6$ a $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no PA (CCA) e $1,6$ a $2,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no LA (SERRA DA PRATA)), diferindo-se em consonância com o grupo textural dos solos.

A CTC dos solos analisados no entorno de Boa Vista, de mineralogia peremptoriamente caulínica, é fortemente influenciada pela textura e conteúdo de M.O. do solo. No PA (CCA), com textura de areia franca a franco-argiloarenosa, a CTC varia entre 1,7 e 2,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. No LA (CCA), com textura exclusivamente franco-argiloarenosa, a CTC está entre 2,1 e 2,6 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. No caso do LA (SERRA DA PRATA), de textura franco-argiloarenosa a argilosa e teores superiores de M.O. em relação aos anteriores, a CTC ultrapassa 2,7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nos horizontes mais profundos, chegando a 5,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no horizonte superficial.

Os solos sob savana do CCA têm as mais elevadas taxas de m% dentre os solos estudados. Esses valores ultrapassam 80,9% no PA (CCA) e 81,6% no LA (CCA). Em decorrência a essa característica, são solos hiperdistróficos, com V% variando entre 2,9 e 5,2% no PA (CCA) e 0,9 e 7,8% no LA (CCA). Em contrapartida, como resultado da atividade agrícola e manejo do solo adequado, o LA (SERRA DA PRATA) não apresenta m% no horizonte superficial e transicional, alcançando 22,1% no horizonte diagnóstico. Os níveis de V% ficam entre 41,2 e 56,6%.

A atividade de argila dos perfis caracteriza solos caulínicos que sofrem influência considerável dos teores de MO (MELO et al., 2006; MENDONÇA et al., 2013). Assim, são encontrados valores a partir de 6,1 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, aproximadamente a CTC da caulinita, até 23,7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, influenciado pelas cargas negativas dependentes do pH advindas dos radicais carboxílicos e fenólicos das extremidades das cadeias carbônicas que compõem a MO.

Esses resultados estão em conformidade com diversos autores que analisaram Latossolos e Argissolos Amarelos do entorno de Boa Vista, caracterizando solos ácidos, de baixa fertilidade e elevada toxidez por alumínio (BRASIL, 1984; RODRIGUES et al., 2000; MELO et al., 2006; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010; BENEDETTI et al., 2011), apesar das boas características físicas.

Os solos analisados do norte do Estado são possuem caracterização química diferentes das encontradas nos outros perfis. São solos siltosos, muitas vezes saturados por sódio, com presença de traços de minerais expansíveis. Vão de ácidos, 4,9 a 5,3 no FT- (BONFIM) a neutros (6,5 no horizonte diagnóstico do SN (SURUMU)) a depender da presença do Na^+ no complexo de troca. O conteúdo de

M.O. não difere do encontrado em outras regiões de Savana, com valores entre 3,1 e 15,4 g kg⁻¹ para o FT (BONFIM) sob cultivo de arroz e 10,3 a 19,0 g kg⁻¹ no SN (SURUMU) sob SAVANA com interstícios de Caatinga. Devido a atividade da agricultura local e sua alta CMAP, o FT (BONFIM) apresenta os maiores valores de P em superfície do solo, atingindo 53,0 mg kg⁻¹.

Mesmo com o menor conteúdo de argila desses solos, as concentrações para o FT (BONFIM) e SN (SURUMU) de Ca²⁺ (0,2 a 2,5 cmol_c dm⁻³ e 0,2 a 1,0 cmol_c dm⁻³) e Mg²⁺ (0,2 a 0,3 cmol_c dm⁻³ e 0,3 a 0,9 cmol_c dm⁻³) são equivalentes a maior parte dos solos do Estado, evidenciando o possível histórico de cultivo do arroz, cultura adaptada a ambientes alagados (imperfeitamente a mal drenados). Os feldspatos presentes nos solos da formação Surumu, preferencialmente potássicos, elevam os valores deste elemento no complexo de troca, os quais alcançaram 0,2 cmol_c dm⁻³ em superfície do FT (BONFIM) e do SN (SURUMU). Schaefer et al. (1993) explicaram a presença de sódio no horizonte diagnóstico (0,3 cmol_c dm⁻³) oriundo do plagioclásio presente na fração areia dos Planossolos Nátricos. A SB do FT (BONFIM), entre 0,5 e 3,6 cmol_c dm⁻³, é superior a do SN (SURUMU), entre 0,8 e 2,2 cmol_c dm⁻³, fato este relacionado ao procedimento de calagem realizado durante o cultivo do arroz. A ausência do sódio no complexo de troca do FT (BONFIM) condiz com a ausência de Na-plagioclásios na fração areia do solo desta classe.

Por serem solos mais ácidos, o FT (BONFIM) possui teores mais elevados de Al³⁺ do que o SN (SURUMU), com concentrações variando entre 0,1 a 1,6 cmol_c dm⁻³. Devido à presença do Na⁺ adsorvido e pH próximo da neutralidade, o SN (SURUMU) apresenta valores desconsideráveis de Al³⁺ (SCHAEFER et al., 1993; SCHAEFER; DALRYMPLE, 1996). Por sua vez, a acidez potencial é influenciada pela textura e mineralogia do solo, mais argilosa e com evidências de minerais do tipo 2:1 no FT (BONFIM). Neste caso, são encontradas concentrações entre 2,8 e 3,4 cmol_c dm⁻³, enquanto o SN (SURUMU), de textura basicamente francoarenosa e mineralogia caulínica na fração argila, apresenta valores entre 0,5 e 1,2 cmol_c dm⁻³.

A textura e a mineralogia definem a CTC dos solos estudados no norte do Estado. O maior conteúdo de argila junto à presença de mica e traços de minerais expansíveis nessa fração resulta em uma CTC entre 3,9 e 6,4 cmol_c dm⁻³ para o FT (BONFIM). Para o SN (SURUMU), a textura mais grosseira e mineralogia basicamente caulínica reflete em uma menor capacidade de retenção de elementos

catiônicos (1,7 a 2,7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Esses resultados são corroborados por diversos autores, que indicam a textura e mineralogia como propriedades decisivas na capacidade de adsorção de elementos (FONTES; CAMARGO; SPOSITO, 2001; NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007; RESENDE et al., 2011).

A saturação por alumínio (m%) no FT (BONFIM) é baixa no horizonte superficial devido às atividades agrícolas no local, com aplicação de calcário e adubação corretiva. Esses valores se elevam quando ultrapassam a camada arável do solo, resultado da oscilação do lençol freático ao longo do ano, constatada na presença das plintitas em quantidade suficiente para determinação da classe. Os elementos são solubilizados e lixiviados enquanto as cargas negativas do complexo de troca são preenchidas por Al^{3+} . A m% e V% partem de 2,7% e 55,9% no horizonte superficial até 74,6% e 13,8%, respectivamente, nos horizontes mais profundos. O SN (SURUMU), devido aos teores de Na^+ presentes no horizonte diagnóstico, apresentam m% variando entre 0,0 e 11,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, com os valores nulos constatados no horizonte plânico. Essa classe faz parte dos poucos grupos de solos naturalmente eutróficos do estado, com V% oscilando entre 46,2% em superfície e 81,2% no horizonte diagnóstico (SCHAEFER et al., 1993; SCHAEFER; DALRYMPLE, 1996).

Devido à presença de mica e seus derivados, além da caulinita, na fração argila do solo, o FT (BONFIM) possui atividade de argila entre 15,0 e 52,1 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, superior ao SN (SURUMU), de mineralogia da argila basicamente caulínica com traços de illita, que possui valores entre 9,2 e 18,6 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

5.4 Adsorção de P nos solos representativos do estado de Roraima

As isotermas de Langmuir para os solos estudados foram classificadas de acordo com a CMAP e estão apresentadas na Figura 7. As equações lineares das isotermas, energia de ligação, CMAP e sua correlação com as propriedades do solo energia de ligação, pH, M.O., argila e CTC são apresentadas na Tabela 6.

As isotermas de adsorção tiveram coeficiente de determinação elevado e significativo, demonstrando que a equação linear de Langmuir é adequada na determinação das constantes de adsorção de P (Tabela 6). As isotermas revelam que a adsorção de P cresce com a concentração em solução de equilíbrio. Resultados semelhantes foram obtidos por Falcão e Silva (2004) e Chaves, Chaves

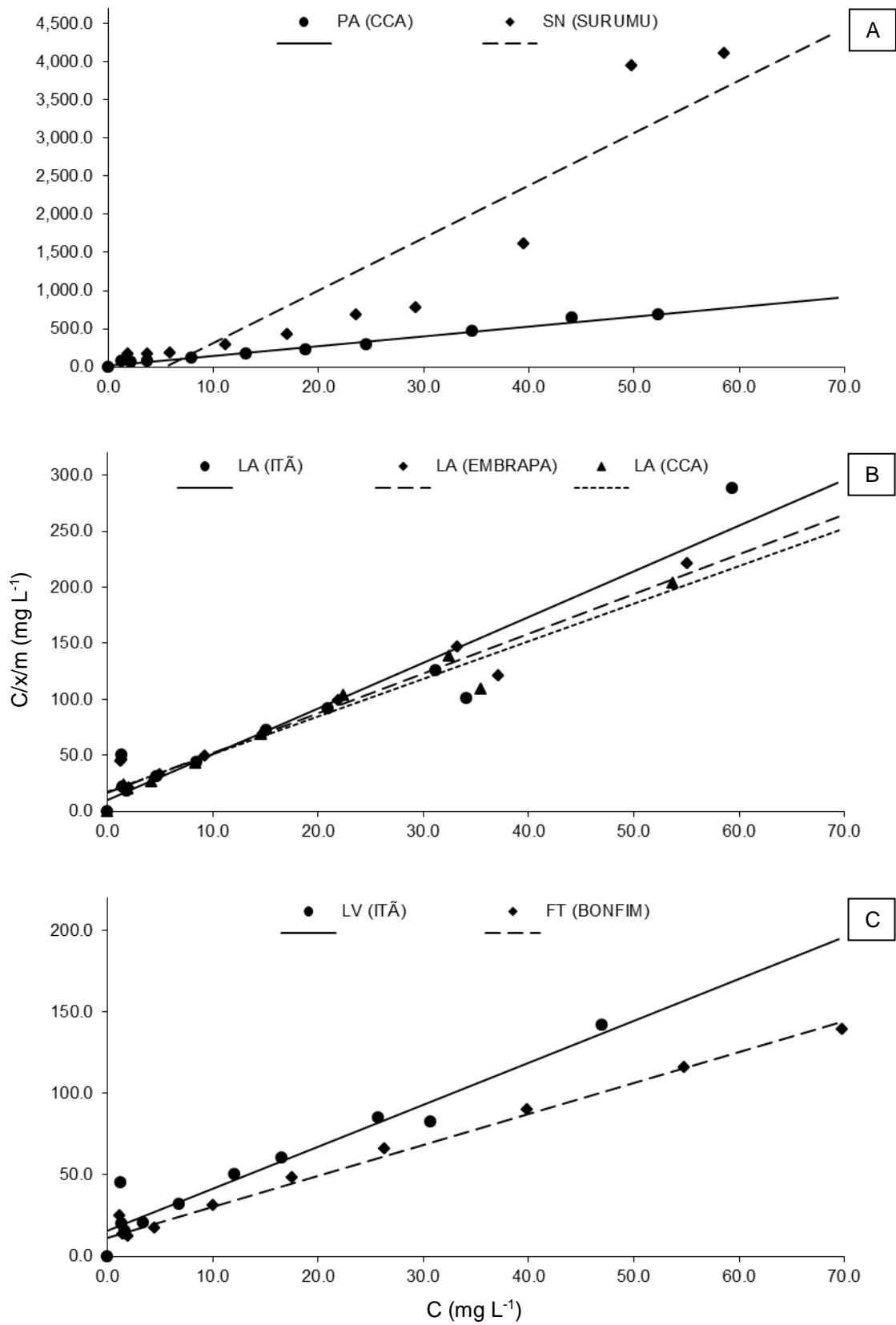


Figura 7 – Isotermas de adsorção de Langmuir classificadas de acordo com a CMAP. (A) 0 - 100 mg kg⁻¹; (B) 100 - 300 mg kg⁻¹; (C) > 300 mg kg⁻¹

Tabela 6 – Coeficientes da equação de Langmuir, CMAP, energia de ligação e correlação entre CMAP com características do solo (0-20 cm).

| Solo | Equação de Langmuir | | R ² | CMAP | Energia de ligação | pH | M.O. | Argila | CTC |
|-------------------------|---------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------|----------|----------|
| | C/(x/m) = A*C + B | | | | | | | | |
| | A | B | | | | | | | |
| | | | g kg ⁻¹ | L mg ⁻¹ | H ₂ O | ----- g kg ⁻¹ ----- | cmolc kg ⁻¹ | | |
| LA (ITÃ) | 4,09 | 10,16 | 0,92 * | 244,74 | 0,4023 | 5,10 | 18,40 | 302,70 | 9,90 |
| LV (ITÃ) | 2,57 | 16,11 | 0,93 * | 389,20 | 0,1595 | 5,40 | 26,30 | 419,40 | 10,80 |
| LA (SERRA DA PRATA) | 3,54 | 16,91 | 0,96 * | 282,77 | 0,2091 | 5,60 | 11,60 | 255,10 | 6,10 |
| LA (CCA) | 3,35 | 17,84 | 0,94 * | 298,72 | 0,1876 | 5,10 | 9,20 | 262,30 | 3,20 |
| PA (CCA) | 12,95 | 15,40 | 0,98 ** | 77,24 | 0,8405 | 5,00 | 8,30 | 110,00 | 2,70 |
| FT (BONFIM) | 1,89 | 11,68 | 0,98 ** | 527,93 | 0,1621 | 5,50 | 15,40 | 122,00 | 5,10 |
| SN (SURUMU) | 68,97 | 379,99 | 0,86 * | 14,50 | 0,1815 | 5,50 | 19,00 | 120,00 | 2,60 |
| ----- Correlação ----- | | | | | | | | | |
| TODOS | - | - | - | - | -0,505 ns | 0,293 ns | 0,216 ns | 0,370 ns | 0,464 ns |
| LATOSSOLOS E ARGISSOLOS | - | - | - | - | -0,954 * | 0,605 ns | 0,673 ns | 0,801 ns | 0,623 ns |

Onde: A: Coeficiente angular; B: Coeficiente linear; R²: Coeficiente de determinação; CMAP: Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo; M.O.: Matéria Orgânica; T: Capacidade de Troca de Cátions Total.

e Mendes (2007) em Latossolos e Argissolos da Amazônia e da Paraíba respectivamente.

Observou-se grande amplitude na CMAP dos solos em estudo, com valores entre 14,50 e 527,93 g kg⁻¹. Os solos com maior adsorção seguiram a sequência: FT (BONFIM) > LV (ITÃ) > LA (CCA) > LA (SERRA DA PRATA) > LA (ITÃ) > PA (CCA) > SN (SURUMU) (Tabela 5). Os principais fatores que afetaram a adsorção foram teor e mineralogia da argila, M.O. e presença de óxidos de ferro. O FT (BONFIM), apesar da textura francoarenosa a franco, obteve a maior CMAP dentre todos os solos estudados (527,93 mg kg⁻¹) devido à presença de minerais expansíveis na fração argila. Novais, Smyth e Nunes (2007) afirmam que a qualidade da fração argila tem maior importância que o seu teor na disponibilidade de sítios ativos para adsorção de ânions. Chaves, Chaves e Mendes (2007) concluem que, em solos de textura semelhante, a CMAP é influenciada, sobretudo, pela mineralogia da argila. A presença de mica nas frações do solo, possivelmente na forma de muscovita, pode gerar minerais do tipo 2:1 com hidróxido entre camadas, aumentando consideravelmente a atividade dessa fração.

O LV (ITÃ) tem sua alta adsorção de P, 389,20 mg kg⁻¹, ligada a textura argilosa a muito argilosa e presença de óxidos de ferro na forma de goethita e hematita. A presença desses óxidos gera cargas dependentes do pH que podem ser positivas que aumentam a adsorção de P. Em pH ácido, os íons H⁺ em solução tendem a ligar-se com as hidroxilas desses minerais, gerando cargas positivas que funcionam como sítios ativos para ânions. Em pH elevado, cátions de maior valência presentes no solo, principalmente Ca²⁺ e Al³⁺, podem funcionar como “pontes” entre os óxidos e ânions. Essa alta adsorção é comum a solos intemperizados, em destaque aos vermelhos, como constatados por diversos autores (FALCÃO; SILVA, 2004; CHAVES; CHAVES; MENDES, 2007; FARIAS et al., 2009; CORRÊA; NASCIMENTO; ROCHA, 2011).

Os Latossolos Amarelos do estudo tiveram CMAP semelhantes, com pequena variação (244,74 mg kg⁻¹ para LA (ITÃ), 282,77 mg kg⁻¹ para LA (SERRA DA PRATA) e 298,72 mg kg⁻¹ para LA (CCA)) atribuída à quantidade de óxidos e concentração de Al³⁺. Solos com relação mais baixa de silte/argila, caso do LA (CCA), podem indicar estágio de intemperismo mais avançado quando comparado aos outros Latossolos Amarelos estudados. Supõe-se que haja diferença na

presença de goethita dentre esses solos, com maior quantidade no LA (CCA), mesmo que em pequenos valores absolutos, o que elevaria o número de cargas positivas. Em conjunto a isso, a maior concentração de Al^{3+} nesta classe eleva o número de sítios ativos de adsorção de fósforo através de ligações parciais com as argilas, M.O. e óxidos (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007; FARIAS et al., 2009; CORRÊA; NASCIMENTO; ROCHA, 2011).

Os menores valores de CMAP foram encontrados para os solos de textura areia franca a franco arenosa em superfície associados à mineralogia predominantemente caulínica desses solos. O PA (CCA), com CMAP de 77,24 mg kg^{-1} , e o SN (SURUMU), com CMAP de 14,50 mg kg^{-1} , possuem todas as condições para uma baixa adsorção de ânions: teores inferiores de argila (média de 110,0 g kg^{-1} e 120,0 g kg^{-1} em superfície para PA (CCA) e SN (SURUMU) respectivamente), mineralogia caulínica, de baixa adsorção, e pouca M.O. incorporada à superfície do solo (8,3 e 19,0 g kg^{-1} para PA (CCA) e SN (SURUMU) respectivamente). Os Argissolos possuem CMAP variada devido à diversidade da classe, sendo encontrados baixos valores como em Moreira et al. (2006), Farias et al. (2009) e Corrêa, Nascimento, Rocha (2011), até valores elevados correspondentes a Latossolos oxídicos (FALCÃO; SILVA, 2004; CHAVES; CHAVES; MENDES, 2007). No nordeste brasileiro, berço dos Planossolos, a CMAP observada nesta classe é geralmente elevada devido à sua mineralogia esmectítica (SCHAEFER et al., 1993) ou à maior quantidade de óxidos de ferro livres no solo (FARIAS et al., 2009).

Apesar dessa variação na CMAP dos solos do Estado, os teores de P são naturalmente baixos na maior parte dos solos da região tropical, como observado em Cambissolos, Chernossolos e Nitossolos do norte de Roraima (MELO; SCHAEFER; UCHÔA, 2010), Latossolos e Argissolos da região central (VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010; BENEDETTI et al., 2011) e Neossolos e Espodossolos do sul do estado (MENDONÇA et al., 2013).

A energia de ligação (Tabela 6) foi influenciada pelos teores de argila, conteúdo de M.O. e presença de óxidos de forma diferenciada em cada região. Em termos gerais, as cargas negativas oriundas da argila repelem os íons fosfato, diminuindo a energia de ligação. Em se tratando da M.O. e óxidos, suas influências variam de acordo com a qualidade da M.O., textura, quantidade de óxi-hidróxidos, pH, V%, entre outros fatores. O conjunto desses aspectos define o surgimento de

cargas negativas que, por conseguinte, reduzem consideravelmente a energia de ligação dos ânions, em particular, os fosfatos. Falcão e Silva (2006) observaram a influência dos teores de argila e V% no decréscimo dessa energia.

Não foram observadas correlações significativas entre a CMAP e as propriedades do solo energia de ligação, pH, M.O., argila e CTC (Tabela 6). Esses resultados diferem dos encontrados por outros autores (ROLIM NETO et al., 2004; CHAVES; CHAVES; MENDES, 2007; RANNO et al., 2007; FARIAS et al., 2009; VILAR et al., 2010). Segundo Vale Júnior et al. (2011), há grande diversidade pedológica em Roraima, com solos originários de sedimentos assentados sobre o craton Amazônico (Formação Içá, Alter do Chão, Boa Vista e Solimões), de Formações Cristalinas, constituídas de granitos e gnaisses, Formação Apoteri, representada por basaltos e diabásios, e Formação Surumu, constituída de afloramentos de riolitos e riodacitos. Esses fatores, em conjunto a uma variabilidade pluvial que vai de 2900 mm no sul do estado até 1100 no extremo norte (BARBOSA, 1997), contribuem para grandes variações nos atributos mineralógicos dos solos do Estado, com reflexões nas variações de adsorção de fósforo dos solos.

Quando associados os Latossolos e Argissolos, que possuem características físicas, químicas e mineralógicas semelhantes, constatou-se correlação negativa significativa entre a CMAP e energia de ligação. Nessas classes, fica evidente que, com o aumento da CMAP, a energia de ligação entre o fósforo e seus sítios ativos diminui devido à repulsão causada pelas cargas negativas oriundas das argilas. Esse resultado está em consonância com Valladares, Pereira e Anjos (2003), Falcão e Silva (2004), Ranno et al. (2007), Farias et al. (2009) e Corrêa, Nascimento e Rocha (2011).

5.5 Eficiência de extratores de P para os solos do estado

5.5.1 Relação entre as doses de P aplicada e o extraído pelos diferentes métodos

A relação entre as doses de P aplicada nos diferentes solos e os teores extraídos pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina está representada na Figura 8. Os coeficientes angular, linear e de determinação de cada reta ajustada para as diferentes classes de solo estão dispostas na Tabela 6.

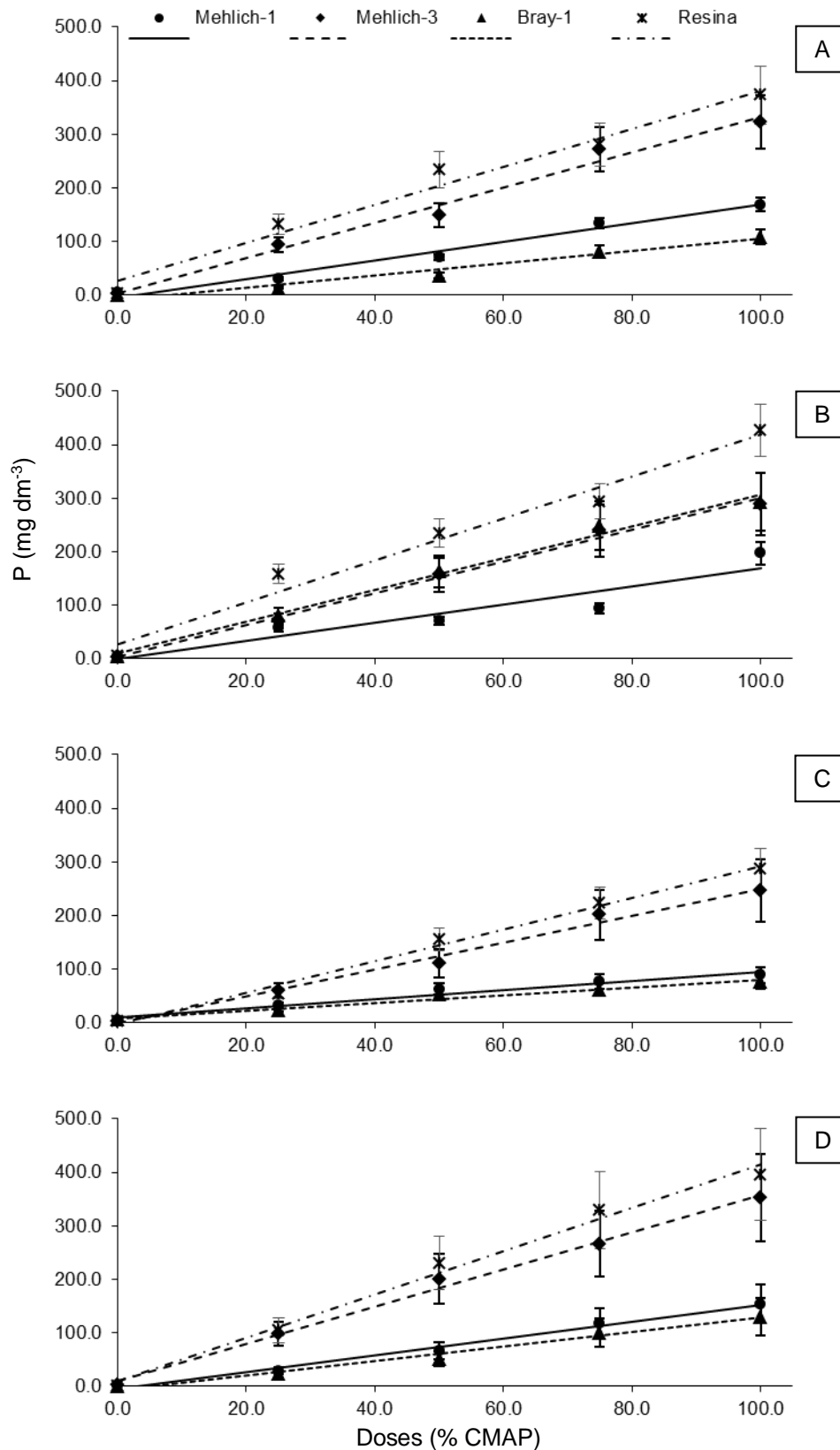


Figura 8 – Extração de P através dos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina em diferentes doses de P aplicadas ao solo. A: LA (ITÃ); B: LV (ITÃ); C: LA (SERRA DA PRATA); D: LA (CCA); E: PA (CCA); F: FT (BONFIM); G: SN (SURUMU) (continua...).

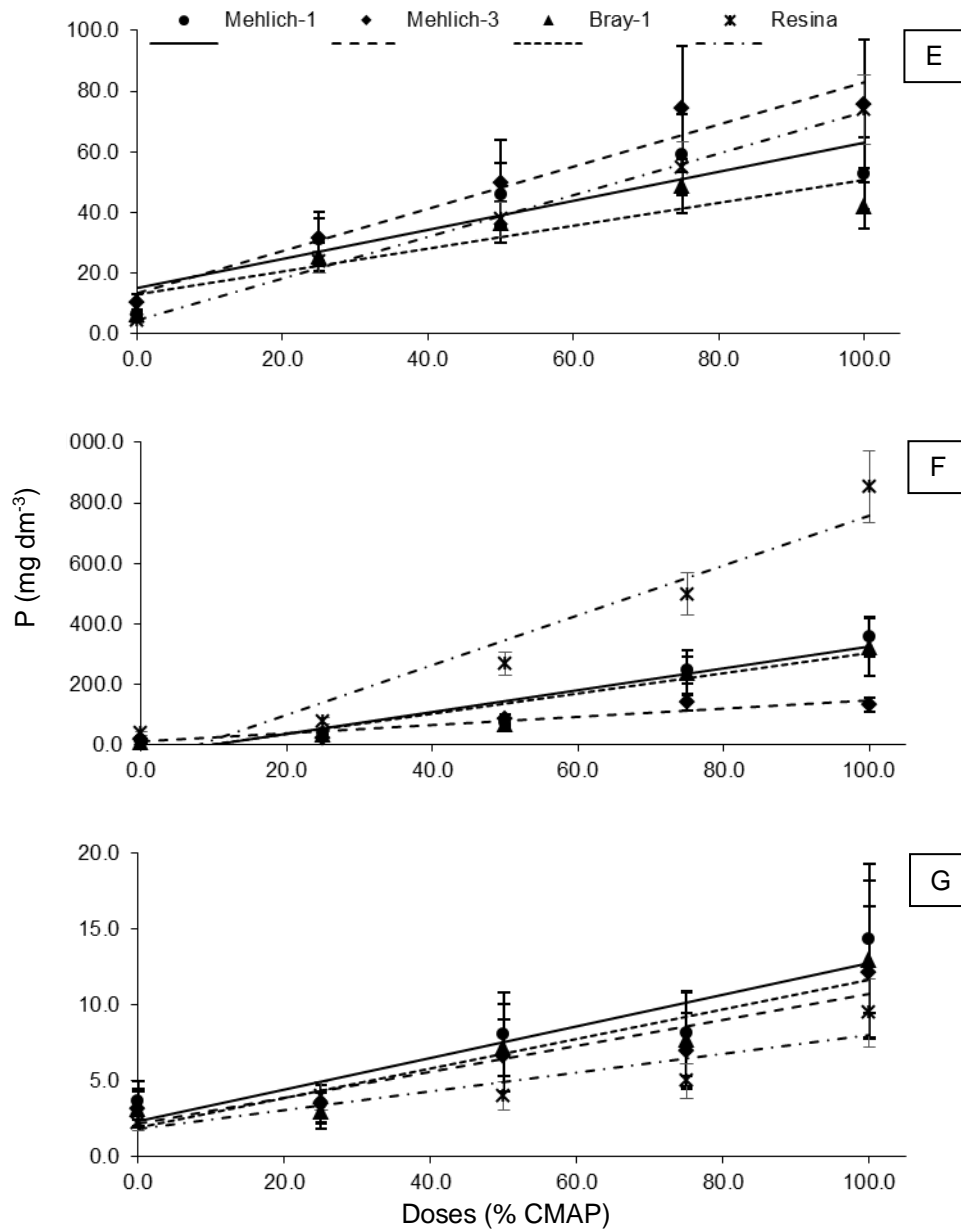


Figura 8 – Extração de P através dos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina em diferentes doses de P aplicadas ao solo. A: LA (ITÃ); B: LV (ITÃ); C: LA (EMBRAPA); D: LA (CCA); E: PA (CCA); F: FT (BONFIM); G: SN (SURUMU) (conclusão).

Tabela 7 – Coeficientes da equação linear referente à extração de P através dos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina nas diferentes dosagens aplicadas ao solo.

| Solo | Extrator | Y = A*X+B | | |
|---------------------|-----------|-----------|---------|----------------|
| | | A | B | R ² |
| LA (ITÃ) | Mehlich-1 | 1,733 | -4,735 | 0,982 ** |
| | Mehlich-3 | 3,271 | 4,793 | 0,986 ** |
| | Bray-1 | 1,137 | -8,217 | 0,964 ** |
| | Resina | 3,545 | 27,650 | 0,976 ** |
| LV (ITÃ) | Mehlich-1 | 1,683 | 0,911 | 0,887 ** |
| | Mehlich-3 | 2,967 | 3,508 | 0,993 ** |
| | Bray-1 | 2,976 | 9,720 | 0,991 ** |
| | Resina | 3,917 | 28,050 | 0,975 ** |
| LA (SERRA DA PRATA) | Mehlich-1 | 0,851 | 10,849 | 0,959 ** |
| | Mehlich-3 | 2,511 | -1,179 | 0,990 ** |
| | Bray-1 | 0,719 | 9,129 | 0,969 ** |
| | Resina | 2,948 | -3,083 | 0,991 ** |
| LA (CCA) | Mehlich-1 | 1,581 | -4,996 | 0,991 ** |
| | Mehlich-3 | 3,473 | 10,183 | 0,995 ** |
| | Bray-1 | 1,343 | -5,797 | 0,983 ** |
| | Resina | 4,050 | 9,650 | 0,990 ** |
| PA (CCA) | Mehlich-1 | 0,481 | 15,080 | 0,825 ** |
| | Mehlich-3 | 0,696 | 13,516 | 0,956 ** |
| | Bray-1 | 0,378 | 13,114 | 0,816 ** |
| | Resina | 0,683 | 4,800 | 0,998 ** |
| FT (BONFIM) | Mehlich-1 | 3,578 | -32,933 | 0,900 ** |
| | Mehlich-3 | 1,393 | 10,734 | 0,886 ** |
| | Bray-1 | 3,329 | -29,888 | 0,901 ** |
| | Resina | 8,190 | -62,300 | 0,928 ** |
| SN (SURUMU) | Mehlich-1 | 0,104 | 2,374 | 0,862 ** |
| | Mehlich-3 | 0,086 | 2,203 | 0,876 ** |
| | Bray-1 | 0,097 | 1,976 | 0,888 ** |
| | Resina | 0,062 | 1,850 | 0,806 ** |

Onde: A: Coeficiente angular; B: Coeficiente linear; R²: Coeficiente de determinação.

A Resina foi o método que mais extraiu P dos Latossolos, com valores que alcançaram 373,50 mg dm⁻³ no LA (ITÃ), 427,25 mg dm⁻³ no LV (ITÃ), 286,75 mg dm⁻³ no LA (SERRA DA PRATA) e 395,50 mg dm⁻³ no LA (CCA). Os fatores que mais influenciaram nessa variação foram a CMAP, textura e pH do solo. Com a elevação do pH através da calagem, o P do solo passa, em parte, a ligar-se com cálcio. Essa forma é considerada não-lábil e, por conseguinte, não está disponível para as plantas (RAIJ; FEITOSA, 1980; SILVA; RAIJ, 1999; MELO; SCHAEFER; UCHÔA, 2010; FREITAS et al., 2013). O método de Resina não consegue extrair o P nessa forma, justificando os menores valores extraídos no LA (SERRA DA PRATA) quando comparados aos outros Latossolos Amarelos de CMAP semelhantes. O método da Resina não foi sensível às variações de textura dos Latossolos, resultado que diverge dos encontrados por Brasil e Muraoka (1997) e Santos e Kliemann (2005). Os diferentes conteúdos de M.O. e presença de óxidos pode ter contrabalanceado a variação textural, fazendo com que as extrações fossem semelhantes nessa classe.

O método Mehlich-3 extraiu valores próximos dos encontrados na Resina, estatisticamente iguais na maior parte das doses. Os valores máximos obtidos foram de 323,35 mg dm⁻³ no LA (ITÃ), 288,68 mg dm⁻³ no LV (ITÃ), 246,40 mg dm⁻³ no LA (SERRA DA PRATA) e 351,79 mg dm⁻³ no LA (CCA). Silva et al. (1999) encontraram elevada correlação entre os conteúdos de P extraídos pelos dois métodos para dois Latossolos do Mato Grosso do Sul, com valores entre 0,845 e 0,967. Os autores afirmam que esses métodos extraem formas semelhantes de P nessas classes, sobretudo as formas ligadas a Fe e Al. Steiner et al. (2012) verificaram maior capacidade de extração pelo Mehlich-3 em relação à Resina, destacando, ainda, a forte correlação entre o extraído pelos métodos e as quantidades de P absorvida pela soja.

Os métodos de Mehlich-1 e Bray-1 foram os que menos extraíram P dos Latossolos, com valores superiores de extração pelo método Bray-1 no LV (ITÃ) e por Mehlich-1 no LA (ITÃ). A textura argilosa do LV (ITÃ) concomitantemente à presença de P ligado a óxidos de Fe e Al prejudicou a extração por Mehlich-1. Esse resultado é corroborado por diversos autores na análise da eficiência de extração de P por Mehlich-1 (BRASIL; MURAOKA, 1997; ALCÂNTARA et al., 2008; BORTOLON; GIANELLO; SCHLINDWEIN, 2009; FREITAS et al., 2013). Por outro lado, Bray-1,

que extrai, preferencialmente, P ligado a Fe e Al (RAIJ; FEITOSA, 1980; SILVA; RAIJ, 1999) teve incremento em sua extração. No LA (ITÃ), desprovido de hematita (óxido de ferro oxidado), fez-se a ordem mais comum, com maior extração do Mehlich-1 comparado a Bray-1.

Em se tratando dos solos de textura arenosa, com teores de argila inferiores a 150 g kg^{-1} no horizonte superficial, a extração foi influenciada pelas características CMAP, mineralogia e pH do solo. No FT (BONFIM), com a mais alta CMAP entre os solos estudados e presença de argilominerais do tipo 2:1, o uso de extratores à base de ácidos fortes (Mehlich-1) ou fracos (Mehlich-3 e Bray-1) é prejudicado pela elevada T desses solos, o que causa a exaustão dos extratores através do consumo de ânions, sulfatos e fluoretos por alumínio ou cálcio presentes no solo que não estão ligados ao P (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007; BROGGI et al., 2010, GONÇALVES et al., 2012). Consequentemente, a extração deste elemento por esses métodos é inferior à Resina, que simula o comportamento da raiz na absorção do P, extraíndo valores elevados do elemento através da troca de ligantes entre bicarbonato e dihidrogenofosfato (SILVA; RAIJ, 1999).

O PA (CCA) e SN (SURUMU) tiveram valores de P extraído semelhantes pelos diversos métodos por terem textura arenosa em superfície, em conjunto à mineralogia basicamente caulínica. Assim, o fosfato, nas suas diversas formas, tem menor energia de ligação com os seus sítios ativos (Tabela 6), sendo dissociado com facilidade até pelos extratores com baixa capacidade de dissociação das formas P-Al, P-Fe (Mehlich-1) e P-Ca (Mehlich-3 e Bray-1). Os teores extraídos mantiveram-se abaixo de $75,77 \text{ mg dm}^{-3}$ através de Mehlich-3 para o PA (CCA) e $14,39 \text{ mg dm}^{-3}$ por intermédio de Mehlich-1 para SN (SURUMU). Resultados semelhantes foram encontrados por Raij e Feitosa (1980) em Podzólicos Vermelhos (possivelmente Argissolos Vermelhos no SBCS – 2013) com 14% de argila.

5.5.2 Correlação entre as quantidades de P extraídas pelos diferentes métodos e a matéria seca do milho produzida nas diferentes classes de solo

Os solos foram agrupados considerando a proporcionalidade da extração de P com o aumento da matéria seca a fim de obter correlações com maior confiabilidade em solos com taxas de extração similares (SANTOS; KLIEMANN, 2005). Essa informação foi obtida através do coeficiente angular da reta ajustada à relação

Tabela 8 – Coeficientes da equação linear referente à extração de P através dos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina e a matéria seca do milho nos diferentes tipos de solo.

| Extrator | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|----------------|-------|-----------|-------|----------------|-------|--------|-------|----------------|-------|--------|-------|----------------|-------|
| Mehlich-1 | | | | Mehlich-3 | | | | Bray-1 | | | | Resina | | | |
| ----- Y = A*X + B ----- | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | B | R ² | CV% | A | B | R ² | CV% | A | B | R ² | CV% | A | B | R ² | CV% |
| ----- LA (ITÃ) ----- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,27 | 42,95 | 0,67** | 7,28 | 0,14 | 40,51 | 0,72** | 15,31 | 0,38 | 46,42 | 0,61** | 12,89 | 0,14 | 36,13 | 0,81** | 14,42 |
| ----- LV (ITÃ) ----- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,56 | 47,35 | 0,75** | 10,65 | 0,32 | 46,88 | 0,69** | 20,29 | 0,31 | 45,04 | 0,84** | 18,28 | 0,27 | 35,26 | 0,84** | 11,39 |
| ----- LA (SERRA DA PRATA) ----- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,67 | 23,46 | 0,92** | 16,68 | 0,22 | 31,57 | 0,86** | 23,38 | 0,77 | 24,58 | 0,89** | 18,20 | 0,20 | 30,85 | 0,92** | 13,55 |
| ----- LA (CCA) ----- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,13 | 23,15 | 0,70** | 23,69 | 0,06 | 21,73 | 0,72** | 23,17 | 0,14 | 24,10 | 0,63** | 26,63 | 0,05 | 21,25 | 0,79** | 21,68 |
| ----- PA (CCA) ----- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,32 | 15,98 | 0,63** | 22,50 | 0,24 | 17,10 | 0,63** | 28,15 | 0,40 | 15,84 | 0,61** | 18,09 | 0,29 | 17,18 | 0,80** | 15,47 |
| ----- FT (BONFIM) ----- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,02 | 34,08 | 0,56** | 17,72 | 0,06 | 32,51 | 0,64** | 17,74 | 0,02 | 34,40 | 0,48** | 29,99 | 0,01 | 33,06 | 0,81** | 14,05 |
| ----- SN (SURUMU) ----- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,46 | 12,82 | 0,52** | 34,84 | 0,55 | 12,76 | 0,51** | 35,52 | 0,44 | 13,30 | 0,45** | 39,96 | 1,00 | 11,40 | 0,81** | 23,54 |

Onde: A: Coeficiente angular; B: Coeficiente linear; R²: Coeficiente de determinação; CV%: Coeficiente de variação.

Tabela 9 – Coeficiente de correlação linear para a relação extrator x matéria seca em cada solo, agrupados de acordo com a proporcionalidade de extração e na sua totalidade.

| Solo | Extrator | | | |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|---------|---------|
| | Mehlich-1 | Mehlich-3 | Bray-1 | Resina |
| LA (ITÃ) | 0,85 ** | 0,82 ** | 0,78 ** | 0,90 ** |
| LV (ITÃ) | 0,83 ** | 0,86 ** | 0,83 ** | 0,92 ** |
| LA (SERRA DA PRATA) | 0,93 ** | 0,96 ** | 0,94 ** | 0,96 ** |
| LA (CCA) | 0,85 ** | 0,83 ** | 0,79 ** | 0,89 ** |
| PA (CCA) | 0,79 ** | 0,79 ** | 0,78 ** | 0,90 ** |
| FT (BONFIM) | 0,80 ** | 0,75 ** | 0,69 ** | 0,90 ** |
| SN (SURUMU) | 0,72 ** | 0,72 ** | 0,67 ** | 0,90 ** |
| ----- Grupo 1 ----- | | | | |
| LA (CCA) + FT (BONFIM) | 0,64 ** | 0,55 ** | 0,60 ** | 0,73 ** |
| ----- Grupo 2 ----- | | | | |
| LA (ITÃ) + LV (ITÃ) + LA (SERRA DA PRATA) + PA (CCA) + SN (SURUMU) | 0,83 ** | 0,83 ** | 0,85 ** | 0,92 ** |

“extração de P x matéria seca” para cada extrator dentro dos diferentes tipos de solo, disponível na Tabela 8. A correlação entre as quantidades extraídas de P pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina e a matéria seca do milho produzida nas diferentes classes de solos tomadas isoladamente e agrupadas em classes de acordo com a proporcionalidade de extração estão dispostas na Tabela 9.

Considerando cada solo individualmente, as quantidades extraídas pelos diferentes métodos tiveram correlação forte (acima de 0,7 de acordo com Larson e Farber (2010)) com a matéria seca produzida nos Latossolos. Nestes solos, que possuem textura média a argilosa, percebe-se equidade das correlações entre os extratores e a matéria seca, com valores entre 0,83 a 0,93 para Mehlich-1, 0,83 a 0,96 para Mehlich-3, 0,78 a 0,94 para Bray-1 e 0,89 a 0,96 para Resina.

A maior amplitude para o método Bray-1 deve-se a sua sensibilidade à variação dos teores de óxidos de ferro e alumínio, argila e cálcio (BRASIL; MURAOKA, 1997).

A diversidade de características químicas (pH, M.O., CTC e V%), físicas (textura de franco argilo-arenosa a argilosa em superfície) e mineralógicas (preponderantemente caulíníticos, com ocorrência de óxidos em maior quantidade nos Vermelhos) dos Latossolos estudados contribuíram para essa amplitude.

Apesar do poder de extração de P superior em Mehlich-3 quando comparado ao do Mehlich-1, a correlação com a matéria seca obteve índices muito próximos em todos os Latossolos, indicando ambos como adequados na recomendação de adubação para essa classe. Diversos autores encontraram resultados análogos (ALCÂNTARA et al., 2008; BORTOLON; GIANELLO, 2008; SILVA et al., 2008; BORTOLON; GIANELLO; SCHLINDWEIN, 2009; STEINER et al., 2012), embora Brasil e Muraoka (1997) tenham percebido maior correlação do extrator Mehlich-3 em três Latossolos, devido à extração excessiva, através do Mehlich-1, de fontes de P de pouca solubilidade.

Mesmo com as elevadas correlações para todos os extratores, salienta-se os valores superiores para o método da Resina, que demonstra a maior uniformidade na extração de P *versus* a matéria seca produzida, fato constatado por Silva et al. (1999) ao correlacionar o P extraído pelo método e as variáveis altura de plantas, número de folhas trifoliadas, matéria seca da parte aérea e acúmulo de P na parte aérea.

Considerando os solos de textura arenosa em superfície, caso do PA (CCA), FT (BONFIM) e SN (SURUMU), a Resina obteve correlação superior a todos os outros extratores, com valor de 0,90 para as três classes. Excluída a Resina, foram observadas correlações semelhantes para todos os métodos, com intervalos entre 0,72 a 0,80 para Mehlich-1, 0,72 a 0,79 para Mehlich-3 e 0,67 a 0,78 para Bray-1. O elevado CV% dos dados referentes a esses extratores (Tabela 8) demonstra a variabilidade das extrações em uma mesma dosagem de P aplicada ao solo, o que prejudica a correlação dessas informações com a matéria seca.

Silva e Raij (1999), em levantamento bibliográfico de 72 trabalhos de análise de eficiência de extratores, determina que o método de Resina é o mais adequado para uma ampla diversidade de solos. Em contrapartida, o resultado encontrado neste trabalho diverge de outros autores que trabalharam com Resina (LINS; COX, 1989; BRASIL; MURAOKA, 1997; SILVA et al., 2008; FREITAS et al., 2013), expondo a dinâmica diferenciada do fósforo no tocante a heterogeneidade das

propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos no país e destacando a importância desses estudos em diferentes regiões.

Considerando o agrupamento de solos de acordo com a proporcionalidade de extração nas diferentes classes, o Grupo 1 obteve correlação forte apenas para a Resina (0,73), com valores inferiores para os demais extratores (0,64 para Mehlich-1, 0,55 para Mehlich-3 e 0,60 para Bray-1). Para o Grupo 2, houve correlação forte para todos os extratores, com índices entre 0,83 e 0,92, sendo o maior representado pelo extrator Resina. Segundo Santos e Kliemann (2005), torna-se incerto determinar os fatores que influenciam nessa correlação, uma vez que solos de diferentes características que influenciam a extração estão agrupados. Entretanto, os autores defendem o agrupamento como forma de validar os índices de correlação, considerando o aumento de pontos na determinação da correlação linear para cada grupo. Esses resultados fazem da Resina um extrator adequado para a determinação de níveis de adubação considerando classes de solo separadas por características em comum a todos como teor de argila, M.O., CTC ou proporcionalidade de extração. Um extrator que se correlacione com grupos de solos ao invés de uma única classe se torna viável, visto as dificuldades em se determinar níveis de adubação para cada classe de solo e suas variações.

5.5.3 Correlação entre os teores de P extraído pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina

.Considerando a classe dos Latossolos e Argissolos, os extratores obtiveram correlação elevada entre si (Tabela 10). Isso demonstra uma proporcionalidade entre os métodos no que concerne à capacidade de extração, sugerindo que os quatro extratores tenham conseguido retirar proporções semelhantes das diferentes formas de P no solo. Sabendo-se que os extratores químicos têm sua eficiência limitada a determinado tipo de ligação dos fosfatos, P-Ca para Mehlich-1 e P-Al e P-Fe para Mehlich-3 e Bray-1, subtende-se que cada extrator tenha contrabalanceado a diminuta dissolução de P em uma forma não extraível pelo método por quantidades maiores da fração que lhe é mais acessível. Sendo assim, Mehlich-1 extraiu mais P ligado a Ca, enquanto Mehlich-3 e Bray-1, preferencialmente, as formas ligadas a Al e Fe, mantendo-se a proporcionalidade de extração com a variação das doses de P no solo. Não significa que os métodos têm capacidade de

Tabela 10 – Coeficiente de correlação linear para a relação extrator x extrator em cada solo.

| Extrator | Extrator | | | |
|---------------------------------|-----------|-----------|---------|---------|
| | Mehlich-1 | Mehlich-3 | Bray-1 | Resina |
| ----- LA (ITÃ) ----- | | | | |
| Mehlich-1 | - | 0,986** | 0,990** | 0,945** |
| Mehlich-3 | - | - | 0,977** | 0,959** |
| Bray-1 | - | - | - | 0,929** |
| ----- LV (ITÃ) ----- | | | | |
| Mehlich-1 | - | 0,895** | 0,888** | 0,953** |
| Mehlich-3 | - | - | 0,999** | 0,957** |
| Bray-1 | - | - | - | 0,959** |
| ----- LA (SERRA DA PRATA) ----- | | | | |
| Mehlich-1 | - | 0,959** | 0,986** | 0,958** |
| Mehlich-3 | - | - | 0,951** | 0,971** |
| Bray-1 | - | - | - | 0,959** |
| ----- LA (CCA) ----- | | | | |
| Mehlich-1 | - | 0,965** | 0,981** | 0,975** |
| Mehlich-3 | - | - | 0,938** | 0,978** |
| Bray-1 | - | - | - | 0,952** |
| ----- PA (CCA) ----- | | | | |
| Mehlich-1 | - | 0,955** | 0,997** | 0,875** |
| Mehlich-3 | - | - | 0,952** | 0,948** |
| Bray-1 | - | - | - | 0,865** |
| ----- FT (BONFIM) ----- | | | | |
| Mehlich-1 | - | 0,763** | 0,988** | 0,918** |
| Mehlich-3 | - | - | 0,740** | 0,846** |
| Bray-1 | - | - | - | 0,883** |
| ----- SN (SURUMU) ----- | | | | |
| Mehlich-1 | - | 0,987** | 0,987** | 0,591** |
| Mehlich-3 | - | - | 0,975** | 0,577** |
| Bray-1 | - | - | - | 0,554* |

extração análogas para os Latossolos e Argissolos, apenas que extraem proporções semelhantes de P nas concentrações estudadas do elemento no solo.

No caso do FT (BONFIM), índices inferiores foram observados para Mehlich-1 x Mehlich-3 (0,76) e Mehlich-3 x Bray-1 (0,74). Neste caso, apesar dos princípios de extração de ambos os métodos serem similares, a preferência do fluoreto em se ligar a elementos de maior valência, caso do Al^{3+} , adjacente a menor acidez do extrator Mehlich-3, indica que esse método, por vezes, não é eficiente na extração das formas de P ligadas ao Ca, elemento presente em quantidade razoável no complexo de troca desse solo. O íon fluoreto presente em ambas as soluções forma um complexo com o Al^{3+} , principalmente, e o Ca^{2+} , em menor quantidade, liberando o fosfato e precipitando na forma de fluoreto de cálcio (SILVA; RAIJ, 1999). Apesar da presença do fluoreto em ambos os extratores, a sua maior concentração em Bray-1 (0,03 N NH_4F) em relação ao Mehlich-3 (0,015 N NH_4F) manteve o poder de complexação do Ca^{2+} e Al^{3+} naquele método, predicado importante em solo com elevada concentração de argilominerais expansíveis, cuja consome boa parte dos íons fluoreto devido a sua elevada T.

O extrator Mehlich-1, por sua vez, consegue retirar, preferencialmente, o P ligado ao Ca devido à presença de dois ácidos fortes em solução, HCl 0,05 mol L^{-1} e H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} , extraindo valores superiores ao Mehlich-3 em solos com fosfato na forma P-Ca (RAIJ; FEITOSA, 1980; HOLANDA et al., 1995; SANTOS; KLIEMANN, 2005; BROGGI et al., 2010; STEINER et al., 2012; FREITAS et al., 2013).

As correlações foram baixas entre os extratores químicos e a Resina para o SN (SURUMU). O extratores químicos, por serem seletivos, retiram o fosfato ligado a diferentes cátions nas formas lábil e não lábil (RAIJ; FEITOSA, 1980; HOLANDA et al., 1995; BRASIL; MURAOKA, 1997; BORTOLLON; GIANELLO, 2008; BORTOLON; GIANELLO; SCHLINDWEIN, 2009), enquanto o processo da Resina é semelhante ao da raiz no solo, através de material poroso com elevada CTA saturada por bicarbonato, responsável pela dissolução do P e posterior adsorção à Resina (SILVA; RAIJ, 1999; GONÇALVES et al., 2012). Em solos menos ácidos e de baixa CTC, os extratores químicos podem superestimar os valores disponíveis para a planta, extraindo formas não lábeis presentes no solo. Nessas condições, o

extrator Resina tem sido mais adequado em conceber quantidades de P condizentes com o disponível para as plantas.

6 CONCLUSÕES

1 – Os valores de CMAP seguiram a sequência: FT (BONFIM) > LV (ITÃ) > LA (CCA) > LA (SERRA DA PRATA) > LA (ITÃ) > PA (CCA) > SN (SURUMU);

2 – Constatou-se falta de correlação entre a CMAP e as propriedades do solo energia de ligação, pH, M.O., argila e CTC dos solos do estado, indicando a necessidade de categorizar as classes de acordo com propriedades semelhantes entre eles. Quando elencados os Latossolos e Argissolos, constatou-se correlação forte entre CMAP e argila;

3 – O método da Resina e Mehlich-3 são os que mais extraem P dos Latossolos;

4 – A extração pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina correlaciona-se fortemente com a matéria seca produzida nos Latossolos e Argissolos analisados, sendo maiores para a Resina. Nos solos do norte do estado, o extrator Resina é o mais adequado na avaliação do P disponível, com os métodos químicos obtendo correlação moderada;

5 – Para o Grupo 1, o extrator Resina é o único método que obtém correlação forte com a matéria seca, sendo indicado no prognóstico do P lábil nessa classe. Os extratores químicos, em conjunto à Resina, são adequados na determinação de P disponível para o Grupo 2;

6 – Os extratores apresentam correlação elevada entre si nos Latossolos e Argissolos. Isso demonstra uma proporcionalidade entre os métodos no que concerne ao poder de extração. O Mehlich-3 tem menores índices de correlação com Mehlich-1 e Bray-1 em FT (BONFIM), sendo extratores que não podem substituir-se nas técnicas laboratoriais de determinação de P em amostras desse solo. Para SN (SURUMU), O método da Resina demonstra capacidade de extração diferenciada em relação aos extratores químicos, sendo o extrator mais adequado para essa classe;

7 – O método da Resina é o mais apropriado na determinação do P disponível para os solos da região. O extrator manifesta pouca sensibilidade às variações das características dos solos estudados, atributo essencial na determinação do método de extração a ser utilizado na rotina dos laboratórios do estado.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; RESENDE, A. V. de. Extraction methods for phosphorus and their relationship with soils phosphorus-buffer capacity estimated by the remaining-phosphorus methodology-a pot study with maize. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 39, n. 3-4, p. 603-615, 2008.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F. de; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. de. **Determinação e uso do fósforo remanescente**. Viçosa: SBCS, 2000. 32 p. (Boletim informativo, 25).
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. de T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p. 253-280.
- BARBOSA, R. I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. **Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima**. Manaus: INPA, 1997. p.325-335.
- BENEDETTI, U. G. **Estudo detalhado dos solos do Campus do Cauamé da UFRR, Boa Vista, Roraima**. 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2007.
- BENEDETTI, U. G.; VALE JÚNIOR, J. F. do; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos pliopleistocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, norte Amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 299-312, 2011.
- BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Interpretação de resultados analíticos de fósforo pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2751-2756, 2008.
- BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; SCHLINDWEIN, J. A. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para o milho pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3. **Scientia Agraria**, v.10, n. 4, p. 305-312, 2009.
- BRASIL, E. C.; MURAOKA, T. Extratores de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 599-606, 1997.
- BRAY, R. H.; KURTZ, L. T. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. **Soil Science**, v. 59, p. 39-45, 1945.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Geologia do Brasil**: texto explicativo do mapa de geologia do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Brasília, 1984. 501 p.

BRASIL. **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil (Roraima Central)**: carta geológica [mapa]. Córrego Alegre: CPRM; 1998.

BROGGI, F.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. dos S.; NASCIMENTO, C. W. A. do; OLIVEIRA, A. C. de. Avaliação da disponibilidade, adsorção e níveis críticos de fósforo em diferentes solos. **Revista Ceres**, v. 57, n. 2, p. 247-253, 2010.

BROGGI, F.; OLIVEIRA, A. C. de; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. dos S.; NASCIMENTO, C. W. A. do. Fator capacidade de fósforo em solos de Pernambuco mineralogicamente diferentes e influência do ph na Capacidade Máxima de Adsorção. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 1, p. 77-83, 2011.

CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. de B.; MENDES, J. da S. Adsorção de fósforo em materiais de Latossolo e Argissolo. **Revista Catinga**, v. 20, n. 3, p. 104-111, 2007.

COIMBRA, R. R.; FRITSCHÉ-NETO, R.; COIMBRA, D. B.; NAOE, L. K.; CARDOSO, E. A.; RAONI, D.; MIRANDA, G. V. Relação entre tolerância do milho a baixo teor de fósforo no solo e responsividade à adubação fosfatada. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 332-339, 2014.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A. do; FREIRE, F. J.; SOUZA, S. K. S. C.; FERRAZ, G. B. Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, p. 218-224, 2008.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A. do; ROCHA, A. T. da. Adsorção de fósforo em dez solos do estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos. **Acta Scientiarum**, v. 33, n. 1, p. 153-159, 2011.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2009. 627 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353 p.

FALCÃO, N. P. S.; SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 34, n. 3, p. 337-342, 2004.

FARIAS, D. R. de; OLIVEIRA, F. H. T. de; SANTOS, D.; ARRUDA, J. A. de; HOFFMANN, R. B.; NOVAIS, R. F. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba: Isotermas de adsorção e medidas do fator capacidade de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 623-632, 2009.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 515-524, 1999.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A. de; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agrícola*, v. 28, n.3, p. 627-646, 2001.

FRAGA, V. S.; SALCEDO, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p. 215-224, 2004.

FREITAS, I. F. de; NOVAIS, R. F.; VILLANI, E. M. de A.; NOVAIS, S. V. Phosphorus extracted by ion exchange Resins and Mehlich-1 from Oxisols (Latosols) treated with different phosphorus rates and sources for varied soil-source contact periods. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 667-677, 2013.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; SAGGIN, A. Quantificação do fósforo disponível por extrações sucessivas com diferentes extratores em Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 1023-1029, 2002.

GONÇALVES, G. K.; BORTOLON, L.; MEURER, E. J.; GONÇALVES, D. R. N.; SOUSA, R. O. de; FAGUNDES, S. M. Extratores de fósforo para o arroz irrigado em solos adubados com fosfato natural reativo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 11, n. 3, p. 196-204, 2012.

GOOGLE. **Google Earth**. Versão 7.1. Google Inc., 2013. Disponível em: <earth.google.com.br>. Acesso em: 16 mar. 2014.

HOLANDA, J. S. de; BRASIL, E. C.; SALVIANO, A. A. C.; CARVALHO, M. C. S.; RODRIGUES, M. R. L.; MALAVOLTA, E. Eficiência de extratores de fósforo para um solo adubado com fosfatos e cultivado com arroz. **Scientia Agrícola**, v. 52, n. 3, p. 561-568, 1995.

INDA JÚNIOR, A. V.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; SALTON, J. C.; TONIN, A. T. Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. **Ciência Rural**, v. 37, n. 5, p. 1301-1307, 2007.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. Tradução Luciane Vianna. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

LEÃO, D. A. S.; FREIRE, A. L. de O.; MIRANDA, J. R. P. de. Estado Nutricional de Sorgo Cultivado Sob Estresse Hídrico e Adubação Fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, 2011.

LINS, I. D. G.; COX, F. R. Effect of extractant and selected soil properties on predicting the correct phosphorus fertilization of soybean. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, p. 813-816, 1989.

MELO, V. F. **Solos e indicadores de uso agrícola em Roraima: área indígena Maloca do Flechal e de colonização do Apiaú**. Viçosa: UFV, 2002.

MELO, V. F.; GIANLUPPI, D.; UCHOA, S. C. P. **Características edafológicas dos solos do estado de Roraima**. Boa Vista: DSI/UFRR, 2004. 43 p.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONTES, L. E. F.; CHAGAS, A. C.; LEMOS JÚNIOR, J. B.; ANDRADE, R. P. de. Caracterização física, química e mineralógica de solos da colônia agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1039-1050, 2006.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; UCHÔA, S. C. P. Indian land use in the Raposa–Serra do Sol Reserve, Roraima, Amazonia, Brazil: physical and chemical attributes of a soil catena developed from mafic rocks under shifting cultivation. **Catena**, v. 80, p. 95-105, 2010.

MENDONÇA, B. A. F. de; FERNANDES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; VALE JÚNIOR, J. F. do; LISBOA, B. de A. R.; MENDONÇA, J. G. F. de. Solos e geoambientes do Parque Nacional do Viruá e entorno, Roraima: visão integrada da paisagem e serviço ambiental. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 429-444, 2013.

MOREIRA, F. L. M.; MOTA, F. O. B.; CLEMENTE, C. A.; AZEVEDO, B. M.; BOMFIM, G. V. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, p. 7-12, 2006.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa-MG: SBCS, 2007. p. 471-550.

PINTO, F. A.; SOUZA, E. D. de; PAULINO, H. B.; CURI, N.; CARNEIRO, M. A. C. P-sorption and desorption in savanna brazilian soils as a support for phosphorus fertilizer management. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 6, p. 521-530, 2013.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação de fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

RAIJ, B. van; FEITOSA, C. T. Correlação entre o fósforo extraído de solos por diversos extratores químicos e o absorvido pelo milho. **Bragantia**, v. 39, p. 51-57, 1980.

RANNO, S. K.; SILVA, L. S. da; GATIBONI, L. C.; RHODEN, A. C. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 21-28, 2007.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. de. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretações e aplicações**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2011. 206 p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para usos de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359 p.

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

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 953-964, 2004.

SANTOS, E. de A.; KLIEMANN, H. J. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 3, p. 139-146, 2005.

SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa: SBCS, 2013. 100 p.

SCHAEFER, C. E. G. R.; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F.; LANI, J. L. Características químicas e pedogênese de solos afetados por sódio do nordeste de Roraima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 431-438, 1993.

SCHAEFER, C. E. G. R.; DALRYMPLE, J. Pedogenesis and relict properties of soils with columnar structure from Roraima, north Amazonia. **Geoderma**, v. 71, p. 1-17, 1996.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Nível de suficiência e índice de equivalência entre o fósforo determinado pelos métodos da Resina de Troca Iônica e Mehlich-1. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 14, n. 2, p. 299-306, 2008.

SILVA, A. J.; UCHOA, S. C. P.; ALVES, J. M. A.; SANTOS, C. S. V.; MELO, V. F. Resposta de feijão-caupi à doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima. **Acta Amazonica**, v. 40, p. 31-35, 2010.

SILVA, F. C. da; RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 267-288, 1999.

SILVA, L. S. da; RANNO, S. K.; RHODEN, A. C.; SANTOS, D. R. dos; GRAUPE, F. A. Avaliação de métodos para estimativa da disponibilidade de fósforo para arroz em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 207-216, 2008.

SILVA, W. M.; FABRÍCIO, A. C.; MARCHETTI, M. E.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; HERNANI, L. C. Eficiência de extratores de fósforo em dois Latossolos do Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2277-2285, 1999.

SMYTH, T. J. Manejo da Fertilidade do Solo para produção Sustentada de Cultivos na Amazônia. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, 1996. p.71-93.

SOUZA, C. H. E. de; MACHADO, V. J.; PRADA NETO, I.; BENEDETTI, T. C.; LANA, R. M. Q. Extratores para fósforo disponível em Latossolos e eficiência de fontes fosfatadas para milho cultivado em vaso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 1, p. 38-46, 2011.

STEINER, F.; LANA, M. do C.; ZOZ, T.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R. Extraction methods and availability of phosphorus for soybean in soils from Paraná State, Brazil. **Ciências Agrárias**, v. 33, n. 3, p. 1005-1014, 2012.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.; TOLEDO, M. C. M. de; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Nacional, 2012.

VALE JÚNIOR, J. F. do; SCHAEFER, C. E. G. R. **Solos sob Savanas de Roraima: Gênese, Classificação e Relações Ambientais**. Gráfica Ioris, Boa Vista, 2010. 219 p.

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

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, v. 62, p. 111-118, 2003.

VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. **Tópicos em ciência de solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2005. v.4. p. 321-344.

VILAR, C. C.; COSTA, A. C. S. da; HOEPERS, A.; SOUZA JÚNIOR, I. G. de. Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos Subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1059-1068, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Descrição geral e morfológica dos perfis coletados para o estudo de eficiência de extratores em solos do estado.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – LA (ITÃ)

Data – 22/03/2013

Classificação SiBCS – LATOSSOLO AMARELO Distrófico petroplântico, sob floresta, relevo regional suave ondulado.

Unidade de mapeamento – LAd

Localização, município, estado e coordenadas – Município de Caracaraí, Estado de Roraima (RR), Coordenadas 01°31'36,8" N; 60°45'0,39"W.

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil – Perfil localizado vegetação nativa, relevo local plano com elevação 3% de declividade.

Elevação – 115 m.

Litologia – Intemperismo de rochas do embasamento Cristalino Brasileiro (granito/gnaiss).

Formação Geológica –

Cronologia –

Material originário – Intemperismo de rochas do embasamento Cristalino Brasileiro (granito/gnaiss).

Pedregosidade – Não pedregoso.

Rochosidade - Não rochoso.

Relevo local – Plano.

Erosão – Não aparente.

Drenagem – Bem drenado.

Vegetação primária – Floresta ombrófila.

Uso atual – Vegetação nativa de floresta.

Clima – Na classificação de Koppen é definido como Am.

Descrito e coletado por – Carlos Matos, Valdinar Melo, Raimundo Pereira, Pedro Paulo Nascimento.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

PERFIL – LA (ITÃ)

- A** 0-12 cm, bruno (10YR 5/3, seco) e bruno (10YR 4/3, úmido); franco argilo-arenosa; fraca pequenos e médios blocos angulares e subangulares; friável; ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana.
- AB** 12-24 cm, bruno-amarelado (10YR 5/6, seco) e bruno amarelado (10YR 5/4 úmido); franco argilo-arenosa; fraca pequenos e médios blocos angulares e subangulares; friável; ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- Bw1** 24-45 cm, amarelo brunado (10YR 6/6, seco) e bruno claro amarelado (10YR 6/4 úmida); argilosa; moderada pequenos e médios blocos angulares e subangulares; firme; plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- Bw2** 45-70 cm+, amarelo brunado (10YR 6/8, seco) e amarelo brunado (10YR 6/6 úmida), argilosa; moderada pequenos e médios blocos angulares e subangulares; firme; plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- Bwc** 74-85 cm, amarelo brunado (10YR 6/8, úmida) e amarelo brunado (10YR 6/6, úmido); plintita e petroplintita abundante, mosqueado comum; argilosa; moderada pequenos e médios blocos angulares e subangulares; friável; plástico e pegajoso.
- Raízes** – Muitas finas, médias e grossas em A e AB; poucas finas, médias e grossas em Bw1; raras grossas em Bw2; ausentes em Bwc.
- Observações** – Presença de carvão em A e AB; presença de plintita e petroplintita abundante em Bwc.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – LV (ITÃ)

Data – 22/03/2013

Classificação SiBCS – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico petroplântico, sob Floresta Ombrófila, relevo regional suave ondulado.

Unidade de Mapeamento – LVd.

Localização, município, estado e coordenadas – Município de Caracaraí, Estado de Roraima (RR), Coordenadas geográficas 01°30'7,1" N; 60°43'13,7" W.

Situação, declividade e cobertura vegetal sobre o perfil – Perfil localizado vegetação de Floresta Ombrófila Aberta, relevo local suave ondulado (3 a 8%).

Elevação – 120 m.

Litologia - Intemperismo de rochas vulcânicas básicas (gabro/diabásio).

Formação Geológica –

Cronologia –

Material Originário – Produto do intemperismo de rochas vulcânicas básicas (Gabro e diabásio).

Pedregosidade – Não pedregoso.

Rochosidade - Não rochoso.

Relevo Local – Suave ondulado.

Erosão – Ligeira.

Drenagem – Bem drenado.

Vegetação primária – Floresta ombrófila.

Uso atual – Vegetação nativa de floresta.

Clima – Na classificação de Koppen é definido como Am.

Descrito e coletado por – Carlos Matos, Valdinar Melo, Raimundo Pereira e Pedro Nascimento.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

PERFIL – LV (ITÃ)

- A** 0-15 cm, bruno avermelhado (5YR 4/4, seco) e bruno escuro avermelhado (5YR 3/4, úmido); argilosa; moderada pequenos e médios blocos subangulares; friável; plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- AB** 15-32 cm, bruno claro avermelhado (2.5YR 6/4, seco) e bruno claro avermelhado (2.5YR 6/3, úmido); argilosa; moderada pequenos e médios blocos subangulares; friável; plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- Bw1** 32-52 cm, vermelho (2.5YR 4/8, seco) e vermelho (2.5YR 4/6, úmido); muito argilosa; forte pequenos e médios blocos subangulares; firme; muito plástico e muito pegajoso; transição difusa e plana.
- Bw2** 52-74 cm, vermelho (2.5YR 5/8, seco) e vermelho (2.5YR 4/6, úmido); argilosa; moderada pequenos e médios blocos subangulares; firme; plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- Bwc** 74-85 cm+, vermelho (2.5YR 5/8, seco) e vermelho (2.5YR 5/6, úmido); plintita e petroplintita abundante; argilosa; moderada pequenos e médios blocos subangulares; friável; plástico e pegajoso.

Raízes – Muitas finas, médias e grossas no A e AB; poucas finas, médias e grossas no Bw1; raras grossas em Bw2; ausentes em Bwc.

Observações – Presença de carvão em A e AB; presença de plintita e petroplintita abundante em Bwc; atividade biológica em A.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – LA (SERRA DA PRATA)

Data – 15/03/2013

Classificação SiBCS – LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico, sob Floresta, relevo regional plano.

Unidade de Mapeamento – LAd.

Localização, município, estado e coordenadas – Município de Mucajaí, Estado de Roraima (RR), Coordenadas geográficas 02°22'20,3" N; 60°59'54,0" W.

Situação, declividade e cobertura vegetal sobre o perfil – Descrito e coletado em área experimental da EMBRAPA, *Campus* Experimental Serra da Prata, em relevo local plano.

Elevação – 105 m.

Litologia – Intemperismo de rochas do embasamento Cristalino Brasileiro (granito/gnaiss).

Formação Geológica – Formação Boa Vista.

Cronologia –

Material Originário – Intemperismo de rochas do embasamento Cristalino Brasileiro (granito/gnaiss)

Pedregosidade – Não pedregoso.

Rochosidade - Não rochoso.

Relevo Local – Plano.

Erosão – Ligeira

Drenagem – Bem drenado.

Vegetação primária – floresta.

Uso atual – Cultivo experimental.

Clima – Na classificação de Koppen é definido como Aw.

Descrito e coletado por – Carlos Matos, Valdinar Melo, Raimundo Pereira, Pedro Paulo Nascimento.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

PERFIL – LA (SERRA DA PRATA)

- Ap** 0-12 cm, bruno (10YR 5/3, seco) e bruno acinzentado (10YR 5/2, úmido); franco argilo-arenosa; fraca pequenos e médios blocos subangulares; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- AB** 12-20 cm, bruno-amarelado (10YR 5/8, seco) e bruno amarelado (10YR 5/6 úmido); franco argilo-arenosa; moderada pequenos e médios blocos subangulares; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- Bw1** 20-32 cm, amarelo brunado (10YR 6/8, seco) e amarelo brunado (10YR 6/6 úmida); argilosa; moderada médios blocos subangulares; friável; plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- Bw2** 32-54 cm, amarelo brunado (10YR 6/8, seco) e amarelo brunado (10YR 6/6 úmida); franco argilo-arenosa; moderada médios blocos subangulares; friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- Bw3** 54-88 cm+, amarelo brunado (10YR 6/8, seco) e amarelo brunado (10YR 6/6 úmida) franco argilo-arenosa; fraca pequenos e médios blocos subangulares; friável; plástico e ligeiramente pegajoso.

Raízes – muitas finas e médias em A e AB; poucas finas e médias em Bw1; ausente nos demais horizontes.

Observações –

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – FT (BONFIM)

Data – 29 /03/ 2013

Classificação SiBCS – PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico abrupto, sob cultivo de arroz irrigado, relevo regional plano.

Unidade de mapeamento – FTd.

Localização, município, estado e coordenadas – Rodovia BR 410, km 65, Fazenda Paraíso, Município do Bonfim, Estado de Roraima (RR), Coordenadas 03°32'14,0" N; 60°0'33,3" W.

Situação, declividade e cobertura vegetal sobre o perfil – Descrito e coletado em área cultivada com arroz, em relevo local plano.

Elevação – 80 m.

Litologia – Formados por depósitos de sedimentos quaternários (período holocênico) resultantes da desagregação de rochas vulcânicas ácidas da Formação Surumu e sedimentos da Formação Boa Vista.

Formação geológica – Formação Surumu.

Cronologia –

Material originário – Rochas vulcânicas ácidas (riolitos, dacitos e riódacitos).

Pedregosidade – Não pedregoso.

Rochosidade - Não rochoso.

Relevo local – Plano.

Erosão – Não aparente.

Drenagem – Moderadamente drenado.

Vegetação primária – Savana.

Uso atual – Cultivo de arroz irrigado.

Clima – Na classificação de Koppen é definido como Aw.

Descrito e coletado por – Carlos Matos, Raimundo Pereira e Pedro Nascimento.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

PERFIL – FT (BONFIM)

Ap 0-30 cm, cinza (10YR 6/1, seco) e cinza (10YR 5/1, úmido); francoarenosa; fraca pequenos e médios blocos subangulares; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Bf1 30-64 cm, cinza claro (10YR 7/1, úmida) e cinza (10YR 6/1); plintita abundante e mosqueado comum; franco; moderada médios blocos subangulares; firme, plástico e pegajoso; transição clara e plana.

BF2 64-90 cm+, cinza claro (10YR 7/1, úmida) e cinza (10YR 6/1); plintita abundante; franco; moderada, médios, blocos subangulares; firme, plástico e pegajoso.

Raízes – Abundantes muito finas e finas em Ap; ausentes nos demais horizontes.

Observações – Poucas raízes ao longo do perfil devido a constante revolvimento do solo na ocasião dos tratamentos culturais do arroz.